

PROPIEDADES REOLÓGICAS DE PULPA DE MANGO PROCESADA ASÉPTICAMENTE EN LA FÁBRICA VALLE DEL CAUJERÍ

Roger de Hombre, Gloria Panadés y Lisbeth Sardiñas*

*Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. Carr. al Guatao km 3 ½, La Habana,
C.P. 19200, Cuba.*

E-mail: dehombre@iiaa.edu.cu

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar las características de flujo de la pulpa de mango procesada asépticamente elaborada en la fábrica del Valle de Caujerí (Guantánamo). El estudio reológico se llevó a cabo con un reómetro Anton Paar realizándose un barrido completo de velocidades de deformación ascendente y descendente de 0 a 400 s⁻¹ a 30 °C. La energía de activación se calculó entre 30 y 80 °C ajustando el modelo de Arrhenius ($\eta = A \exp(E_a/RT)$). Se concluye que la pulpa de mango concentrada tiene propiedades reológicas que corresponden a un fluido de tipo pseudoplástico y la Ley de Potencia es un modelo adecuado para describir su comportamiento de flujo. El índice de consistencia obtenido a 30 °C fue 16,8 Pa.sⁿ y el índice de comportamiento de flujo de 0,31. El valor de la energía de activación fue 12,34 kJ/mol.

Palabras claves: pulpa de mango, propiedades reológicas, fluido pseudoplástico, índice de consistencia, índice de comportamiento de flujo, viscosidad aparente.

ABSTRACT

Rheological properties of aseptically processed mango pulp at Valle de Caujerí factory

Rheological properties of concentrated mango pulp from Valle del Caujerí factory (Guantánamo) was analyzed by using a rheometer Anton Paar. A complete sweep up and down was performed in the range from 0 to 400 s⁻¹ at 30 °C. Activation energy was calculated fitting the Arrhenius equation to results of apparent viscosity in the range from 30 to 80 °C. It was concluded that the mango pulp is a pseudoplastic fluid and that Ostwald de Waele model fits adequately. Consistency index was 16.8 Pa.sⁿ and flow behavior index 0.31. Activation energy value was 12.34 kJ/mol. The product did not showed tixotropic behavior.

Keywords: rheological properties, shear thinning fluid, consistency index, flow behavior index, activation energy, apparent viscosity.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las propiedades reológicas de las pulpas de frutas tiene gran importancia ya que son fundamentales para el cálculo y diseño del equipamiento tecnológico, la evaluación de los procesos industriales y el control de la calidad y aceptación del producto por el consumidor

En relación con la determinación de las propiedades de flujo de las pulpas tropicales, se han publicado varios artículos (1-4). Un breve análisis de estos trabajos indica que en todos los casos la naturaleza reológica de estos productos es del tipo pseudoplástica, cuyo comportamiento se describe matemáticamente por la Ley de Potencia ($\sigma = K\dot{\gamma}^n$) donde σ representa el esfuerzo de cizalla, K es el índice de consistencia, $\dot{\gamma}$ es la velocidad de deformación y "n" es el índice de comportamiento de

* **Roger de Hombre Morgado:** Investigador Titular del Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia de La Habana, Cuba. Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular Adjunto de la Universidad de La Habana y de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Especialista en Reología y Textura de los Alimentos. Miembro del Tribunal Nacional de Defensa de Doctorado en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Tiene más de 100 artículos publicados en revistas cubanas e internacionales. La experiencia profesional comprende: mejora de la calidad y métodos de control para la industria, desarrollo de nuevos productos, modificaciones tecnológicas, uso de emulsionantes, gelificantes, espesantes y estabilizadores y otros.

flujo. En un artículo publicado, se estudiaron las propiedades reológicas de la pulpa obtenida a escala piloto del mango variedad Keitt y se calcularon los valores del índice de comportamiento de flujo mediante el ajuste de la Ley de Potencia (5). Otros autores (6) establecen que la pulpa de mango es de tipo pseudoplástica y que la Ley de Potencia es adecuada para describir su comportamiento de flujo, estos ofrecen valores de n entre 0,27 y 0,38. En un extenso estudio sobre las propiedades de flujo de la pulpa de mango obtenida a partir de la variedad Tommy Atkins (7), se llevaron a cabo ajustes de varios modelos reológicos: Ley de Potencia, Bingham, Casson y Herschel-Bulkley y concluyen que el mejor es el primero, se calculan los valores de K y n a diferentes concentraciones (15 a 30 °Brix) y la energía de activación en el intervalo de 15 a 60 °C. Los valores de K encontrados estuvieron en el intervalo de 5,46 a 24,74 Pa.sⁿ mientras n osciló de 0,18 a 0,24.

Un estudio reológico realizado en diferentes variedades de mango guatemalteco (2), ofrece resultados del índice de consistencia entre 9,7 y 27,6 Pa.sⁿ y del índice de comportamiento de flujo en el intervalo de 0,26 y 0,31. Otros resultados del índice de consistencia informan un valor de 2,3 Pa.sⁿ y de n de 0,33 (1) para un puré de mango de bajo contenido de sólidos solubles (9,3 °Bx).

En un trabajo publicado en Cuba recientemente acerca de las propiedades de flujo de la pulpa de mango concentrada elaborada en la Fábrica de Sancti Spíritus (8) se confirma que este producto presenta propiedades que corresponden a un fluido de tipo pseudoplástico y la Ley de Potencia es un modelo adecuado para describir su comportamiento de flujo. En el mismo se concluye que el valor del índice de consistencia a 25 °C fue de 8,20 Pa.sⁿ mientras que el índice de comportamiento de flujo fue 0,32. El valor de la Energía de Activación en el intervalo de temperatura de 30 a 80 °C resultó de 8,73 kJ/mol. El producto tuvo un carácter tixotrópico muy débil por lo que no es reodestructivo y puede recuperar su estructura original una vez que cesa el esfuerzo deformante aplicado. En cuanto a la tixotropía de estos productos existe muy poca información por lo general se considera que este efecto es prácticamente despreciable y no ofrece grandes influencias en el comportamiento de flujo del material. Este tipo de producto por ser estructuralmente una dispersión acuosa de la pulpa del fruto en una solución azucarada, tiene la propiedad de recuperar, en un elevado porcentaje, su

estadio original una vez que cesan los esfuerzos aplicados. Son precisamente el contenido de pulpa así como la forma y tamaño de esas partículas suspendidas, las que provocan que la naturaleza reológica del producto sea del tipo pseudoplástica. En el presente trabajo se determinan las propiedades de flujo de la pulpa de mango concentrada elaborada en la fábrica del Valle de Caujerí en Guantánamo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el mes de junio del 2015, época del pico de cosecha del fruto. Se procesó una mezcla de las variedades Baltazar, el Negrito y Criollo. El proceso de obtención de la pulpa se llevó a cabo de la siguiente forma: el mango se pre lavó por inmersión, pre enjuagó por duchas, se lavó en agua turbulenta y enjuagó con chorros de agua a presión. Seguidamente se seleccionó, escaldó a vapor directo y enfrió mediante duchas en túnel de acero inoxidable. La extracción del producto se efectuó en un extractor de paletas planas con malla de diámetro de perforación de 10 mm donde se eliminaron las cáscaras y semilla. La pulpa obtenida se precalentó en intercambiador tubular y refinó a través de dos tamices con diámetro de orificio de 1,2 y 0,5 mm, respectivamente. El producto se concentró a vacío en un evaporador de doble efecto a contracorriente de modo que se calentó primeramente con los vapores que salen del primer efecto y luego intercambiando directamente con vapor hasta alcanzar la concentración entre 22 a 24 °Brix. Seguidamente se esterilizó a una temperatura entre 112 y 115 °C, enfrió hasta 35 a 36 °C, envasó en bolsas flexibles de 3 kg y almacenó a temperatura ambiente.

Para realizar el estudio reológico, se tomaron 3 kg de la pulpa concentrada de mango (22,5 °Brix) y se analizó mediante un reómetro Anton Paar con el sistema de medición de cilindros concéntricos. Este instrumento ofrece las curvas de flujo y el modelo de mejor ajuste mediante un software acoplado al mismo, realizándose un barrido completo de velocidades de deformación ascendente y descendente desde 0 a 400 s⁻¹ a 30 °C.

Para calcular la energía de activación para flujo viscoso, se llevó a efecto un barrido ascendente en el mismo intervalo de velocidades de deformaciones a las temperaturas de 30, 40, 50, 60, 70 y 80 °C y se calculó la viscosidad aparente a la velocidad de deformación de

200 s⁻¹. Los datos de viscosidad (η) vs. temperatura se ajustaron al modelo de Arrhenius ($\eta = A \exp(Ea/RT)$) para determinar la energía de activación (Ea).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Fig. 1 presenta las curvas de flujos ascendente y descendente para la pulpa de mango. Como se aprecia, las curvas corresponden con las de un fluido de tipo pseudoplástico y la expresión de mejor ajuste correspondió a la Ley de Potencia. Los parámetros de la regresión fueron los siguientes: $K = 16,8 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ y $n = 0,31$ con un valor de $R^2 = 0,992$ ($p < 0,001$).

El valor del índice de consistencia fue muy superior a 8,20 Pa.sⁿ obtenido para la fábrica de Sancti Spíritus (8) mientras que el índice de comportamiento de flujo fue muy similar (0,32), este último expresa que su carácter pseudoplástico es pronunciado. Comparando con los resultados de las variedades estudiadas en Guatemala (2) se aprecia que el valor de K se encuentra dentro del intervalo que se informa en este estudio (9,7 a 27,6 Pa.sⁿ) mientras que el valor de "n" coincide con el valor superior que reportan (0,31). Esto indiscutiblemente se debe a las diferencias en composición y estructura de la pulpa que pueden existir entre las variedades de mango utilizadas en ambos estudios así como de la presencia de otros componentes típicos de la fruta. Sin embargo, en relación con otro artículo (1), los resultados de K son muy superiores y se debe fundamentalmente a la gran diferencia que existe entre los contenidos de sólidos solubles entre ambos productos (22,5 vs. 9,3 °Brix).

El valor de n obtenido en este estudio coincide con el que se reporta (6), pero es superior al de la var. Tommy Atkins (7); sin embargo, el valor de K es muy parecido al de este último artículo.

En cuanto a las características tixotrópicas de la pulpa de mango ensayada, en la Fig. 1 se muestra que el lazo de histéresis obtenido durante la medición viscosimétrica cuando el producto se somete a velocidades de deformación ascendentes (curva superior) y descendentes (curva inferior) es muy pequeño, que según los criterios que se aportan en otro artículo (9), las diferencias entre ambas curvas son prácticamente despreciables. Esto significa que el producto no es del tipo reodestructivo y que una vez que cesa el esfuerzo deformante aplicado, puede recuperarse la estructura en gran medida.

La Tabla 1 muestra los resultados de la influencia del incremento de temperatura (30 a 80 °C) en la viscosidad aparente (calculada a 200 s⁻¹).

Tabla 1. Variación de la viscosidad aparente con la temperatura

| Temperatura (°C) | Viscosidad (mPa.s) |
|------------------|--------------------|
| 30 | 472,5 |
| 40 | 386,2 |
| 50 | 329,6 |
| 60 | 288,2 |
| 70 | 250,0 |
| 80 | 224,8 |

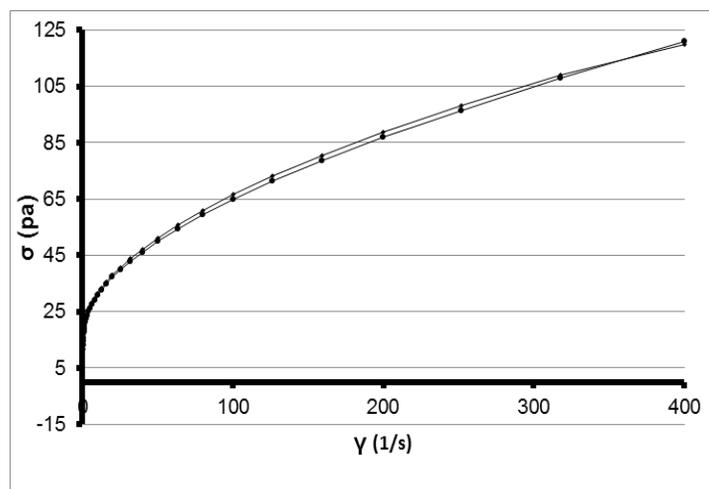


Fig. 1. Curvas de flujo de la pulpa de mango.

Los valores de viscosidad que se aprecian en esta tabla son muy superiores a los obtenidos anteriormente en Cuba (8) a pesar de que el contenido de sólidos solubles entre ambos, es muy parecido. Por tanto, las diferencias pueden deberse a las variedades que se cultivan entre ambas zonas del país. El ajuste de la expresión de Arrhenius arrojó que $R^2 = 0,992$ ($p < 0,001$). El cálculo de la energía de activación para flujo viscoso fue de 12,34 kJ/mol, superior al obtenido en el trabajo cubano de referencia (8,73 kJ/mol).

CONCLUSIONES

La pulpa de mango concentrada obtenida en la fábrica del Valle de Caujerí (Guantánamo), tiene propiedades reológicas que corresponden a un fluido de tipo pseudoplástico y la Ley de Potencia es un modelo adecuado para describir su comportamiento de flujo. El índice de consistencia obtenido a 30 °C fue de 16,8 Pa.sⁿ y el índice de comportamiento de flujo de 0,31. El valor de la energía de activación en el intervalo de 30 a 80 °C fue de 12,34 kJ/mol. El producto es además de carácter tixotrópico muy débil por lo que no es reodestructivo y puede recuperar su estructura original una vez que cesa el esfuerzo deformante aplicado.

REFERENCIAS

1. Rao, M.A.; Otoyá-Palomino, L. N. y Berhardt, L. W. J. Food Sci. 39:160-173, 1974.
2. García, R.; Rivera, J. y Rolz, C. En: Portela Marco E. ed. *Rheological properties of some tropical fruit products and their enzymes clarification*. Proceedings of IV Congress Food Science & Technology; 1974 Sept; Madrid, España. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1975, p. 425-436.
3. Brekke, D. R.; Myers, A. L. y de Aquino, C. R. M. J. Food Sci. 43(1):273-280, 1978.
4. Lakshminarayana, R.; Eipeson, W. E.; Srinivasa, R.; Potwar, M. y Ramanathan, P. K. J. Food Sci. Technol. 22(1):30-41, 1985.
5. Vidal, J. R. M. B.; Pelegrine, D. H. y Gasparetto, C. A. Cienc. e Tecnol. Aliment. 24(1):39-42, 2004.
6. Anuradha, G.; Ramaswamy, H. S. y Jasim, A. Intern. J. Food Prop. 14(5):1018-36, 2011.
7. Ortega, F.A.; Salcedo, E.; Arrieta, R. y Torres, R. Rev. ion. 28(2):79-92, 2015.
8. De Hombre, R. y Panadés, G. Cienc. Tecnol. Aliment. 24(3):53-55, 2014.
9. Costell, E. y Durán, L. Rev. Agroq. Tecnol. Aliment. 18(4):470-484, 1978.