



Influencia de la temperatura y adición de fibra en el comportamiento al flujo del zumo de naranja

Influence of temperature and addition of fiber in the flow behavior of orange juice

Raúl Siche^{1,*}, Victor Falguera², Albert Ibarz²

¹ Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n. Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

² Departamento de Tecnología de los Alimentos (DTA), Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria (ETSEA), Lleida, España.

Recibido 02 agosto 2012; aceptado 23 noviembre 2012

Resumen

En el presente trabajo se evaluó la influencia de la temperatura y la adición de fibra de naranja en el comportamiento al flujo del zumo de naranja, utilizándose para ello los parámetros del modelo Herschel-Bulkley. Se observó que el comportamiento de los zumos cambió debido a la adición de fibra, de Newtoniano a Pseudoplástico cuando su contenido de fibra fue de 5% y la temperatura pasó de 30°C a 20°C, y de un comportamiento Pseudoplástico a uno de Herschel-Bulkley cuando su contenido de fibra fue de 12,5% y se pasó de 10°C a 0°C. El aumento en el contenido de fibra resultó en un progresivo aumento de la consistencia y una disminución en el índice de comportamiento del flujo.

Palabras clave: Propiedades reológicas, reología, fibra, viscosidad, Herschel-Bulkley.

Abstract

In this study the influence of the addition of orange fiber in the flow behavior of orange juice was evaluated, using for this the Herschel-Bulkley model parameters. It was observed that the flow behavior of the juices changed due to the addition of fiber, from Newtonian to Pseudoplastic when its fiber content was 5% and the temperature changed from 30 °C to 20 °C, and from Pseudoplastic to Herschel-Bulkley when its fiber content was 12.5% and the temperature changed from 10 °C to 0 °C. The increase in fiber content resulted in a progressive increase of consistency and a decrease of the flow behavior index.

Keywords: Rheological properties, rheology, fiber, viscosity, Herschel-Bulkley.

1. Introducción

Actualmente, existe una creciente preocupación del consumidor respecto a la calidad sensorial y los aspectos nutricionales de los alimentos. Las recomendaciones, constantes, de aumentar el consumo de fibra dietética (28-35 g/día), por sus claros beneficios en la salud, han llevado a buscar nuevas fuentes de este componente o a diseñar nuevos alimentos que con una mayor aceptación,

contribuyan a aumentar la ingesta diaria recomendada de fibra dietética (Pszczola, 2006). Adicionar fibras en la dieta es una tendencia en varios países, en alimentos como los lácteos (Sendra *et al.*, 2010), panadería (Sabanis *et al.*, 2009) y la carne (Sánchez-Zapata *et al.*, 2010), por lo que, comprender los cambios en las propiedades físicas y sensoriales de los alimentos debido a la adición de fibra es esencial para el diseño de procesos.

* Autor para correspondencia

Email: rsiche@unitru.edu.pe (R. Siche)

La naranja contiene muchos nutrientes como vitaminas C, A y B, minerales (calcio, fósforo, potasio), fibra y fitoquímicos, incluyendo muchos flavonoides, aminoácidos, triterpenos, ácidos fenólicos y carotenoides (Roussos, 2011). Además es una fruta que se consume en grandes cantidades en todo el mundo y en diferentes formas, siendo Brasil el que produce la mitad de jugo de naranja de todo el planeta y exporta el 98% de lo que produce (Citrusbr, 2012).

Por otro lado, la caracterización reológica de los alimentos es necesaria en el diseño de operaciones como: bombeo, mezcla y transferencia de calor (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2003). Se han estudiado las propiedades reológicas de dispersiones de fibras en agua (Grigelmo-Miguel *et al.*, 1999a, b), en productos lácteos (Sendra *et al.*, 2010), en zumo de melocotón (Augusto *et al.*, 2011); pero en naranja no se tiene reportado. Además, los trabajos de Grigelmo-Miguel *et al.* (1999a,b) y Sendra *et al.* (2010) sólo utilizaron un nivel de concentración de fibra, y el trabajo de Augusto *et al.* (2011), varios niveles de fibra, pero a una sola temperatura (20°C). Guillon y Champ (2000) destacaron la necesidad de una mayor investigación para entender el cambio del material por adición de fibra, la cual es esencial para definir los parámetros del procesamiento para desarrollar productos optimizados en calidad y aspectos nutricionales.

Así, en el presente trabajo se evaluaron los cambios en el comportamiento al flujo de zumo de naranja, debido a la adición de fibra dietética de naranja (0 a 12,5%) y a diferentes temperaturas (0 a 40°C).

2. Material y Métodos

Para garantizar la estandarización y la repetibilidad de los ensayos, fue utilizado zumo clarificado y despectinizado de naranja concentrado (57,1° Brix) proporcionado por la industria Nufri S.A.T. (Lleida, España). El zumo concentrado fue diluido con agua destilada

hasta 12°Brix para la producción de un zumo listo para beber. Los contenidos de sólidos solubles se determinaron por refractometría (Atago RX-1000) a 20°C. La fibra de naranja fue proporcionada por la industria InduLleida, S.A (Lleida, España). La fibra se mezcló con el zumo listo para beber utilizando un homogenizador (3 min a 15000 rpm, Ultra-Turrax IKA T25, Alemania) para obtener zumos con fibra a la concentración deseada ($C_f = 0$ a 40% w/w).

Las mediciones reológicas se llevaron a cabo en un reómetro (Haake RS 80, Haake, Alemania), utilizando una geometría Couette (Cilindro concéntrico; Haake Z40-DIN) con relación radio de taza y bob de 1,0847 (radio bob = $20 \pm 0,004$ mm).

La temperatura se mantuvo constante mediante un baño de agua (Phoenix ThermoHaake C25P) con una desviación inferior a $\pm 0,3$ °C. La evaluación reológica se llevó a cabo con nuevas muestras sin historia mecánica. Así, las muestras se colocaron en el reómetro y se mantuvieron en reposo durante 10 minutos antes de empezar el cizallamiento. Las regresiones se realizaron para cada repetición. Los parámetros de cada modelo fueron obtenidos por regresión no lineal utilizando Statgraphics Plus v 5.1 software (Statistical Graphics Corp., Warrenton, VA, EE.UU.), utilizando un nivel de probabilidad significativa de 95%.

Los experimentos de cizalla en estado estacionario se llevaron a cabo a una velocidad de cizallamiento ($\dot{\gamma}$) entre 0,01-300 s^{-1} , con excepción de las muestras de zumo puro (0% fibra) y de las muestras con 2,5% de fibra, donde las velocidades de cizallamiento fueron de máximo 80 s^{-1} y 150 s^{-1} , respectivamente, debido a la formación de vórtices de Taylor en altos valores (es decir, flujos turbulentos secundarios, que no pueden ser utilizados en el análisis reológico - Steffe, 1996). Las muestras fueron sometidos a ciclos cizallamiento en rampas de tres-flujo (arriba, abajo y hasta los ciclos); los datos de la tercera rampa se utilizaron para el

análisis (Genovese y Rao, 2005; Sato y Cunha, 2009; Tonon *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2010). Los experimentos se llevaron a cabo en tres repeticiones.

Se utilizó el Modelo de Herschel-Bulkley para estudiar el comportamiento de flujo de los productos: $\sigma_0 = \sigma_0 + k*Y^n$, donde σ_0 es el esfuerzo cortante umbral, k es el índice de consistencia y n es el índice de comportamiento de flujo.

3. Resultados y discusión

Como era de esperar, el zumo de naranja clarificado y despectinizado listo para beber (12°Brix y 0%Fibra) mostró un comportamiento Newtoniano, con viscosidades entre 1,4 mPa.s (a 40°C) a 2,9 mPa.s (a 0°C) (Tabla 1). Con la adición de 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; 10% y 12,5% de fibra de

naranja se puede observar que no sólo la consistencia, sino también el comportamiento de flujo de los productos cambiaron debido a la adición de fibra. El zumo pasó de un comportamiento Newtoniano a un pseudoplástico cuando su contenido de fibra fue de 5% y se pasó de 30°C a 20°C (Tabla 1). Asimismo, el zumo pasó de un comportamiento pseudoplástico a uno de Herschel-Bulkley cuando su contenido de fibra fue de 12,5% y se pasó de 0°C a 10°C. Mientras que el zumo con baja concentración de fibra se comporta como un alimento líquido (0 a 10% fibra), el más concentrado se estaría comportando como alimento semisólido (12,5% fibra), aunque habría que comprobarlo con ensayos de viscoelasticidad.

Tabla 1

Valores para los parámetros del modelo de Herschel-Bulkley (0 a 40 °C, 0 a 12,5% fibra, $0,01 \text{ s}^{-1} < \dot{\gamma} < 300 \text{ s}^{-1}$, con una media de tres repeticiones \pm desviación estándar).

%Fibra	Temperatura (°C)	σ_0 (Pa)	k (Pa.s ⁿ)	n	R ²	Comportamiento reológico
0	40	0,0000±0,0000	0,0014±0,0000	1,000±0,000	0,9250	Newtoniano
	30	0,0000±0,0000	0,0015±0,0000	1,000±0,000	0,9461	Newtoniano
	20	0,0000±0,0000	0,0017±0,0000	1,000±0,000	0,9856	Newtoniano
	10	0,0000±0,0000	0,0022±0,0001	1,000±0,000	0,9915	Newtoniano
	0	0,0000±0,0000	0,0029±0,0000	1,000±0,000	0,9952	Newtoniano
2.5	40	0,0000±0,0000	0,0035±0,0035	1,000±0,000	0,9978	Newtoniano
	30	0,0000±0,0000	0,0041±0,0000	1,000±0,000	0,9987	Newtoniano
	20	0,0000±0,0000	0,0053±0,0003	1,000±0,000	0,9686	Newtoniano
	10	0,0000±0,0000	0,0063±0,0002	1,000±0,000	0,9889	Newtoniano
	0	0,0000±0,0000	0,0085±0,0002	1,000±0,000	0,9995	Newtoniano
5	40	0,0000±0,0000	0,0067±0,0009	0,995±0,025	0,9991	Newtoniano
	30	0,0000±0,0000	0,0081±0,0008	0,990±0,016	0,9997	Newtoniano
	20	0,0000±0,0000	0,0111±0,0007	0,979±0,011	0,9997	Pseudoplástico
	10	0,0000±0,0000	0,0163±0,0006	0,956±0,009	0,9998	Pseudoplástico
	0	0,0000±0,0000	0,0240±0,0016	0,939±0,015	0,9998	Pseudoplástico
7.5	40	0,0000±0,0000	0,0370±0,0370	0,871±0,021	0,9997	Pseudoplástico
	30	0,0000±0,0000	0,0458±0,0005	0,867±0,003	0,9997	Pseudoplástico
	20	0,0000±0,0000	0,0592±0,0018	0,864±0,005	0,9998	Pseudoplástico
	10	0,0000±0,0000	0,0812±0,0016	0,858±0,004	0,9999	Pseudoplástico
	0	0,0000±0,0000	0,1190±0,0042	0,843±0,002	0,9999	Pseudoplástico
10	40	0,0000±0,0000	0,0972±0,0167	0,818±0,032	0,9997	Pseudoplástico
	30	0,0000±0,0000	0,1204±0,0033	0,813±0,004	0,9998	Pseudoplástico
	20	0,0000±0,0000	0,1549±0,0040	0,815±0,004	0,9999	Pseudoplástico
	10	0,0000±0,0000	0,2071±0,0050	0,813±0,004	1,0000	Pseudoplástico
	0	0,0000±0,0000	0,2879±0,0091	0,812±0,006	1,0000	Pseudoplástico
12.5	40	0,6832±0,0320	0,2376±0,0085	0,796±0,008	0,9999	Herschel-Bulkley
	30	0,5886±0,0422	0,3266±0,0036	0,783±0,002	1,0000	Herschel-Bulkley
	20	0,4236±0,0453	0,4613±0,0056	0,769±0,002	1,0000	Herschel-Bulkley
	10	0,1776±0,0921	0,6756±0,0092	0,751±0,003	0,9999	Herschel-Bulkley
	0	0,0000±0,0000	1,0406±0,0215	0,731±0,004	0,9999	Pseudoplástico

Por otro lado, los valores de R^2 fueron todos superiores a 92%. Como era de esperar, el aumento en el contenido de fibra resultó en un progresivo aumento de la consistencia (índice de consistencia, k), ya que las interacciones entre las partículas y las fibras son más altas. Además, la desviación del flujo newtoniano se incrementa con la adición de fibra, aspecto que se puede observar por la creciente pseudoplasticidad (disminución en el índice de comportamiento del flujo, n) y la presencia de un esfuerzo umbral (σ_0) desde 12,5% de contenido de fibra. Estos cambios resultan en una importante información para el diseño del proceso de adición de fibra. Togrul y Arslan (2003) observaron una disminución en el índice de comportamiento de flujo (n), debido al aumento de la concentración de carboximetilcelulosa en dispersiones de agua.

En la Figura 1 se puede observar, para cualquier contenido de fibra, que con el aumento de la temperatura (de 0 a 40°C) el esfuerzo cortante de los zumos tiende a disminuir. También se observa que a medida que el contenido de fibra aumenta, el esfuerzo cortante aumenta.

Aunque el aumento de fibra da un producto más consistente, es principalmente importante modelar los cambios de comportamiento durante el proceso de adición de fibra. Ibarz y Barbosa-Cánovas (2003) y Rao (1999) observaron que el efecto de la concentración en las propiedades reológicas es generalmente modelada según la ley de potencia y funciones exponenciales. El enfoque general consiste en el modelado de la viscosidad o viscosidad aparente como una función de los sólidos solubles (Ibarz *et al.*, 2009; Altan *et al.*, 2005; Pereira *et al.*, 2008; Shamsudin *et al.*, 2009). Un reducido número de trabajos han evaluado las propiedades reológicas con el modelo de Herschel-Bulkley para cada parámetro por separado. El índice de consistencia (k) ha sido modelado como una función potencia y exponencial para productos de

tomate (Dak *et al.*, 2008), zumo de naranja (Vitali y Rao, 1984a,b), jugo de *Malus floribunda* (Cepeda *et al.*, 1999) y dispersiones de carboximetilcelulosa (Togrul y Arslan, 2003); mientras que el esfuerzo cortante umbral (σ_0) se modela bien por una función exponencial para productos de tomate (Yoo y Rao, 1994; Sharma *et al.*, 1996). Por el contrario, el índice de comportamiento de flujo (n) es generalmente asumido como relativamente constante con la concentración (Rao, 1999a), como puede verse en su pequeña variación en productos derivados del tomate (Yoo y Rao, 1994).

La influencia observada de la adición de fibra de naranja en el comportamiento reológico de los productos obtenidos puede ser explicada por las interacciones entre los diferentes polisacáridos que presenta la fibra de naranja, así como entre los polisacáridos y los azúcares naturales y sus ácidos. De acuerdo a la ficha técnica de la fibra de naranja concedida por la empresa Indulleida S.A., la cantidad de fibra dietética total en fibra de naranja es de aproximadamente 40% en base seca, compuesto en un 20% de fibra insoluble y el 10% de soluble. Rao (1999b) observó que dispersiones de pectina no fueron soluciones verdaderas, sino sistemas de dos fases con microagregados de pectina dispersa en el disolvente. Zykwincka *et al.* (2005) y Carpita y Gibeaut (1993) describen que las interacciones no covalentes entre polímeros de la pared celular formando dos redes, donde el xiloglucano-celulosa (el más abundante polisacárido hemicelulósico en la pared celular) está incrustado en una matriz de polisacáridos pécticos.

Además, según Zykwincka *et al.* (2005) las cadenas lineales de alineamiento paralelo de celulosa están estrechamente unidos por puentes hidrógeno para formar microfibrillas que pueden ser reticulados por las cadenas de xiloglucano. Esta red está incrustada en una matriz debido a diversos tipos de enlaces cruzados covalentes con pectinas.

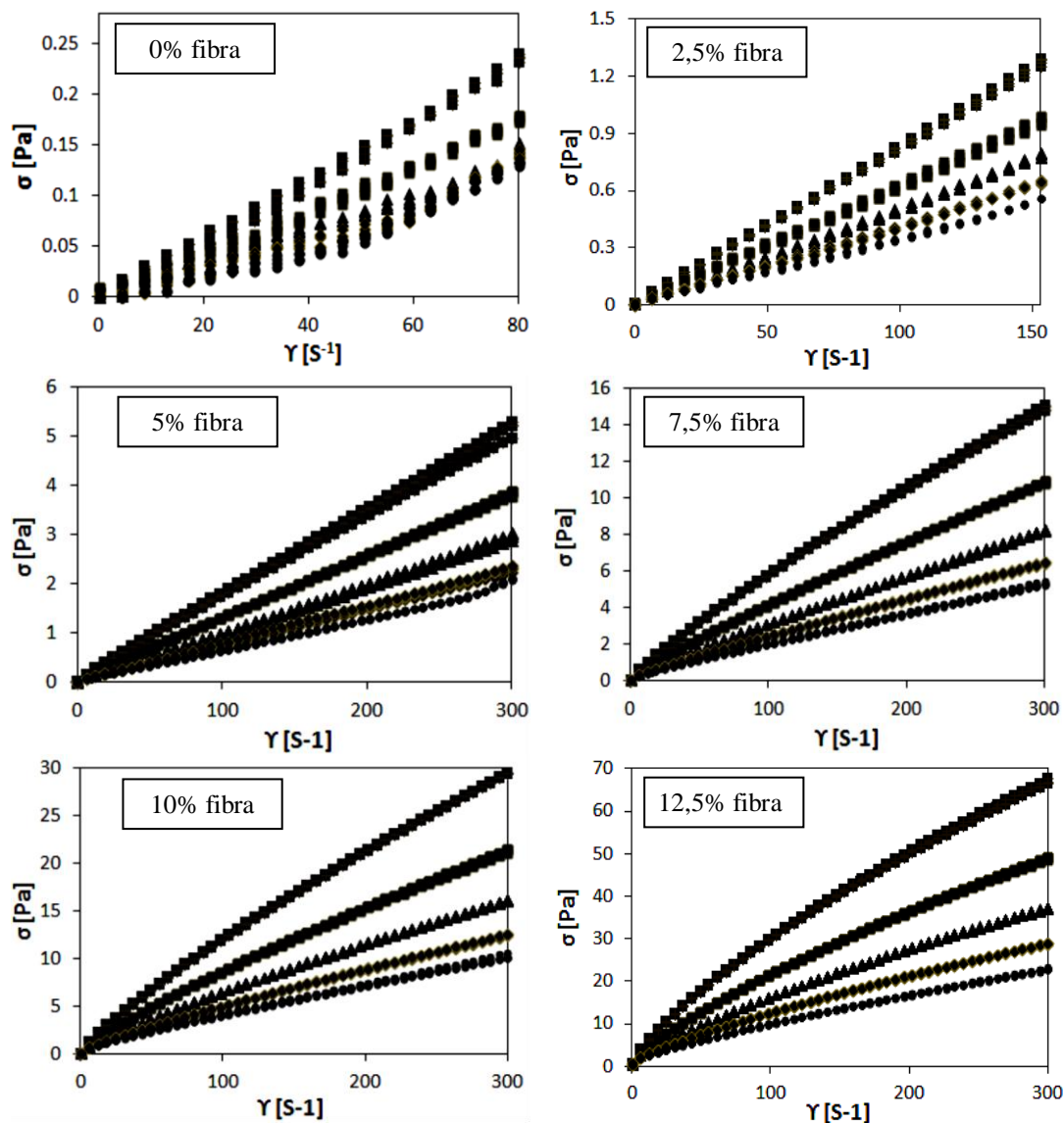


Figura 1. Curvas de flujo (esfuerzo cortante como función de la velocidad de deformación) para el zumo de naranja con adición de fibra y aumento de la temperatura: ■ 0°C, ■ 10°C, ▲ 20°C, ◆ 30°C, y ● 40°C.

Así, los productos obtenidos pueden ser descritos por agrupaciones polímero insoluble y cadenas dispersa en un medio viscoso compuesto por polisacáridos solubles, azúcares y ácidos, que explica la cizalla de los productos obtenidos, así como el efecto observado de la concentración de fibras en las propiedades reológicas de los productos (Rao, 1999a).

4. Conclusiones

Los zumos pasaron de un comportamiento newtoniano a un pseudoplástico (5% de

fibra y se pasó de 30°C a 20°C) y, a continuación, un comportamiento de Herschel-Bulkley (12,5% fibra pasando de 0°C a 10°C).

Los datos obtenidos son potencialmente útiles para futuros estudios sobre el desarrollo de productos, propiedades de alimentos y el proceso de diseño, ya que la adición de fibras da lugar no sólo en un producto más consistente, sino también en un comportamiento diferente durante el proceso.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a las fábricas de Indulleida (Alguaire, Lleida, España), por proporcionar la fibra de naranja, y Nufri (Mollerussa, Lleida, España) por proporcionar el zumo de naranja. El autor Raúl Siche agradece a la Universidad de Lleida por el financiamiento de la estancia posdoctoral que permitió la realización de este trabajo, a través del “Programa d’Ajuts per Afavorir la Internacionalització de la UdL mitjançant la Incorporació de Professorat Visitant Estranger i el Foment de les Dobles Titulacions”.

Referencias bibliográficas

- Altan, A.; Kus, S.; Kaya, A. 2005. Rheological behaviour and time dependent characterization of gilaboru juice (*Viburnum opulus* L.). *Food Science and Technology International* 11: 129 – 137.
- Augusto, P.E.D.; Falguera, V.; Cristianini, M.; Ibarz, A. 2011. Influence of fibre addition on the rheological properties of peach Juice. *International Journal of Food Science and Technology* 46: 1086 – 1092.
- Carpita, N.C.; Gibeaut, D.M. 1993. Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical properties of walls during growth. *The Plant Journal* 3: 1 – 30.
- Cepeda, E.; Villarán, M.C.; Ibarz, A. 1999. Rheological properties of cloudy and clarified juice of *Malus flurbunda* as a function of concentration and temperature. *Journal of Texture Studies* 30: 481 – 491.
- Citrusbr. 2012. Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos. Disponible en: <http://www.citrusbr.com/>
- Dak, M.; Verma, R.C.; Jaaffrey, S.N.A. 2008. Rheological properties of tomato concentrate. *International Journal of Food Engineering* 4: 1 – 19.
- Genovese, D.B.; Rao, M.A. 2005. Components of vane yield stress of structured food dispersions. *Journal of Food Science* 70: E498 – E504.
- Grigelmo-Miguel, N.; Ibarz, A.; Belloso, M.O. 1999a. Flow properties of orange dietary fibre suspensions. *Journal of Texture Studies* 30: 245 – 257.
- Grigelmo-Miguel, N.; Ibarz, A.; Belloso, M.O. 1999b. Rheology of peach dietary fibre suspensions. *Journal of Food Engineering* 39: 91 – 99.
- Guillon, F.; Champ, M. 2000. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Research International* 33: 233 – 245.
- Ibarz, A.; Barbosa-Cánovas, G.V. 2003. *Unit Operations in Food Engineering*. Boca Raton: CRC Press.
- Ibarz, R.; Falguera, V.; Garvín, A.; Garza, S.; Pagán, J.; Ibarz, A. 2009. Flow behaviour of clarified orange juice at low temperatures. *Journal of Texture Studies* 40: 445 – 456.
- Pereira, E.A.; Brandão, E.M.; Borges, S.V.; Maia, M.C.A. 2008. Influence of concentration on the steady and oscillatory shear behaviour of umbu pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 12: 87 – 90.
- Pszczola, D. 2006. Fiber gets a new image. *Food Technology* 60(2): 43 – 53.
- Rao, M.A. 1999a. Flow and functional models for rheological properties of fluid foods. In: *Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications* (edited by M.A. Rao). Pp. 25 – 58. Gaithersburg: Aspen Publishers.
- Rao, M.A. 1999b. Rheology of food gum and starch dispersions. In: *Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications* (edited by M.A. Rao). Pp. 153 – 218. Gaithersburg: Aspen Publishers.
- Roussos, P.A. 2011. Phytochemicals and antioxidant capacity of orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck cv. Salustiana) juice produced under organic and integrated farming system in Greece. *Sci. Hortic.* 129: 253 – 258.
- Sabanis, D.; Lebesia, D.; Tzia, C. 2009. Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *LWT – Food Science and Technology* 42: 1380 – 1389.
- Sánchez-Zapata, E.; Muñoz, C.M.; Fuentes, E.; Fernández-López, J.; Sendra, E.; Sayas, E.; Navarro, C.; Pérez-Alvarez, J.A. 2010. Effect of tiger nut fibre on quality characteristics of pork burger. *Meat Science* 85: 70 – 76.
- Sato, A.C.K.; Cunha, R.L. 2009. Effect of particle size on rheological properties of jaboticaba pulp. *Journal of Food Engineering* 91: 566 – 570.
- Sendra, E.; Kuri, V.; Fernández-López, J.; Sayas-Barberá, E.; Navarro, C.; Pérez-Alvarez, J.A. 2010. Viscoelastic properties of orange fibre enriched yogurt as a function of fibre dose, size and thermal treatment. *LWT – Food Science and Technology* 43: 708 – 714.
- Shamsudin, R.; Daud, W.R.W.; Takrif, M.S.; Hassan, O.; Ilicali, C. 2009. Rheological properties of Josapine pineapple juice at different stages of maturity. *International Journal of Food Science and Technology* 44: 757 – 762.
- Sharma, S.K.; Lemaguer, M.; Liptay, A.; Poysa, V. 1996. Effect of composition on the rheological properties of tomato thin pulp. *Food Research International* 29: 175 – 179.
- Silva, V.M.; Sato, A.C.K.; Barbosa, G.; Dacanal, G.; Ciro-Velásquez, H.J.; Cunha, R.L. 2010. The effect of homogenisation on the stability of pineapple pulp. *International Journal of Food Science and Technology* 45: 2127 – 2133.
- Steffe, J.F. 1996. *Rheological Methods in Food Process Engineering*, 2nd edn. East Lansing: Freeman Press.
- Togrul, H.; Arslan, N. 2003. Production of carboxymethyl cellulose from sugar beet pulp cellulose and rheological behaviour of carboxymethyl cellulose. *Carbohydrate Polymers* 54: 73 – 82.
- Tonon, R.V.; Alejandro, D.; Hubinger, M.D.; Cunha, R.L. 2009. Steady and dynamic shear rheological properties of açai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). *Journal of Food Engineering* 92: 425 – 431.
- Vitali, A.A.; Rao, M.A. 1984a. Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: serum viscosity and effect of pulp content. *J. of Food Science* 49: 876 – 881.
- Vitali, A.A.; Rao, M.A. 1984b. Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: effect of temperature and concentration. *J. of Food Science* 49: 882 – 888.
- Yoo, B.; Rao, M.A. 1994. Effect of unimodal particle size and pulp content on rheological properties of tomato puree. *Journal of Texture Studies* 25: 421 – 436.
- Zykwinska, A.W.; Ralet, M.C.J.; Garnier, C.D.; Thibault, J.F.J. 2005. Evidence for in vitro binding of pectin size chains to cellulose. *Plant Physiology* 139: 397 – 407.