

---

# *Viscosidad de zumos comerciales de melocotón, manzana y pera a temperaturas cercanas a la congelación*

**<sup>2</sup>Ruiz Y., <sup>1</sup>Sánchez J., <sup>1</sup>Hernández E., <sup>1</sup>Auleda J.M., <sup>1</sup>Raventós M.**

<sup>1</sup>Dept. Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).C/ Esteve Terradas, 8. 08860 Castelldefels (Barcelona), España. <sup>2</sup>Grupo de Procesos Agroindustriales, Departamento de Ingeniería de Producción Agroindustrial, Universidad de la Sabana. Campus Universitario del Puente del Común, Km. 7, Autopista Norte de Bogotá Chía, Cundinamarca, Colombia

---

*Viscosity of commercial juices of peach, apple and pear at temperatures close to freezing*

*Viscositat de sucs comercials de préssec, poma i pera a temperatures properes a la congelació*

*Recibido: 27 de julio de 2010; aceptado: 02 de septiembre de 2010*

## RESUMEN

Conocer el comportamiento reológico de zumos comerciales susceptibles de ser procesados a bajas temperaturas es de gran interés para el desarrollo de nuevas tecnologías y equipos en la industria de alimentos. En procesos de concentración de fluidos alimentarios a bajas temperaturas como la crioconcentración, el incremento de la viscosidad es una limitante en la eficiencia del proceso. En el presente trabajo se determinaron experimentalmente las viscosidades de zumos comerciales de melocotón, manzana y pera a concentraciones entre 40 °Brix y 50 °Brix, en el intervalo de temperatura -6 a 4 °C, evitando la formación de cristales de hielo. Se analizó el efecto de la temperatura sobre viscosidad de los dos zumos. El rango de variación obtenido para la viscosidad de los tres zumos a 40 y 50 °Brix es de 11 a 22 mPa·s y de 28 a 64 mPa·s respectivamente en todo el intervalo de temperatura estudiado. El zumo de melocotón presenta el valor más elevado de viscosidad (64,0 ± 0,2 mPa·s a 50 °Brix y -6 °C). El efecto de la temperatura sobre la viscosidad de los zumos se representa de manera adecuada por una ecuación tipo Arrhenius. Los zumos estudiados presentan un comportamiento newtoniano.

**Palabras clave:** Viscosidad, zumo de fruta, °Brix, temperatura.

## SUMMARY

Knowing the rheological behavior of commercial juices that can be processed at low temperatures is of great interest for development of new technologies and equipment in the food industry. In concentration of food fluids at low temperatures as freeze concentration, the increase in viscosity is a limiting factor in process efficiency. In the present study the viscosity of commercial juices of peach, apple and pear at concentrations from 40 °Brix and 50 °Brix was experimentally determined. The temperature range studied was from -6 to 4 °C. The variation range obtained for the viscosity

of the three juices at 40 and 50 ° Brix is 11-22 mPa s and 28-64 mPa s respectively in the entire temperature range studied. Peach juice presents the higher value of viscosity (64.0 ± 0.2 mPa·s at 50 °Brix and -6 °C). The effect of temperature on the viscosity of juices was adequately represented by an Arrhenius type equation. Juices studied show a Newtonian behavior.

**Keywords:** Viscosity, fruit juice, °Brix, temperature.

## RESUM

Conèixer el comportament reològic de sucs comercials susceptibles de ser processats a baixes temperatures presenta un gran interès per el desenvolupament de noves tecnologies i equips en la indústria alimentària. En processos de concentració de fluids alimentaris a temperatures baixes com en el cas de la crioconcentració, l'increment de la viscositat és un limitant en la eficiència del procés. En el present treball es determinen experimentalment les viscositats de sucs comercials de préssec, poma i pera a concentracions entre 40°Brix i 50°Brix, en el interval de temperatura -6 a 4 °C, sense que es presenti formació de cristalls de gel. S'ha analitzat l'efecte de la temperatura sobre la viscositat dels dos sucs. El rang de variació obtingut per a la viscositat dels tres sucs a 40 y 50 °Brix és de 11 a 22 mPa·s y de 28 a 64 mPa·s respectivament en tot l'interval de temperatura estudiat. El suc de préssec presenta el valor més elevat de viscositat (64,0 ± 0,2 mPa·s a 50 °Brix i -6 °C). L'efecte de la temperatura sobre la viscositat dels sucs es representa de manera adient mitjançant una equació tipus Arrhenius. Els sucs estudiats presenten un comportament newtonià.

**Paraules clau:** Viscositat, suc de fruita, °Brix, temperatura.

---

\*Autor para la correspondencia:

\*merce.raventos@upc.edu

## 1. INTRODUCCIÓN

Los zumos tienen gran importancia en la industria de procesamiento de frutas. Debido a la variedad de características organolépticas que pueden transferir, por sus propiedades nutricionales y por la cantidad de compuestos funcionales que pueden aportar cada vez son más utilizados en la formulación de nuevos productos. Durante su procesamiento, los zumos son sometidos a diferentes operaciones, como el transporte a través de tuberías, el almacenamiento en frío o congelación y la concentración. Esta última operación se realiza con el fin de disminuir costes de transporte y aumentar su vida útil. Los zumos son concentrados usualmente por evaporación. Sin embargo, en las primeras etapas de concentración se están utilizando también técnicas de membrana. Debido a las altas temperaturas de proceso, en la evaporación se deterioran los componentes termosensibles y las propiedades organolépticas del zumo. (Chin et al., 2009; Polydera et al., 2003).

Un proceso de concentración a bajas temperaturas y que está siendo ampliamente estudiado es la crioconcentración. Esta técnica consiste en la eliminación de agua en forma de cristales de hielo mediante el enfriamiento del fluido a concentrar a temperaturas por debajo del punto de congelación (Sánchez et al., 2009). La concentración de zumos con esta técnica, ha mostrado ser altamente eficiente en la conservación de las propiedades organolépticas y de la vitamina C (Braddock y Marcy, 1985; Braddock y Marcy, 1987; Liu et al., 1999; Ramos et al., 2005).

Para el diseño de equipos como los crioconcentradores o sistemas de transporte de zumos (bombas, tuberías y sistemas de agitación) que operen a temperaturas cercanas a las de congelación, se hace necesario conocer las propiedades físicas de los zumos a estas temperaturas. Una de las propiedades más importantes es la viscosidad.

En el presente trabajo se determina experimentalmente la viscosidad de zumos comerciales de melocotón, manzana y pera a concentraciones de 40 y 50 °Brix a temperaturas cercanas a la congelación, evitando la formación de cristales de hielo. El efecto de la temperatura sobre la viscosidad de los zumos también ha sido investigado en el intervalo de -6 a 4 °C.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1 Análisis

Como un paso previo a la determinación experimental de la viscosidad, se realizó una caracterización de los zumos. Los niveles de fructosa, glucosa y sacarosa en los zumos de fruta fueron determinados mediante cromatografía líquida de alta resolución con un equipo HPLC marca Beckman, San Ramón (CA), con una columna Spherisorb NH<sub>2</sub> (25 x 0,4 cm), fase móvil: acetonitrilo: agua (75:25); velocidad de flujo: 1,5 mL / min, volumen de inyección: 20 microlitros. Los análisis se realizaron por triplicado y fueron expresados como %.

### 2.2 Preparación de las muestras

Para el estudio se utilizaron zumos comerciales concentrados (clarificados y despectinizados) de melocotón, manzana y pera (a una concentración inicial de 70 °Brix). Los zumos obtenidos por evaporación con múltiple efecto y recompresión mecánica del vapor fueron suministrados por NUFRI (Lleida-España). A partir de estos zumos se prepararon diluciones a 40 y 50 °Brix con agua destilada. La concentración de sólidos solubles de las muestras fue me-

didada con un refractómetro (ATAGO DBX-55, Japón) a una temperatura de  $20 \pm 0,05$  °C. Las muestras se mantuvieron refrigeradas a 2 °C hasta el inicio de los ensayos.

### Montaje y método experimental

El montaje experimental (Figura 1) consistió en un viscosímetro de cilindros coaxiales (1) (FUNGILAB VISCO STAR + L, Barcelona) con sonda PT100 (2) previamente calibrada con agua destilada que determina la temperatura de la muestra. La velocidad del rotor fue variada en el rango de 20 a 60 rpm. Las dimensiones del husillo son 9,5 mm de radio y 65 mm de longitud. Las muestras de zumo fueron trasvasadas a un recipiente cilíndrico de radio: 26,5 mm. El viscosímetro fue conectado a un PC (3) para la descarga de los datos. Para controlar la temperatura de trabajo se utilizó un baño termostático POLYSCIENCE (4) (modelo 9505-Estados Unidos, rango de temperatura de -30 °C a 150 °C, estabilidad de temperatura  $\pm 0,05$  °C, precisión de lectura  $\pm 0,5$  °C) con una mezcla al 50% de etilenglicol de grado de laboratorio y agua.

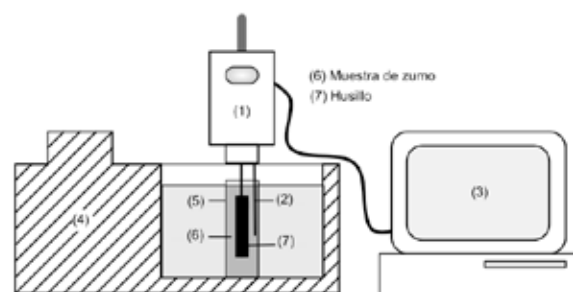


Figura 1. Montaje experimental para la determinación de la viscosidad.

El recipiente con la muestra (6) se introdujo en el baño termostático. Se inició la medida de viscosidad al alcanzar la muestra el valor de temperatura esperado. La viscosidad se determinó por cuadruplicado para cada muestra.

### 2.4 Comprobación del método de medida de la viscosidad

Para comprobar el método y el montaje experimental utilizado, se realizaron medidas previas de la viscosidad con soluciones de sacarosa de grado analítico a 40 y 50 °Brix. Estos valores de viscosidad fueron comparados con valores de viscosidad reportados por Bouchard y Grandjean (1995).

### 2.5. Efecto de la temperatura sobre la viscosidad

Para describir el efecto de la temperatura sobre la viscosidad de los zumos estudiados se utilizó una ecuación del tipo Arrhenius:

$$\eta = K_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (1)$$

Donde  $\eta$  es la viscosidad dinámica (mPa s),  $K_0$  es una constante (mPa s),  $E_a$  es la energía de activación al flujo (kJ/mol),  $R$  es la constante de los gases ideales (kJ/K·mol) y  $T$  es la temperatura absoluta (Kelvin). Para obtener los parámetros de dicha ecuación, se procedió a linealizarla, tomando logaritmos. De esta linealización resultó una ecuación en la que  $\ln(\eta)$  es la variable dependiente,  $1/T$  la varia-

ble independiente,  $Ea/R$  la pendiente y  $\ln(K_0)$  la ordenada en el origen.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Caracterización de los zumos de fruta

De los análisis de cuantificación de los azúcares en los zumos de fruta estudiados (Tabla 1) se obtuvo como resultado un alto contenido de sacarosa en el zumo de melocotón (55,70 %) en comparación con los zumos de pera y manzana. El zumo de manzana ensayado presenta el mayor % de fructosa (62,00 %) mientras que el zumo de pera ensayado es el de menor contenido en sacarosa (8,50 %).

Tabla 1. Proporción de azúcares en los zumos.

%	Melocotón	Manzana	Pera
Glucosa	18,80 ± 0,2	22,00 ± 0,16	39,00 ± 0,30
Fructosa	25,50 ± 0,15	62,00 ± 0,22	52,50 ± 0,03
Sacarosa	55,70 ± 0,25	16,00 ± 0,30	8,50 ± 0,40

#### 3.2 Incertidumbre en la medida de la viscosidad

Se obtuvo un buen ajuste ( $R^2 = 0,99$ ) entre los valores de viscosidad para soluciones de sacarosa reportados por Bouchard y Grandjean (1995) y los datos medidos experimentalmente. Esto permite considerar que el montaje experimental tiene una buena precisión para la medida de la viscosidad.

#### 3.3 Comportamiento de la viscosidad respecto a la velocidad del husillo

Los componentes disueltos en los zumos, particularmente los azúcares tienen una importante influencia en el comportamiento al flujo (Rao et al., 1984). En este estudio la velocidad de rotación del husillo está en relación directa con la velocidad de deformación. Los zumos de pera, manzana y melocotón no presentan una variación apreciable en el valor de la viscosidad respecto a la velocidad de rotación del husillo. Los datos determinados (Figura 2) permiten considerar un comportamiento newtoniano para todos los zumos ensayados. Este comportamiento es el mismo en todo el intervalo de temperatura y concentración estudiados.

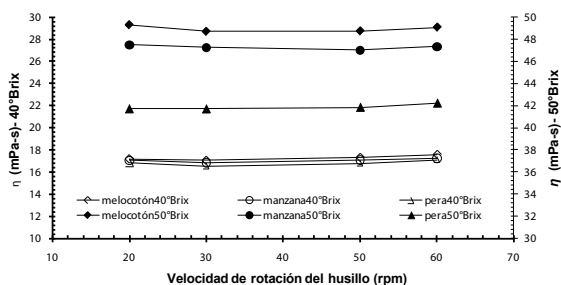


Figura 2. Viscosidad de los zumos a 2°C frente a la velocidad de rotación del husillo.

Estos resultados están en concordancia con el estudio de Rao et al. (1984) donde se observa un comportamiento newtoniano para zumo de manzana a 41 y 73 °Brix en el intervalo de temperatura -5 a 40 °C y -10 a 40 °C respectivamente. En estudios del comportamiento reológico de zumos clarificados de pera y manzana en el intervalo de temperatura 5 a 60 °C y a concentraciones de 70 y 71 °Brix respectivamente llevados a cabo por Ibarz et al. (1987) se ha verificado también este tipo de comportamiento.

#### 3.4 Viscosidad de los zumos comerciales a 40 y 50 °Brix en el intervalo -6 a 4 °C.

Debido a la gran variación en la composición de los zumos de fruta se puede esperar una amplia variación en la magnitud de las propiedades reológicas. En los datos obtenidos en la Tabla 2, se constata el incremento de la viscosidad con la disminución de la temperatura. Este incremento se hace más pronunciado en orden de magnitud para las muestras de zumo con una concentración de sólidos solubles de 50 °Brix, como es el caso del zumo de melocotón, cuyo valor de viscosidad a esta concentración y a una temperatura de -6 °C es de 64 mPa·s. Es interesante destacar, que a 40 °Brix y en todo el intervalo de temperatura estudiado, los valores de viscosidad son similares para los tres zumos. A 50 °Brix la diferencia es más notoria. Es conocido que, a igualdad de concentración y temperatura, la viscosidad de las soluciones de sacarosa es mayor que la viscosidad de glucosa y fructosa (Raventós et al., 2007; Telis et al. 2007); la mayor proporción en sacarosa del zumo de melocotón podría explicar su mayor viscosidad respecto a los zumos de manzana y pera.

Tabla 2. Viscosidad dinámica de los zumos comerciales a 40 y 50 °Brix en el intervalo -6 a 4 °C.

Temperatura oC	Melocotón		Manzana		Pera	
	40 oBrix mPa·s	50 oBrix mPa·s	40 oBrix mPa·s	50 oBrix mPa·s	40 oBrix mPa·s	50 oBrix mPa·s
-6	21,0 ± 0,3	64,0 ± 0,2	21,0 ± 0,3	61,8 ± 0,6	22,1 ± 0,3	55,0 ± 0,2
-5	19,8 ± 0,1	58,4 ± 1,8	19,4 ± 0,1	57,1 ± 0,3	19,2 ± 0,1	50,9 ± 0,5
-4	18,9 ± 0,1	55,4 ± 0,8	18,9 ± 0,2	52,4 ± 0,2	17,9 ± 0,2	47,9 ± 0,7
-2	17,0 ± 0,2	49,0 ± 0,8	16,8 ± 0,2	47,3 ± 0,7	16,5 ± 0,1	41,7 ± 0,7
0	15,6 ± 0,2	44,2 ± 0,8	14,9 ± 0,3	41,1 ± 0,3	14,8 ± 0,1	36,5 ± 0,4
2	14,0 ± 0,1	39,3 ± 0,5	14,0 ± 0,3	36,1 ± 0,4	13,3 ± 0,1	32,3 ± 0,3
4	11,6 ± 0,2	34,6 ± 0,3	12,9 ± 0,1	31,6 ± 0,1	11,3 ± 0,3	28,5 ± 0,2

Como era de esperar, a medida que aumenta la concentración de sólidos solubles en los zumos, la viscosidad también lo hace de forma apreciable (Chin et al., 2009; Ibarz et al., 1989). El rango de variación obtenido para la viscosidad de los tres zumos a 40 y 50 °Brix es de 11 a 22 mPa·s y de 28 a 64 mPa·s respectivamente en todo el intervalo de temperatura estudiado.

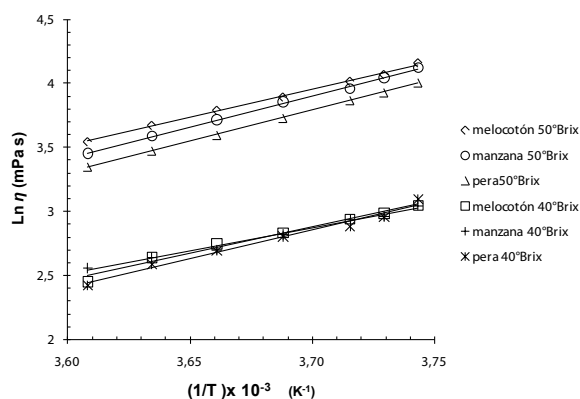
#### 3.5 Efecto de la temperatura sobre la viscosidad

En una gráfica de logaritmo de la viscosidad respecto al inverso de la temperatura absoluta, los valores experimentales mostraron un buen ajuste respecto a una ecuación tipo Arrhenius (Tabla 3). Por tanto, se considera que el mo-

delo de Arrhenius da una buena descripción del efecto de la temperatura sobre la viscosidad dinámica de los zumos bajo las condiciones experimentales de este estudio. La magnitud de la energía de activación al flujo  $E_a$  (proporcional a la pendiente de las rectas de regresión lineal de la Figura 3) se incrementa con la concentración (Tabla 3). Una tendencia similar fue observada por Rao et al. (1984) para zumo de manzana a 41 y 73 °Brix en el intervalo de temperatura -5 a 40 °C y -10 a 40 °C respectivamente. Vitali y Rao (1984) obtuvieron un resultado similar con zumo de naranja a 65 °Brix en el intervalo de temperatura -19 a 40°C. A bajas temperaturas la viscosidad se incrementa a medida que se aproxima el estado vítreo. Esta nueva estructura de la muestra requiere mayor espacio y por tanto una mayor energía de activación al flujo (Vitali y Rao, 1984).

**Tabla 3.** Parámetros de la ecuación de Arrhenius para los zumos.

Zumos	Concentración (°Brix)	$K_0$ (mPas-s)	$E_a$ (kJ/mol)	$R^2$	Temperatura (°C)
Melocotón	40	4,08E-06	34,35	0,986	-6 a 4
Manzana	40	2,85E-05	29,97	0,997	-6 a 4
Pera	40	1,08E-06	37,29	0,989	-6 a 4
Melocotón	50	4,57E-06	36,51	0,995	-6 a 4
Manzana	50	7,42E-07	40,49	0,996	-6 a 4
Pera	50	7,09E-07	40,34	0,997	-6 a 4



**Figura 3.** Logaritmo de la viscosidad de los zumos frente a la inversa de la temperatura absoluta.

#### 4. CONCLUSIONES

Se confirma el incremento de viscosidad a medida que disminuye la temperatura en los zumos de melocotón, manzana y pera a 40 y 50 °Brix. Este efecto es más notorio a 50 °Brix. El zumo de melocotón presenta el valor más elevado para la viscosidad de todas las muestras analizadas. A 50 °Brix y a una temperatura de -6 °C la viscosidad de este zumo es de  $64,0 \pm 0,2$  mPa·s.

Se obtuvo un buen ajuste del comportamiento de la viscosidad de los zumos comerciales de melocotón, manzana y pera respecto a la temperatura utilizando una ecuación tipo Arrhenius. La energía de activación al flujo se incrementa con la concentración.

Los zumos comerciales estudiados se pueden asimilar a un comportamiento newtoniano en todo el intervalo de temperatura y concentraciones estudiado.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

La autora Dra. Yolanda Ruiz agradece al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - COL-CIENCIAS- por el préstamo condonable para doctorado nacional 2004.

El autor José Sánchez agradece al Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACIT) de la República Bolivariana de Venezuela por Beca otorgada para estudios doctorales en el exterior 2008-2011.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Bouchard, C. and Grandjean, B.P.A. 1995. A Neural Network Correlation for the Variation of Viscosity of Sucrose Aqueous Solutions with Temperature and Concentration. *LWT - Food Science and Technology* 28, 157-159.
- Braddock, R.J. and Marcy, J.E. 1985. Freeze concentration of pineapple juice. *Journal of Food Science* 50, 1636-1639.
- Braddock, R.J. and Marcy, J.E. 1987. Quality of freeze concentrated orange juice. *Journal of Food Science* 52, 159-162.
- Chin, N.L.; Chan, S.M.; Yusof, Y.A.; Chuah, T.G. and Talib, R.A. 2009. Modelling of rheological behaviour of pummelo juice concentrates using master-curve. *Journal of Food Engineering* 93, 134-140.
- Gürses, A. and Bayrakçeken, S.1996. Rheological, physical and chemical characteristics of mulberry pekmez. *Food Control* 16, 73-76.
- Ibarz, A.; Vicente, M. and Graell, J. 1987. Rheological Behaviour of apple juice and pear juice and their concentrates. *Journal and food Engineering* 6, 257-267.
- Ibarz, A.; Pagán J.; Gutiérrez, J. and Vicente, M. 1989. Rheological properties of clarified pear juice concentrates. *Journal of Food Engineering* 10, 57-63.
- Liu, L.; Miyawaki, O.; and Hayakawa K.1999. Progressive Freeze-concentration of Tomato Juice. *Food Science and Technology Research* 5, 108-112.
- Polydera, A.C.; Stoforos, N.G. and Taoukis, P.S. 2003. Comparative shelf life study and vitamin C loss kinetics in pasteurised and high pressure processed reconstituted orange juice. *Journal of Food Engineering* 60, 21-29.
- Ramos, F.A.; Delgado, J.L.; Bautista, E.; Morales, A.L., and Duque, C. 2005. Changes in volatiles with the application of progressive freeze-concentration to Andes berry (*Rubus glaucus* Benth). *Journal of Food Engineering* 69, 291-297.
- Rao, M.A.; Cooley, H.J. and Vitali, A.A. 1984. Flow properties of concentrated juices at low temperatures. *Food Technology* 38 (3), 113-190.
- Raventós, M., Hernández, E., Auleda, J.M., Ibarz, A. 2007. Concentration of aqueous sugar solutions in a

- 
- multi-plate cryoconcentrator. *Journal of Food Engineering* 79,577-585.
13. Sánchez, J.; Ruiz, Y.; Auleda, J.M.; Hernández, E.; Raventós, M. 2009. Review. Freeze Concentration in the Fruits Juices Industry. *Food Science and Technology International* 15 (4), 303-315.
  14. Telis, V. R. N., Telis-Romero, J., Mazzotti, H. B., & Gabas, A. L. 2007. Viscosity of aqueous carbohydrate solutions at different temperatures and concentrations. *International Journal of Food Properties* 10, 185 – 195.
  15. Vitali, A.A. and Rao, M.A. 1984. Flow Properties of Low-Pulp Concentrated Orange Juice: Effect of Temperature and Concentration. *Journal of Food Science* 49, 882-888.