

## **PROPIEDADES REOLÓGICAS DE PASTA DE TOMATE ENVASADA ASÉPTICAMENTE**

*Roger de Hombre Morgado\* y Gloria Panadés Ambrosio*  
*Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia*  
*Carretera al Guatao km 3½, La Habana CP 19200, Cuba.*  
*Email: dehombre@iiaa.edu.cu*

### **RESUMEN**

Se evaluaron las propiedades reológicas de pastas concentradas de tomate utilizando un viscosímetro Haake RV20. Se prepararon dispersiones de la pasta original de 30 °Brix a concentraciones de 10, 15, 20 y 25 °Brix y se obtuvieron las curvas de flujo, así como la dependencia entre la viscosidad aparente y el esfuerzo de fluencia con la concentración. El concentrado de 20 °Brix fue analizado a diferentes temperaturas (30 a 80 °C) para ajustar la expresión de Arrhenius y calcular la energía de activación. Se concluye que todos los concentrados muestran esfuerzo de fluencia y que el modelo de Herschel-Bulkley es adecuado. El efecto de la concentración tanto sobre la viscosidad aparente como sobre el esfuerzo de fluencia se describe por un modelo exponencial del tipo:  $Y = AX^b$  donde los resultados de exponente "b" son muy parecidos en ambos casos con un valor aproximado de 1,74. La energía de activación para flujo viscoso en el intervalo de 30 a 80 °C para el concentrado de 20 °Brix es de 1,9 kcal/mol°K.

**Palabras clave:** pasta de tomate, propiedades reológicas, curvas de flujo, energía de activación, tixotropía, esfuerzo de fluencia.

### **ABSTRACT**

#### **Rheological properties of aseptically packaged tomato concentrates**

Rheological properties of tomato concentrates were evaluated by using a Haake rheometer RV20 at different concentration stages: 10, 15, 20, 25 and 30 °Brix in order to obtain the flow curves and also the relationship between apparent viscosity and yield stress with concentration. 20 °Brix concentrate was independently evaluated at different temperatures (30 to 80 °C) and Arrhenius model was fitted for the calculation of the activation energy for viscous flow. It was concluded that all the concentrates shows yield stress and that the Herschel-Bulkley equation is adequately to describe their flow behaviour. Concentration effects over apparent viscosity and yield stress shows an exponential relationship where the exponent is 1.74 in both cases. Activation energy for viscous flow in the range 30 to 80 °C was 1.9 kcal/mol°K.

**Keywords:** tomato paste, rheological properties, flow curves, activation energy, tixotropy, yield stress.

### **INTRODUCCIÓN**

Numerosos trabajos aparecen publicados en relación con las características viscosas de derivados del tomate (jugos, puré, concentrados y otros). En muchos casos, se han estudiado los efectos de diferentes variables de proceso (1,2,3) en otros se han discutido las propiedades de flujo de estos productos (4,5,6,7,8) y algunos artículos tratan acerca de las relaciones de la consistencia con algún factor de composición (9,10,11).

Utilizando un viscosímetro de cilindros coaxiales se obtuvieron las curvas reológicas a diferentes temperaturas de concentrados de tomate de 12,8 a 30,0 % 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 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.

sólidos totales (4) y se estudiaron además, las características tixotrópicas de los productos. Los autores concluyen que el comportamiento reológico es de tipo 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 alrededor de 0,4; mientras que la dependencia de la viscosidad con la concentración responde mejor a una ecuación de tipo exponencial. Se informa además que no aparece el esfuerzo de fluencia y que los efectos tixotrópicos son prácticamente despreciables.

Rao y col (12), indican que el modelo de la Ley de Potencia es apropiado para describir el comportamiento de flujo de los concentrados de tomate y que los valores de "n" son menores de 0,31 a 25 °C, por lo que su comportamiento es de tipo pseudoplástico. En ese mismo trabajo, los autores ajustaron el modelo de Casson así como el de Herschel-Bulkley ( $\sigma = \sigma_0 + K \dot{\gamma}^n$ ) y concluyen que también ambos modelos describen adecuadamente las propiedades de flujo de los concentrados de tomate. Finalmente, el exponente de las correlaciones de la viscosidad en función de la concentración es de 2,2 a 2,6, coincidiendo con los obtenidos por Harper y El Sahrigi (4).

En otro estudio anterior, Rao y Cooley (13) 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.

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 realizó un estudio reológico de la pasta de tomate envasada asépticamente que se produce en la Fábrica Rio Zaza y se estudió la influencia de la temperatura y la concentración sobre la viscosidad del producto.

## MATERIALES Y METODOS

Se procesaron aproximadamente 830 t de tomate de una mezcla de las variedades: Konia, Rekiam y Amalia, recolectadas en Abril. Para el tratamiento del produc-

to, los tomates se lavan, seleccionan y trituran. La pulpa se obtiene por el sistema hot-break, donde la materia prima se calienta entre 90 y 98 °C y posteriormente se refina a un diámetro de malla de 1,2 y 0,8 mm. El producto se concentra en un evaporador de triple efecto en contra corriente al vapor y circulación forzada de flujo ascendente, alcanzando una concentración entre 28 y 30 °Brix. La pasta de tomate obtenida, se esteriliza a temperatura aproximada de 107 °C, se enfría entre 40 y 45 °C y se envasa en bolsas preesterilizadas de 220 kg y se almacena a temperatura ambiente.

Al cabo de varios días de envasado, se tomó una bolsa del producto para realizar los estudios viscosimétricos. La muestra presentó un pH = 4,4; una acidez de 1,85 % expresada en ácido cítrico y un contenido de sólidos solubles de 29,5 °Brix.

El análisis reológico se realizó mediante un viscosímetro Haake RV20 con el sensor SVII en el intervalo de velocidades de deformación de 0 a 420 s<sup>-1</sup>. El viscosímetro 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.

Para obtener el efecto de la concentración sobre la viscosidad aparente y el esfuerzo de fluencia medida a la temperatura de 30 °C, se prepararon por dilución suspensiones al 10, 15, 20 y 25 % de contenido de sólidos solubles a partir del concentrado original y se ajustó el modelo general del tipo:  $Y = AX^b$ , donde Y representa cualesquiera de los parámetros reológicos citados, X 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 30 a 80 °C para el concentrado de 20 °Bx. Se ajustó la ecuación de Arrhenius ( $\eta_{ap} = B e^{E_a/RT}$ ) para calcular la Energía de Activación (E<sub>a</sub>) para flujo viscoso. En ambos casos, la viscosidad aparente ( $\eta_{ap}$ ) se calculó a la velocidad de deformación de 100 s<sup>-1</sup>.

Por último, se realizó la medición del área tixotrópica por diferencias entre las áreas de la curva ascendente y la descendente en el intervalo de 0 a 420 s<sup>-1</sup> para el concentrado de 20 °Brix a la temperatura de 30° C.

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

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las curvas de flujo de los productos del tomate preparados a diferentes contenidos de sólidos solubles muestran como en cada caso estas no parten del origen de coordenadas sino que presentan un determinado esfuerzo inicial ( $\sigma_0$ ) y seguidamente, un incremento rápido del esfuerzo a bajas velocidades de deformación ( $\dot{\gamma}$ ). Posteriormente ocurre 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 que presenta esfuerzo de fluencia y una curva de flujo no lineal, por lo que el modelo de Herschel-Bulkley debe ser el más adecuado para describir su comportamiento de flujo.

La presencia de este esfuerzo de fluencia, le confiere al producto su propiedad mecánica más importante: no fluye fácilmente y por tanto requiere de un esfuerzo dado para iniciar el flujo.

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.

De acuerdo con los cálculos realizados según el software del sistema electrónico acoplado al instrumento de medición, el modelo de mejor ajuste es el de Herschel-Bulkley, lo cual coincide con lo reportado por Correia y Mittal (8) y Sio y col (14). Los resultados de los parámetros de la regresión se presentan en la Tabla 1, donde se muestra que tanto el esfuerzo de fluencia ( $\sigma_0$ ) como el índice de consistencia (K) se incrementan con el aumento de la concentración mientras que el índice de comportamiento de flujo (n) se mantiene prácticamente constante y solo se reduce cuando se alcanza el 25 % de contenido de sólidos solubles. Los valores de este último parámetro se encuentran en el intervalo reportado por Rao y col (12).

La viscosidad aparente ( $\sigma_{ap}$ ) calculada a 100 s<sup>-1</sup> también se incrementa con el aumento del contenido de sólidos solubles según puede observarse en la Tabla 2.

El ajuste del modelo exponencial  $\eta_{ap} = AC^b$  dio como resultados los siguientes valores de la regresión:

$$A = 11,37 \quad b = 1,74 \quad R^2 = 0,99$$

Donde el valor de "b" es algo menor a los informados en la literatura que oscila entre 2,2 y 2,6. Estas diferencias se deben fundamentalmente a las características de las materias primas empleadas (variedad del tomate) así como de la tecnología utilizada para la obtención de los concentrados de tomate. Se sabe que la tecnología *hot break* mantiene inactivada las enzimas pectolíticas y consecuentemente los derivados se ob-

**Tabla 1. Resultados de los parámetros de regresión del modelo de Herschel-Bulkley**

Contenido de sólidos solubles (°Brix)	$\sigma_0$ (Pa)	K (Pa. s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
10	16,5	12,7	0,27	0,95
15	39,0	28,6	0,28	0,93
20	52,2	55,5	0,25	0,93
25	84,7	86,9	0,20	0,90

**Tabla 2. Resultados de la viscosidad aparente en función del contenido de sólidos solubles**

CONTENIDO DE SÓLIDOS SOLUBLES (°Brix)	VISCOSIDAD APARENTE (mPa.s)
10	609,4
15	1268,0
20	2242,0
25	2885,0

tienen con mayor contenido de pectina y por tanto, los purés y concentrados son superiores en viscosidad a los obtenidos por el método *cold break*.

El ajuste de la expresión:  $\sigma_0 = A_1 C^c$  para establecer la relación del esfuerzo de fluencia y la concentración, arrojó los siguientes resultados:

$$A_1 = 0,32 \quad c = 1,72 \quad R^2 = 0,98$$

Donde se aprecia que el exponente de la concentración tiene prácticamente el mismo valor que el obtenido para el efecto sobre la viscosidad aparente.

En general puede decirse que en este caso, el efecto de la concentración sobre la viscosidad aparente y el esfuerzo de fluencia es menor que el reportado en la literatura. Este resultado es de gran valor práctico pues permitiría obtener concentrados de mayor contenido de sólidos sin que se afecte de manera significativa, la eficiencia del proceso de concentración, la cual se encuentra limitada por el incremento de viscosidad que impide una transferencia calórica apropiada.

El ajuste de la expresión de Arrhenius para determinar la Energía de Activación para flujo viscoso en el intervalo de 30 a 80 °C para la pasta a 20 °Bx arrojó los siguientes resultados:

$$B = 21350 \quad E_a/R = 0.96 \quad R^2 = 0,98$$

Donde se aprecia que el coeficiente de determinación es elevado y por lo tanto el modelo seleccionado es predictivo. De aquí, se puede obtener  $E_a$  conociendo que la constante R de los gases ideales es: 1,98 kcal/mol°K. Teniendo en cuenta las unidades de medidas de los parámetros reológicos que se obtienen en este viscosímetro, el valor obtenido para la Energía de Activación fue de 1,9 kcal/mol.

Las curvas ascendente y descendente para analizar la tixotropía del concentrado de 20 °Brix en el intervalo de velocidades de deformación de 0 a 420 s<sup>-1</sup> muestran que ambas no coinciden exactamente y que por lo tanto el material es algo sensible al esfuerzo por cizalla, ya que se alcanza un "lazo de histéresis" y el área dentro de las curvas es una indicación del rompimiento estructural del producto. En el caso que se estudia, el área tixotrópica es muy pequeña y puede considerarse prácticamente despreciable por lo tanto puede considerarse que el fluido recobra, en gran medida, su estructura original una vez que ha cesado el esfuerzo cizallante aplicado, aspecto que coincide con lo reportado por Harper y el Sahrigi (4).

## CONCLUSIONES

Los concentrados de tomate analizados a diferentes concentraciones (10 a 25 °Brix), presentan un esfuerzo de fluencia y una curva de flujo no lineal que se corresponden adecuadamente con el modelo de Herschel-Bulkley.

El efecto de la concentración sobre la viscosidad y el esfuerzo de fluencia responden a un modelo de tipo exponencial, donde el valor del exponente se encuentra alrededor de 1,7; que resulta algo inferior al reportado en la literatura.

Este mismo producto a la temperatura de 30° C no presenta efectos tixotrópicos importantes por lo que su estructura es prácticamente reversible una vez que cesa el esfuerzo deformante aplicado.

## REFERENCIAS

1. Becker, R.; Miers, J.C.; Nutting, M.D.; Dietrich, W.C. y Wagner, J.R. *J. Food Sci.* 37: 118-126, 1972
2. Marsh, G.L.; Buhlert, J. y Leonard, S. *J. Food Proc. and Preservation* 1: 340-347, 1977.
3. Fito, P. J; Clemente, G. y Sanz, F. J. *J. Food Eng.* 2: 51-58, 1983.
4. Harper, J. C. y El Sahrigi, A.F. *J. Food Sci.* 30 (3): 470-479, 1965.
5. Upasana, R. y Bains, G.S. *J. Text. Stud.* 18: 125-132, 1987.
6. Rao, M.A. y Cooley, H.J. *J. Text. Stud.* 23 (4): 415-422, 1992.
7. Yoo, B.; Rao, M.A. y Steffe, J.F. *J. Text. Stud.* 26 (1): 1-8, 1995.
8. Correia, L.R. y Mittal, G.S. *Int. J. Food Prop.* 2 (2): 139-148, 1999.
9. Kolarov, K y Dashko, R. *A. T. A.* 13 (2)Junio: 295-302, 1973.
10. Marsh, G.L.; Buhlert, J.E. y Leonard, S.J. *J. Food Sci.* 45 (3): 703-711, 1980.
11. Chou, T.D. y Kokini, J. L. *J. Food Sci.*, 52 (6): 1658-1669, 1987.
12. Rao, M.A.; Bourne, M.C. y Cooley, H. J. *J. Text. Stud.* 12: 521-529, 1981.
13. Rao, M. A. y Cooley, H.J. *J. Food. Process Eng.* 6: 159-166, 1983.
14. Sio, F.; Fasanaro, G.; Villari, G.; Loiudice, R. y Castaldo, D. *Industria Conserve*, 70 (4): 423-431, 1996.