

PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LA PASTA DE TOMATE ENVASADA ASÉPTICAMENTE EN LA FÁBRICA VALLE DE CAUJERÍ

Roger de Hombre, Gloria Panadés y Lisbeth Sardiñas*

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

E-mail: dehombre@iiaa.edu.cu

RESUMEN

En el trabajo se determinaron las características reológicas del concentrado de tomate que se elabora en la fábrica Valle de Caujerí, Guantánamo. Se utilizó un reómetro Anton Paar para determinar las curvas de flujo del producto y el modelo reológico de mejor ajuste. Se prepararon diluciones del concentrado original de 29,0 °Brix a niveles de 25, 20, 15, 10 y 5 °Brix y se calculó la viscosidad aparente. Se estudió la influencia de la temperatura en el intervalo de 20 a 70 °C para el concentrado de 20 °Brix y se calculó la energía de activación. Todos los concentrados evaluados se comportan como fluidos pseudoplásticos y la Ley de Potencia es una expresión adecuada para describir dicho comportamiento. La relación entre la viscosidad aparente y la concentración es de tipo potencial y el valor del exponente es de 2,6. Por su parte, la energía de activación fue de 9,42 kJ/mol.

Palabras clave: pasta de tomate, propiedades reológicas, curvas de flujo, energía de activación, índice de consistencia, índice de comportamiento de flujo.

ABSTRACT

Rheological properties of aseptically packaged tomato concentrates manufactured at Valle de Caujerí factory

Rheological properties of tomato concentrates were evaluated by using an Anton Paar rheometer at different concentration stages: 5, 10, 15, 20 and 25°Brix in order to obtain the flow curves and also the relationship between apparent viscosity and concentration. The 20°Brix concentrate was independently evaluated at different temperatures (20 to 70°C) and the Arrhenius model was fitted for the calculation of the activation energy. All evaluated concentrates are pseudoplastic fluids and Ostwald de Waele equation is an adequate expression to describe such behavior. Concentration effects over apparent viscosity shows potential relationships and the exponent was 2.6. Activation energy in the range 20 to 70°C was 9.42 kJ/mol.

Keywords: tomato paste, rheological properties, activation energy, flow curves, consistency index, apparent viscosity.

INTRODUCCIÓN

Numerosos trabajos aparecen publicados en relación con las características viscosas de derivados del tomate (jugos, purés, concentrados, etc.). En muchos casos, se han estudiado los efectos de diferentes variables de proceso (1-4) en otros se han discutido las propiedades de flujo de estos productos (5-7) y algunos artículos tratan acerca de las relaciones de la consistencia con algún factor de composición (8, 9).

Harper y El Sahrigi (5) con un viscosímetro de cilindros coaxiales obtuvieron las curvas reológicas a diferentes temperaturas de concentrados de tomate (12,8 a 30,0 % de sólidos totales). Se estudiaron además, las características tixotrópicas de los productos y se concluye que el comportamiento reológico es de tipo

*** 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 del Instituto Superior Politécnico «J. A. Hechevarría». 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 internacionales y cubanas. 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.

pseudoplástico en un amplio intervalo de velocidades de deformación especialmente si estas son elevadas. El ajuste de este modelo arrojó valores del índice de comportamiento de flujo "n" alrededor de 0,4 mientras que la dependencia de la viscosidad con la concentración responde mejor a una ecuación de tipo potencial. Se informa además que no aparece el esfuerzo de fluencia y que los efectos tixotrópicos son prácticamente despreciables.

El modelo de la Ley de Potencia ($\sigma = K\dot{\gamma}^n$), donde K es el índice de consistencia y "n" el índice de comportamiento de flujo, es apropiado para describir el comportamiento de flujo de los concentrados de tomate y los valores de "n" medidos a 25 °C son menores que 0,31, por lo que su comportamiento es de tipo pseudoplástico (10). En este trabajo se obtuvo que el exponente de las correlaciones de la viscosidad en función de la concentración es de 2,2 a 2,6, coincidiendo con los reportados anteriormente (5). En otro artículo (11) se comprobó que la Ley de Potencia es adecuada para describir el comportamiento de flujo del concentrado de tomate, los autores refieren que la influencia de la concentración sobre la viscosidad es de tipo potencial y obtuvieron valores de la energía de activación entre 8,6 y 14,08 kJ/mol K. Por otra parte, la Ley de Potencia también fue utilizada con buenos resultados y se encontraron valores de "n" entre 0,03 y 0,28 y la energía de activación varió entre 3,63 y 7,36 kJ/mol (3).

En otro estudio (12) se ajustaron los modelos de Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk y Vocadlo para determinar el de mejor ajuste y calcular los parámetros de la regresión. Los dos primeros fueron los más adecuados y encontraron magníficas relaciones entre el esfuerzo de fluencia y el contenido de sólidos totales de los concentrados. Lee y colaboradores (13) utilizaron la expresión de Herschel-Bulkley para modelar el comportamiento de flujo del concentrado de tomate. En un artículo reciente se demostró que el modelo de Herschel-Bulkley ofreció el mejor ajuste a los datos de esfuerzo contra deformación para el concentrado de tomate y determinaron que para la fábrica Sancti-Spíritus el exponente que se obtiene de la relación viscosidad vs concentración es de 1,74; lo cual permite alcanzar concentraciones del producto superiores a 20 °Brix durante el proceso de evaporación. La energía de activación en este caso fue de 7,98 kcal/mol en el rango de temperaturas de 30 a 80 °C (14).

Debido a la poca información que existe en Cuba acerca de las características de flujo de estos productos y la importancia que tienen estos datos para determinados cálculos de ingeniería, en el presente trabajo se realiza un estudio reológico de la pasta de tomate envasada asépticamente que se produce en la fábrica Valle de Caujerí (Guantánamo) y se estudia la influencia de la temperatura y la concentración sobre la viscosidad del producto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se procesó una mezcla de las var. JN-28, Botijón, Vita, Hércules, Pocito y Pingüino, recolectadas en febrero de 2015. Para el tratamiento del producto, los tomates se lavaron, seleccionaron y trituraron. La pulpa se obtuvo por el sistema *hot-break*, donde la materia prima se calentó entre 85 y 90 °C y posteriormente refinó a un diámetro de malla de 1,2 y 0,5 mm. El producto se concentró a vacío en un evaporador de doble efecto a contra-corriente de modo que el jugo refinado se calentó con los vapores que salían del primer efecto, terminando el proceso en una segunda fase intercambiando directamente con el vapor hasta alcanzar una concentración entre 28 y 30 °Brix. La pasta de tomate obtenida se esterilizó a 115 °C, se enfrió entre 35 y 40 °C, se envasó en bolsas preesterilizadas de 3 kg y almacenó a temperatura ambiente. La muestra presentó un pH de 4,1; una acidez de 3,2 % expresada en ácido cítrico y un contenido de sólidos solubles de 29,0 °Brix.

El análisis reológico se hizo mediante un reómetro de la firma Anton-Paar con el sistema de cilindros coaxiales en el intervalo de velocidades de deformación de 0 a 420 s⁻¹. El reómetro cuenta con un sistema computarizado que además de obtener las curvas de flujo, realiza automáticamente el ajuste de 10 modelos reológicos diferentes y ofrece los parámetros de la regresión en todos los casos así como el coeficiente de determinación. Se obtuvieron las curvas de flujo y de aquí el modelo reológico de mejor ajuste a la temperatura de 30 °C.

Para obtener el efecto de la concentración sobre la viscosidad aparente medida a 30 °C, se prepararon por dilución suspensiones al 5, 10, 15, 20 y 25 % de sólidos solubles a partir del concentrado original y se ajustó el modelo general del tipo: $\eta_{ap} = AC^b$, donde η_{ap} es

la viscosidad aparente, C la concentración de sólidos solubles expresada en grados Brix y A y b son las constantes de regresión.

El efecto de la temperatura sobre la viscosidad aparente se llevó a cabo en el intervalo de 20 a 70 °C para el concentrado de 20 °Brix y se ajustó la ecuación de Arrhenius ($\eta_{ap} = B e^{Ea/RT}$) para calcular la energía de activación (Ea) de flujo viscoso.

En ambos casos, la viscosidad aparente (η_{ap}) se calculó a la velocidad de deformación de 100 s⁻¹.

La medición del contenido de sólidos solubles se realizó mediante un refractómetro de mesa OPTON a 20 °C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Fig. 1 presenta la curva de flujo del concentrado de tomate a 20 °Brix. Se aprecia como la curva parte del origen de coordenadas y seguidamente ocurre un incremento rápido del esfuerzo a bajas velocidades de deformación. Posteriormente hay un cambio de la pendiente con un punto de inflexión, para entonces continuar ascendiendo más lentamente. Por la forma de la curva puede decirse que responde a un tipo de fluido pseudoplástico con una curva de flujo no lineal, por lo que el modelo de la Ley de Potencia ($\sigma = K\dot{\gamma}^n$) debe ser el más adecuado para describir su comportamiento de flujo.

De acuerdo con los cálculos realizados según el software del sistema electrónico acoplado al instrumento de medición, el modelo de mejor ajuste para todas las concentraciones estudiadas es el de Ley de Potencia, lo cual coincide con lo reportado recientemente (11, 12). La propia estructura del producto, es decir, sistema bifásico con presencia de partículas sólidas en suspensión, le confiere estas propiedades, ofreciendo diferentes viscosidades y resistencia al flujo de acuerdo con el tamaño, forma y concentración de estas partículas.

La Tabla 1 presenta los parámetros de regresión para cada uno de los concentrados estudiados.

Se observa como el índice de consistencia K se incrementa a medida que aumenta la concentración del producto lo cual es de esperar mientras el índice de comportamiento de flujo disminuye. Los valores tan bajos de este último, que coinciden con los obtenidos en los artículos (3, 10), indican que su naturaleza reológica es cada vez más acentuada con el incremento de la concentración y que la viscosidad disminuye rápidamente cuando aumenta la velocidad de deformación, lo cual resulta ventajoso para los procesos de evaporación-concentración y cálculos de bombas-tuberías.

La influencia de la concentración sobre la viscosidad aparente medida a la velocidad de deformación de 100 s⁻¹ y 30 °C se aprecia en la Fig. 2.

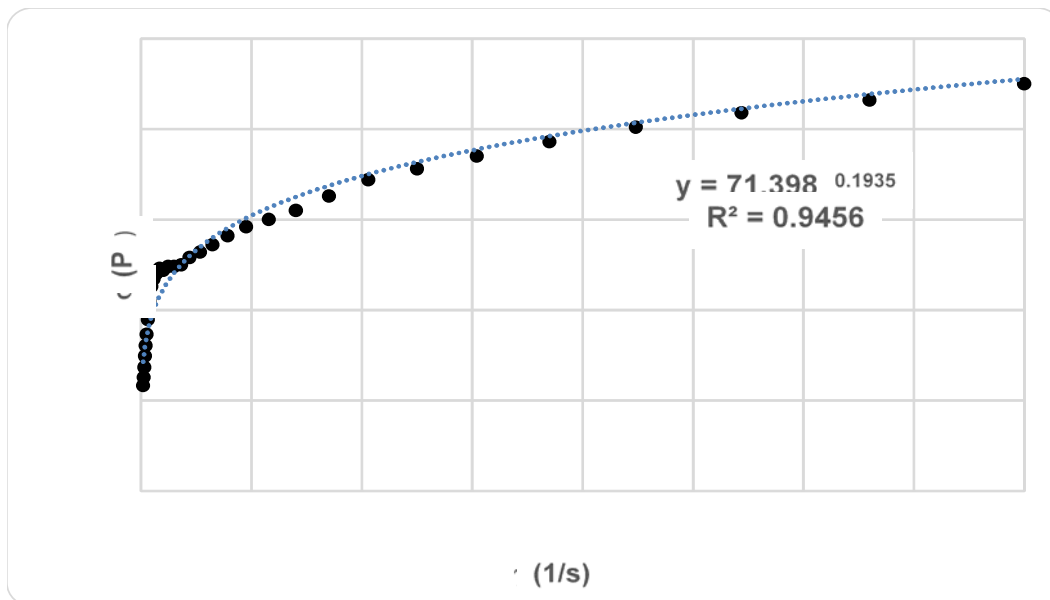


Fig. 1. Curva de flujo para el concentrado de 20 °Brix.

Tabla 1. Resultados de los parámetros de regresión

Concentración (°Brix)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	R ²
5	1,5	0,26	0,98
10	8,6	0,24	0,98
15	28,5	0,22	0,98
20	71,4	0,19	0,94
25	125,6	0,18	0,99

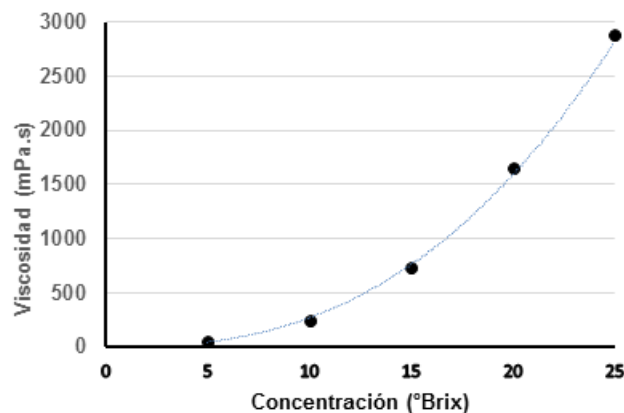


Fig. 2. Influencia de la concentración sobre la viscosidad aparente.

Se observa como la viscosidad se incrementa a medida que aumenta la concentración del producto de manera potencial. La expresión matemática que regula este comportamiento es para este caso: $\eta_{ap}=0,73 C^{2,6}$ siendo $R^2=0,96$. El valor del exponente que se alcanza es de 2,6; similar al obtenido por Harper y El Sahrigi (5) y algo superior al que reportaron De Hombre y Panadés (14) para la fábrica de Sancti-Spíritus. Estas diferencias se deben fundamentalmente a las características y composición de las materias primas empleadas (variedad del tomate).

La Fig. 3 presenta la curva obtenida que relaciona la viscosidad aparente con la temperatura para el concentrado de 20 °Brix.

Cuando se ajusta la ecuación de Arrhenius, la energía de activación para flujo viscoso es de 9,42 kJ/mol, algo superior al informado anteriormente (3), pero comprendido en el intervalo de otros autores (11).

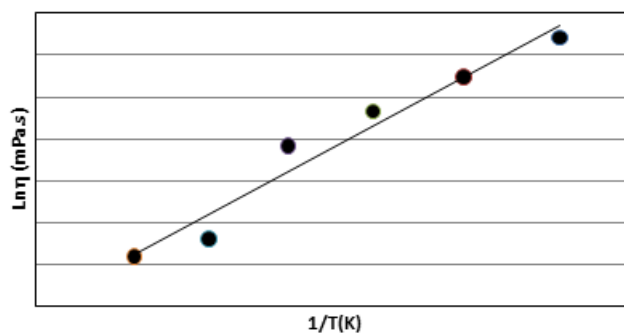


Fig. 3. Dependencia de la viscosidad con la temperatura.

CONCLUSIONES

La pasta de tomate elaborada en la fábrica Valle de Caujerí es de naturaleza reológica de tipo pseudoplástica y la Ley de Potencia es un modelo adecuado para describir su comportamiento.

La influencia de la concentración sobre la viscosidad aparente es de tipo potencial siendo el valor del exponente igual a 2,6 y se corresponde con otros resultados reportados en la literatura. La energía de activación para flujo viscoso del concentrado a 20 °Brix es de 9,42 kJ/mol en el intervalo de 20 a 70 °C.

REFERENCIAS

1. Xu, S.Y.; Shoemaker, C.F. y Luh, B.S. *J. Food Sci.* 51(2):399-402, 407, 1986.
2. Ouden, F.W.C den y Vliet, T. van. *J. Text. Stud.* 33(2):91-104, 2002.
3. Barbana, C. y El-Omri, A. *Food Bioprocess Technol.* 5(1):209-215, 2012.
4. Moelants, K.R.N; Cardinaels, R.; Jolie, R.P; Verrijssen, van; Moldenaers, P y Hendrickx, M.E. *Food Bioprocess Technol.* 7(1):248-264, 2014.
5. Harper, J.C. y El Sahrigi, A.F. *J. Food Sci.* 30(3):470-479, 1965.
6. Yoo, B.; Rao, M.A. y Steffe, J.F. *J. Text. Stud.* 26(1):1-8, 1995.
7. Correia, L.R. y Mittal, G.S. *Intern. J. Food Prop.* 2(2):139-148, 1999.
8. Marsh, G.L.; Buhlert, J.E. y Leonard, S.J. *J. Food Sci.* 45(3):703-711, 1980.
9. Chou. T.D. y Kokini, J. L. *J. Food Sci.* 52(6):1658-1669, 1987.
10. Rao, M.A.; Bourne, M.C. y Cooley, H.J. *J. Text. Stud.* 12:521-529, 1981.
11. Dak, M.; Charan Vernea, R. y Jeaffrey, S.N.A. *Intern. J. Food Eng.* 4(7):1-17, 2008.
12. Rao, M.A. y Cooley, H.J. *J. Food Process Eng.* 6:159-166, 1983.
13. Lee, Y; Bobroff, S. y McCarthy K.L. *Chem. Eng. Comm.* 289(3):339-351, 2002.
14. De Hombre, R. y Panadés, G. *Cienc. Tecnol. Alim.* 24(1):17-21, 2014.