

Influencia de la temperatura y concentración de sólidos solubles en el comportamiento reológico de la pulpa de cocona

Influence of temperature and concentration of soluble solids on the rheological behavior of cocona pulp

Caleb Leandro Laguna ^{1,*}, José Daniel Díaz Shuña ², Sussy Reátegui Paredes ³, Ronel Joel Bazán-Colque ⁴

Resumen

La cocona es una deliciosa fruta que crece en la Amazonía peruana ubicada al este de los Andes. El estudio de las propiedades físicas de la pulpa, incluyendo su reología, es necesario para optimizar las diferentes etapas y procesos para su industrialización. El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de la temperatura (T_p) y la concentración de sólidos solubles (C_p) en el comportamiento reológico de la pulpa de cocona. Se variaron T_p (30 – 60 °C) y C_p (10 – 25 °Brix) según un diseño factorial 4×4 con tres repeticiones. Los frutos maduros mostraron las siguientes características biométricas de peso (210,2 g), diámetro axial (85,47 mm) y ecuatorial (65,56 mm) antes de ser despulpados. Las características fisicoquímicas de la pulpa fueron: sólidos solubles (6,51 °Brix), pH (3,62), acidez (1,42 g de ácido cítrico/100 g de pulpa) y humedad (86,57%). La concentración de la pulpa se realizó con la adición de azúcar blanca comercial, como agente conservante. Las mediciones reológicas fueron evaluadas en un viscosímetro rotacional de Brookfield. Los parámetros reológicos ayudaron a calcular el índice de consistencia (K : 48,63 a 111,14 Pa·sⁿ) e índice de flujo (n : 0,271 a 0,353) a través del modelo matemático de Ley de la Potencia con fines predictivos ($R^2 > 0,9$), bajo el dominio estudiado. Las pulpas evaluadas revelaron un comportamiento no newtoniano de tipo pseudoplástico y la energía de activación varió de 11,55 a 14,81 kJ/mol. Estos resultados pueden ser utilizados para futuros trabajos, parámetros de calidad y diseño de equipos.

Palabras clave: *Solanum sessiliflorum*; Parámetros reológicos; Ley de la Potencia; Fluido Pseudoplástico; Energía de Activación.

Abstract

Cocona is a delicious fruit that grows in the Peruvian Amazon, located east of the Andes. The study of the physical properties of the pulp, including its rheology, is necessary to optimize the different stages and processes for its industrialization. The objective of this work was to evaluate the influence of temperature (T_p) and the concentration of soluble solids (C_p) on the rheological behavior of cocona pulp. The variables of T_p (30 – 60 °C) and C_p (10 – 25 °Brix) were varied according to a 4×4 factorial design with three repetitions. Ripe fruits showed biometric characteristics of weight (210.2 g), axial diameter (85.47 mm), and equatorial diameter (65.56 mm) before being pulped. The physicochemical characteristics of the pulp were: soluble solids (6.51 °Brix), pH (3.62), acidity (1.42 g of citric acid/100 g of pulp), and moisture (86.57%). The concentration of the pulp was carried out with the addition of commercial white sugar, as a preservative agent. Rheological measurements were evaluated in a Brookfield rotational viscometer. The rheological parameters helped to calculate the consistency index (K : 48,63 a 111,14 Pa·sⁿ) and flow index (n : 0,271 a 0,353) through the Power Law mathematical model for predictive purposes ($R^2 > 0.9$), under the studied domain. The evaluated pulps revealed a non-Newtonian behavior of the pseudoplastic type and the activation energy varied from 11.55 to 14.81 kJ/mol. These results can be used for future work, quality parameters, and equipment design.

Keywords: *Solanum sessiliflorum*; Rheological parameters; Power Law; Pseudoplastic Fluid; Activation energy.

Recibido: 07/10/2022

Aceptado: 28/10/2022

Publicado: 08/11/2022

Sección: Artículo original

*Autor correspondiente: cleandrol@unia.edu.pe

Introducción

La cordillera andina es el sistema montañoso más largo del planeta. Alberga los mayores glaciares tropicales y provee una cantidad considerable de recursos de agua dulce en el mundo (Escobar-Mamani *et al.*, 2020). Al este de los Andes se encuentra la Amazonía peruana, la mayor selva del mundo, conformada por un mosaico de paisajes y ecosistemas que albergan rica biodiversidad, la cual debe ser conocida, preservada y utilizada de manera correcta para posibilitar el desarrollo sostenible. Además, los Andes proveen a las fuentes hídricas del Amazonas los sedimentos, nutrientes y material orgánico que hacen de la región amazónica una de las más productivas del planeta (Dunne *et al.*, 1998).

¹ Facultad de Ciencias e Ingeniería. Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, Carretera San José Km. 0.5, Yarinacocha, Ucayali, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6168-1079>

² Facultad de Ciencias e Ingeniería. Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, Carretera San José Km. 0.5, Yarinacocha, Ucayali, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6803-4501>

³ Facultad de Ciencias e Ingeniería. Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, Carretera San José Km. 0.5, Yarinacocha, Ucayali, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4172-5887>

⁴ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rodovia BR 465, Km 07, CEP 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4374-9911>

Como citar: Leandro Laguna, C., Díaz Shuña, J. D., Reátegui Paredes, S., & Bazán-Colque, R. J. (2022). Influencia de la temperatura y concentración de sólidos solubles en el comportamiento reológico de la pulpa de cocona. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(4), 227-235. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.480>



Entre la variedad de recursos alimentarios naturales de la Amazonía peruana, se encuentran los frutos de la cocona (*Solanum sessiliflorum*). Esta especie pertenece a la familia *Solanaceae* y es apreciada por sus deliciosos frutos, que son muy utilizados para la preparación de jaleas, jugos, mermeladas, pastas, encurtidos y dulces (Jiménez, 2018; Quispe-Herrera *et al.*, 2022). Por otro lado, la producción agroindustrial de pulpas en la región amazónica empieza a tener preponderancia gracias a la reciente presencia de plantas agroindustriales modernas. Las pulpas de frutas como la cocona son sometidas a diversos procesos y esfuerzos físicos, como la concentración y la temperatura, con fin de mejorar los costos de empaque, transporte y almacenamiento (Salehi, 2020). Estas pulpas tienen un comportamiento de flujo diferente ante cada proceso. Por lo tanto, se requiere de estudios científicos sobre la pulpa de cocona con la finalidad de obtener productos procesados de muy buena calidad.

La reología de los alimentos nos permite estudiar la deformación y las propiedades de flujo de las materias primas sin procesar, los productos intermedios o semielaborados y los productos finales (Salehi, 2020). La concentración y la temperatura tienen influencia en las propiedades físicas de los alimentos, como en las propiedades reológicas y sensoriales (textura) (Zheng, 2019). Los parámetros reológicos son de especial importancia en las líneas de proceso, condicionando la circulación por diversos equipos; y deben tenerse en cuenta al aplicar tratamientos térmicos de conservación (Shinwari & Rao, 2020). Además, las propiedades reológicas ayudan a comprender el comportamiento de flujo de la pulpa de fruta mediante varios parámetros de flujo, como tensión de corte, velocidad de corte, velocidad de corte-viscosidad (Nath *et al.*, 2020). El conocimiento adecuado de las propiedades reológicas de los alimentos se aplica en numerosas etapas del procesamiento y como parámetro de control de calidad (Barbieri *et al.*, 2018); sin embargo, estas propiedades no se han estudiado en la pulpa de cocona concentrada. Por lo tanto, para que la pulpa de cocona se procese en condiciones adecuadas se debe conocer parámetros reológicos como su índice de consistencia (K) y de flujo (n).

El presente estudio científico tuvo como objetivo evaluar la influencia de la temperatura y concentración de sólidos solubles en el comportamiento reológico de la pulpa de cocona, mediante el modelo de Ley de la Potencia para la determinación de sus parámetros reológicos (K y n).

Materiales y métodos

Los frutos maduros de cocona (*Solanum sessiliflorum*) ecotipo esferoide alto fueron adquiridos

en un mercado local de Pucallpa (Ucayali, Perú). Los frutos maduros de una coloración amarillo anaranjado fueron transportados hacia el Laboratorio de Frutas y Hortalizas de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía (Ucayali, Perú).

Las mediciones se realizaron conforme al manual de instrucciones de cada equipo. Para el peso se utilizó una balanza analítica digital Dakota 3102 (Dakota Import EIRL, Lima, Perú). Para los diámetros axial y ecuatorial se utilizó un calibrador digital (INSIZE Electronic, USA). Para el color de los frutos se utilizó un colorímetro CR-400 (Konica Minolta, USA) y los valores se expresaron de acuerdo al sistema CIELab.

La pulpa de cocona fue obtenida de acuerdo al flujograma mostrado en la Figura 1. Los frutos fueron seleccionados (por una misma coloración), lavados con agua corriente, sanitizados con agua clorada (150 ppm/15 minutos), enjuagados y escurridos durante 5 min. Después, se pelaron utilizando una solución de NaOH al 2,5% (m/v) por 10 min; transcurrido el tiempo, los frutos fueron enjuagados en abundante agua para retirar la cáscara y los residuos de la solución de NaOH. Luego, los frutos sin cáscara fueron despulpados en una despulpadora de frutas Ep-9 (Kamplex, Hungría) con malla de 0,5 mm de abertura. La pulpa obtenida se almacenó hasta su posterior análisis.

La caracterización fisicoquímica de la pulpa se realizó de acuerdo con los métodos oficiales de la AOAC (2005). Los sólidos solubles fueron medidos de acuerdo con el índice de refracción (método 983.17). El pH fue determinado utilizando un potenciómetro previamente calibrado (método 981.12). La humedad fue determinada por estufa a 105 °C hasta un peso constante (método 920.151). La acidez fue determinada por titulación con solución de hidróxido de sodio al 0,1 N y fenolftaleína como indicador (método 942.15).

La pulpa de cocona se concentró con azúcar blanca comercial, a diferentes niveles para lograr las concentraciones deseadas en cada tratamiento (Figura 1). Las muestras con diferente grado de concentración fueron almacenadas para su posterior evaluación.

Los parámetros reológicos fueron obtenidos en un reómetro de Brookfield RVD III+ (Brookfield Engineering Labs., USA). La pulpa de cocona (10 mL) fue colocada dentro del contenedor del reómetro y se procedió a medir la viscosidad (h) utilizando un spindle número 7. Las medidas en estado estacionario se realizaron con una velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$) de 0 a 100 s^{-1} , con un rango de torque entre 10 – 100%. Los datos obtenidos se ajustaron al modelo de Ley de la Potencia (ecuación 1).

$$\tau = K \cdot \gamma^2 \quad (1)$$

Donde: τ es el esfuerzo de corte (Pa), K es el índice de consistencia ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$), γ es la velocidad de deformación (s^{-1}) y n es el índice de flujo (adimensional, $n \neq 1$). El análisis fue realizado por triplicado para cada tratamiento.

Para el cálculo de la energía de activación (E_a) se utilizó la relación entre el índice de consistencia (K) con la inversa de la temperatura ($1/T$) a través del modelo matemático de Arrhenius (ecuación 2):

$$\ln K = \ln K_0 + \frac{E_a}{R \cdot T} \quad (2)$$

Donde K y K_0 son los índices de consistencia ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$) de las pulpas concentradas; E_a es la energía de activación (kJ/mol); R es la constante de los gases (8,314 J/mol·K) y T es la temperatura absoluta (K).

Todos los resultados fueron expresados como medias \pm desviación estándar. Se utilizó un diseño factorial 4×4 con tres repeticiones. Las variables

de estudio fueron la temperatura (T_p : 30 – 60 °C) y la concentración (C_p : 10 – 25 °Brix) (Figura 1). Se utilizaron análisis de regresión no lineal (ecuación 1) y lineal (ecuación 2) para estimar los coeficientes de los modelos matemáticos con un buen ajuste ($R^2 > 0,9$) para fines predictivos, bajo el dominio estudiado. Fueron realizados análisis de variancias (ANVAs) seguidos de la prueba de Fisher ($p < 0,05$). Todos los análisis de datos fueron realizados con el software Statistica versión 12 (StatSoft Inc., Tulsa, OK).

Resultados

Los resultados de las características biométricas de los frutos de cocona ecotipo esferoide alto se presentan en la Tabla 1. El peso promedio de 20 frutos de cocona evaluada fue de 210,2 g. Los diámetros axial y ecuatorial de los frutos fueron: 8,57 cm y 6,58 cm, respectivamente. El reporte de las coordenadas colorimétricas muestra la coloración del fruto maduro, cuya tendencia es levemente al claro (L^* : 39,33), con tendencia ligera hacia el rojo (a^* : 11,34) y con tendencia a un amarillo pálido (b^* : 41,96).

Tabla 1. Características biométricas (frutos) y fisicoquímicas (pulpa) de la cocona.

Características ^a	Cocona
<u>1. Biométricas</u>	
Peso del fruto (g)	210,20 \pm 12,51
Diámetro axial (mm)	85,69 \pm 3,48
Diámetro ecuatorial (mm)	65,75 \pm 2,65
Color	
Luminosidad (L^*)	39,33 \pm 2,31
Parámetro (a^*)	11,34 \pm 0,97
Parámetro (b^*)	41,96 \pm 3,34
<u>2. Fisicoquímica</u>	
Sólidos solubles (°Brix)	6,51 \pm 0,43
pH	3,62 \pm 0,08
Acidez (g de ácido cítrico/100 g de pulpa)	1,42 \pm 0,09
Humedad	86,57 \pm 3,13

Todos los valores corresponden al promedio \pm desviación estándar para $n = 20$. Luminosidad: 0 = negro, 100 = blanco; a^* (Tendencia al rojo): rojo (+) y verde (-); b^* (Tendencia al amarillo): amarillo (+) y azul (-).

En la Tabla 1 se muestra los resultados de las características fisicoquímica de la pulpa. Se puede observar que el valor de los sólidos solubles fue 6,51 °Brix

y pH de 3,62. La acidez fue 1,42 g de ácido cítrico/100 g de pulpa. La humedad de la pulpa fue 86,57%.

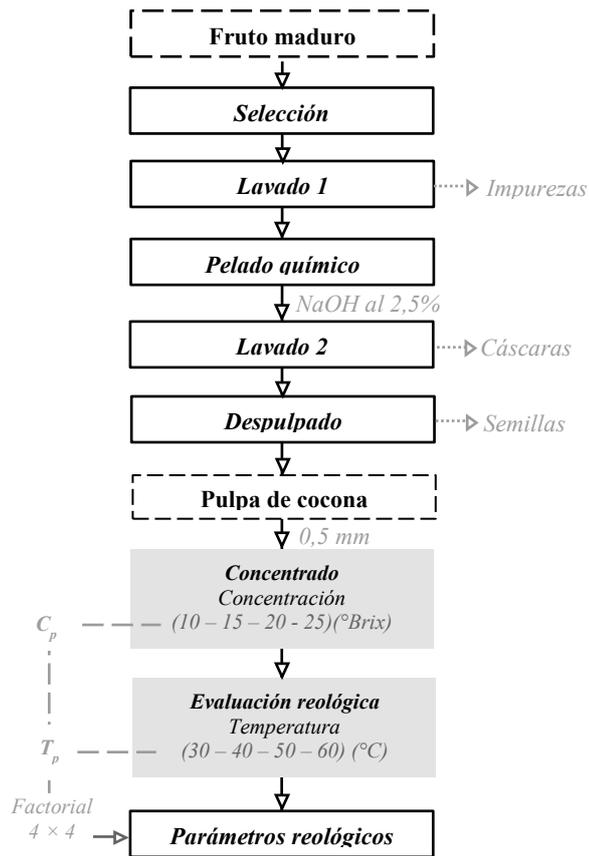


Figura 1. Flujograma para la obtención de pulpa de cocona.

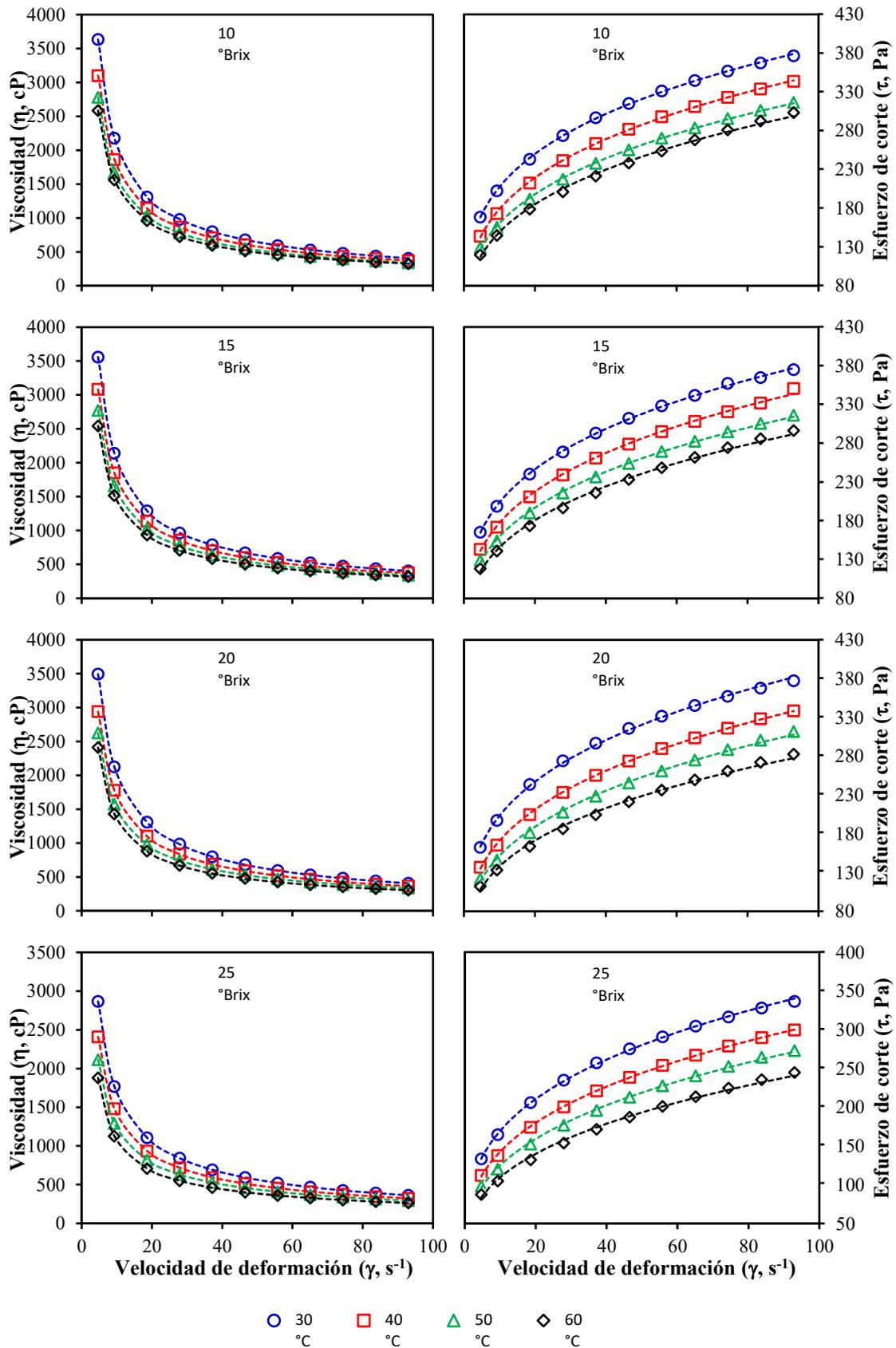


Figura 2. Reogramas de pulpa de cocona a diferente concentración y temperatura.

La Figura 2 muestra las curvas donde se midió la (1: lado izquierdo) viscosidad (h) en función de la velocidad de deformación (g) y (2: lado derecho) el esfuerzo cortante (t) en función de g . Los valores de h variaron de 260,5 a 3920,0 cP y los valores de t variaron de 87,0 a 395,3 Pa, a diferentes g (4,7 a 93 s⁻¹). Con los valores de t y g se realizaron los reogramas (Figura 2) y después se procedió a calcular el índice de consistencia (K) e índice de flujo (n) de las pulpas, mediante el modelo reológico de Ley de la Potencia. Los valores de K variaron de 48,63 a 111,14 Pa·sⁿ y mostraron diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los tratamientos. Por otro lado, los valores de n variaron de 0,271 a 0,353 y mostraron diferencia significativa ($p < 0,05$) entre las muestras, según la prueba de Fisher (LSD) (Tabla 2). Los

coeficientes de determinación (R^2) obtenidos demuestran que la pulpa de cocona, para las condiciones de estudio (C_p y T_p), se ajustaron adecuadamente al modelo de Ley de la Potencia ($R^2 > 0,997$) y se pueden usar para fines predictivos. La pulpa de cocona en todas las condiciones mostró un comportamiento reológico no newtoniano del tipo pseudoplástico ($0 < n < 1$). Además, se observó en las curvas (reogramas), que conforme se incrementa T_p , la pulpa pierde ligeramente pseudoplasticidad (adelgazamiento por cizallamiento), en donde aumenta n y disminuye K , en todos los tratamientos. Por otro lado, C_p afectó negativamente K , es decir, a medida que aumenta los sólidos solubles en la pulpa los valores de K disminuyen ligeramente (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros reológicos de la pulpa de cocona a diferente concentración de sólidos solubles (C_p) y temperatura (T_p).

Concentración (C_p , °Brix)	Temperatura (T_p , °C)	Índice de consistencia (K , Pa·s ⁿ)	Índice de flujo (n) *	Coeficiente de regresión (R^2)
10	30	111,14 ± 9,06	a	0,271 ± 0,008
10	40	90,78 ± 4,67	b	0,295 ± 0,000
10	50	79,99 ± 5,30	de	0,303 ± 0,005
10	60	72,82 ± 3,08	ef	0,312 ± 0,007
15	30	107,85 ± 8,90	a	0,277 ± 0,016
15	40	89,51 ± 3,05	bc	0,297 ± 0,008
15	50	79,24 ± 0,66	de	0,304 ± 0,001
15	60	71,11 ± 2,41	f	0,311 ± 0,001
20	30	105,72 ± 3,98	a	0,283 ± 0,007
20	40	84,30 ± 2,98	bcd	0,307 ± 0,009
20	50	72,91 ± 2,21	ef	0,318 ± 0,008
20	60	66,75 ± 1,80	f	0,315 ± 0,007
25	30	82,70 ± 5,77	cd	0,312 ± 0,014
25	40	66,34 ± 1,92	f	0,333 ± 0,006
25	50	56,15 ± 1,35	g	0,348 ± 0,006
25	60	48,63 ± 0,19	h	0,353 ± 0,002

Valores expresados como promedio ± desviación estándar para $n = 3$. Valores con letras diferentes indican diferencia significativa entre los tratamientos de acuerdo a la prueba de Fisher ($p < 0,05$). * Adimensional

Mediante el modelo de Arrhenius se pudo correlacionar linealmente el logaritmo natural de K en función de la inversa de la temperatura absoluta (Figura

3) con buenos ajustes de regresión (R^2 : 0,9706 a 0,995). En la Tabla 3 se puede ver los valores de E_a que variaron de 11,55 a 14,81 kJ/mol.

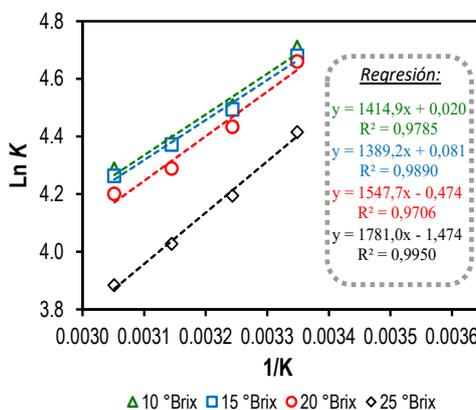


Figura 3. Gráfico del logaritmo natural del índice de consistencia (K) frente a la inversa de la temperatura absoluta ($1/K$).

Discusión

Los valores de la caracterización biométrica son similares a los trabajos reportados por Contreras *et al.* (2018) y Obregón-La Rosa *et al.* (2021). El peso promedio del fruto de cocona fue mayor a lo reportado por Sereno *et al.* (2018). Características biométricas como el tamaño y peso de los frutos se relacionan con la variedad, aplicación de buenas prácticas agrícolas, tipo de suelo y condiciones ambientales (Obregón-La Rosa *et al.*, 2021). Por otro lado, la coordenada colorimétrica de L^* mostró ser similar a lo reportado por Sereno *et al.* (2018), pero en las coordenadas de a^* y b^* mostraron diferencias; incluso nuestros resultados fueron inferiores. Varios estudios correlacionan el color con el contenido de pigmentos de las frutas y hortalizas. En el caso de los frutos de cocona, el color amarillo indica la presencia de carotenoides (Yuan *et al.*, 2015).

La cantidad de sólidos solubles y pH fueron superiores a lo reportado por Obregón-La Rosa *et al.* (2021) pero inferiores en el contenido de acidez de la pulpa. Contreras Gutiérrez *et al.* (2018) reportaron el contenido de humedad (93,05%) y pH (4,58) en la pulpa de cocona ecotipo ovalada. Estos resultados fueron superiores a los valores obtenidos en el experimento. Por otro lado, la acidez titulable fue inferior a lo reportado en nuestro estudio. Estas diferencias pueden deberse a la etapa de maduración, variedad de ecotipos y factores ambientales de los frutos. Además, los resultados de sólidos solubles fueron similares a lo indicado por Contreras Gutiérrez *et al.* (2018) y Sereno *et al.*, (2018). Estas características fisicoquímicas hacen que la pulpa de cocona sea un excelente ingrediente para la elaboración de jaleas, jugos, mermeladas, entre otros (Furlaneto *et al.*, 2015; Jiménez, 2018).

En los reogramas de nuestro experimento se pueden observar una relación negativa entre T_p y t . A medida que aumenta T_p los valores de t y h disminuyen. Además, los valores de h están en función de sus fuerzas intermoleculares que restringen el movimiento molecular, estas fuerzas dependen de los espacios intermoleculares, los cuales determinan el volumen libre, afectado por los cambios de temperatura (Barbosa-Cánovas *et al.*, 1993). Por otro lado, diversos trabajos reportaron una relación directa entre C_p y h de los alimentos fluidos (Bustamante *et al.*, 2016; Dak *et al.*, 2007; Salehi, 2020). Este fenómeno no ocurrió en nuestro experimento, dado que C_p afectó negativamente h y K en las pulpas concentradas. Estos cambios fueron ligeros y podrían deberse a la actividad de enzimas pectinolíticas en la muestra provocando un ligero cambio en los sólidos solubles, el valor de pH, la acidez y la viscosidad aparente (Sharoba & Ramadan, 2011), así como también en K . El manejo y procesamiento de pulpas de frutas favorece a reacciones

de pardeamiento enzimático y cambios fisicoquímicos mediados por polifenol oxidasa, pectina metilesterasa y peroxidasa, entre otros (Barrón-García *et al.*, 2021). Por tanto, se sugiere aplicar un método de inactivación de estas enzimas para no alterar las propiedades de la pulpa.

El modelo matemático de Ley de la Potencia describe mejor la pseudoplasticidad de los productos elaborados con frutas (Sorour *et al.*, 2015). A partir de los reogramas se obtuvieron los parámetros reológicos de K y n a través del modelo reológico Ley de la Potencia, mostrando buenos ajustes (R^2) que variaron entre 0,992 y 0,999, confirmando que el modelo reológico es adecuado para describir el flujo de la pulpa de cocona. Durante algunas operaciones en la industria de los alimentos los valores de h y K varían significativamente, en particular en aquellos procesos que implican calentamiento y enfriamiento (Lewis, 1993). Además, los valores de K y n de este estudio fueron similares para pulpas de frutas y sus concentrados (Bustamante *et al.*, 2016; Diamante & Umamoto, 2015; Salehi, 2020). Dak *et al.* (2007), estudiaron el comportamiento reológico del jugo de mango de la variedad “Kesar” a diferentes concentraciones (7,6 – 26%) y temperaturas (20 – 70 °C), y obtuvieron valores de K y n de 0,32 - 80,09 Pa·sⁿ y 0,20 - 0,33, respectivamente, revelando un comportamiento de adelgazamiento por cizallamiento del jugo. La medición de las propiedades de flujo en un producto es importante para establecer un parámetro de control de calidad para los cálculos de procesamiento y desarrollo del producto (Barbieri *et al.*, 2018).

El modelo matemático de Arrhenius permitió correlacionar linealmente el logaritmo de K (Pa·sⁿ) contra la inversa de la temperatura absoluta (1/K) con buenos ajustes de regresión (R^2) que variaron de 0,9706 a 0,995. Estos valores permitieron determinar la energía de activación de la pulpa de cocona. La energía de activación (E_a) es la energía mínima para iniciar un proceso de reacción en función de la temperatura y es útil en el control de calidad de los productos preparados (Silva *et al.*, 2017; Sonawane *et al.*, 2020). Los valores de E_a obtenidos en el experimento fueron superiores a las pulpas concentradas de aguaymanto, que variaron de 3,88 a 4,43 kJ/mol (Bustamante *et al.*, 2016). Pero inferiores con algunos jugos de frutas y sus concentrados, como cerezas (22,44 a 73,49 kJ/mol), uvas (13,95 a 24,88 kJ/mol), níspero (9,59 a 43,39 kJ/mol), granada (9,07 a 24,05 kJ/mol) y frutos de bael (23.83 kJ/mol) (Salehi, 2020; Sonawane *et al.*, 2020).

Conclusión

Al este de los Andes se encuentran los frutos de la cocona, ricos en nutrientes que son ampliamente utilizados en la preparación de alimentos. Para el

procesamiento de pulpas es necesario conocer sus características reológicas. El comportamiento reológico de la pulpa de cocona fue afectado por la concentración de los sólidos solubles y la temperatura. El índice de consistencia (K) e índice de flujo (n) variaron de 48,63 a 111,14 Pa·sⁿ y 0,271 a 0,353, respectivamente. El modelo de Ley de la Potencia mostró ser adecuado ($R^2 > 0,997$). La pulpa fue caracterizada como un fluido no newtoniano con un comportamiento pseudoplástico ($0 < n < 1$), común en las pulpas de frutas. El modelo de Arrhenius fue adecuado ($R^2: 0,9706 - 0,995$) para describir el efecto de la temperatura sobre K y permitió obtener la energía de activación de las pulpas concentradas, que variaron de 11,55 a 14,81 kJ/mol. Estos resultados pueden usarse para futuros trabajos, parámetros de calidad y diseño de equipos.

Referencias

- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry*. (18th ed.). Gaithersburg: AOAC International.
- 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>
- Barbosa-Cánovas, G., Ibarz, A., & Peleg, M. (1993). Propiedades reológicas de alimentos fluidos. *Revisión Alimentaria*, 241, 39–89.
- Barrón-García, O. Y., Gaytán-Martínez, M., Ramírez-Jiménez, A. K., Luzardo-Ocampo, I., Velazquez, G., & Morales-Sánchez, E. (2021). Physicochemical characterization and polyphenol oxidase inactivation of Ataulfo mango pulp pasteurized by conventional and ohmic heating processes. *LWT*, 143, 111113. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111113>
- Bustamante, R., Oblitas, J., & Rojas, E. (2016). Influence of temperature and concentration on the rheological behavior of concentrated aguaymanto pulp (*Physalis peruviana* L.). *Agroindustrial Science*, 1(1), 37–43. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2016.01.04>
- Contreras Gutiérrez, N. N., Jesús, Y., Trujillo, R., Luz, J., & Romero, M. F. (2018). Estudio de los parámetros cinéticos en los cambios de color en pulpa de cocona (*Solanum sessiliflorum*) durante el tratamiento térmico. *Agroindustrial Science*, 8(2), 111–116. <https://doi.org/10.17268/AGROIND.SCI.2018.02.05>
- Dak, M., Verma, R. C., & Jaaffrey, S. N. A. (2007). Effect of temperature and concentration on Rheological properties of “Kesar” mango juice. *Journal of Food Engineering*, 80(4), 1011–1015. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2006.08.011>
- Diamante, L., & Umamoto, M. (2015). Rheological Properties of Fruits and Vegetables: A Review, 18(6), 1191–1210. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.898653>
- Dunne, T., Mertes, A. K. L., Meade, R. H., Richey, J. E., & Forsberg, B. R. (1998). Exchanges of sediment between the flood plain and channel of the Amazon River in Brazil. *GSA Bulletin*, 110(4), 450–467. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1998\)110%3C0450:EOSBTF%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1998)110%3C0450:EOSBTF%3E2.3.CO;2)
- Escobar-Mamani, F., Branca, D., & Haller, A. (2020). Investigación de montaña sobre y para la región andina. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 22(4), 311–312. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.191>
- Furlaneto, K. A., Ramos, J. A., Daiuto, É. R., Vieites, R. L., & Carvalho, L. R. de. (2015). Elaboração e aceitabilidade da geleia convencional e light de Maná Cubiu. *Nativa*, 3(4), 276–280. <https://doi.org/10.31413/NATIVA.V3I4.2525>
- Jiménez, P. (2018). Cocona—*Solanum sessiliflorum*. In *Exotic Fruits* (pp. 153–158). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00020-4>
- Lewis, M. J. (1993). *Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado*. Editorial Acribia S.A.
- Nath, D., Barbhuiya, R. I., Singh, S. K., & Dwivedi, M. (2020). Rheological properties of Indian coffee plum (*Flacourtia jangomas*) pulp in steady and dynamic shear at different temperatures, 21(1), 95–105. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1859042>
- Obregón-La Rosa, A. J., Augusto Elías-Peñañiel, C. C., Contreras-López, E., Árias-Arroyo, G. C., Bracamonte-Romero, M., Obregón-La Rosa, A. J., Augusto Elías-Peñañiel, C. C., Contreras-López, E., Árias-Arroyo, G. C., & Bracamonte-Romero, M. (2021). Características fisicoquímicas, nutricionales y morfológicas de frutas nativas.

Revista de Investigaciones Altoandinas, 23(1), 17–25. <https://doi.org/10.18271/RIA.2021.202>

- Quispe-Herrera, R., Paredes Valverde, Y., Rony, J., & Huamani, R. (2022). Antioxidant capacity and proximal analysis of *Solanum sessiliflorum* Dunal and *Chenopodium quinoa* Willdenow nectar-based. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2), 47706. <https://doi.org/10.15517/AM.V33I2.47706>
- 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>
- Sereno, A. B., Bampi, M., dos Santos, I. E., Ferreira, S. M. R., Bertin, R. L., & Krüger, C. C. H. (2018). Mineral profile, carotenoids and composition of cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal), a wild Brazilian fruit. *Journal of Food Composition and Analysis*, 72, 32–38. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2018.06.001>
- Sharoba, A. M., & Ramadan, M. F. (2011). Rheological behavior and physicochemical characteristics of goldenberry (*Physalis peruviana*) juice as affected by enzymatic treatment. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(2), 201–219. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4549.2009.00471.X>
- 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>
- Silva, D. C. S., Braga, A. C. C., Lourenço, L. F., Rodrigues, A. M., & Peixoto Joele, M. R. S. (2017). Rheological behavior of mixed nectars of pineapple skin juice and tropical fruit pulp. *International Food Research Journal*, 24(4), 1713–1720.
- Sonawane, A., Pathak, S., & Pradhan, R. C. (2020). Effect of processing temperature on dynamic rheological properties and color degradation kinetics of bael fruit pulp. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(15), 5596–5602. <https://doi.org/10.1002/JSFA.10612>
- 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>
- Yuan, H., Zhang, J., Nageswaran, D., & Li, L. (2015). Carotenoid metabolism and regulation in horticultural crops. *Horticulture Research*, 2. <https://doi.org/10.1038/hortres.2015.36>
- Zheng, H. (2019). Introduction: Measuring Rheological Properties of Foods. *Food Engineering Series*, 3–30. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27134-3_1/COVER