



Propiedades reológicas de jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*) con adición de fibra dietética

Rheological properties of passion fruit (*Passiflora edulis*) juice with the addition of dietary fiber

Augusto Mechato ¹ ; Raúl Siche ^{2,*}

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Autónoma de Chota, Jr. Gregorio Malca N° 875, Chota, Perú.

² Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

RESUMEN

Las propiedades reológicas del jugo de maracuyá son poco conocidas. Este estudio tuvo como objetivo determinar las propiedades reológicas del jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*) con adición de fibra. Las mediciones reológicas se llevaron a cabo con un reómetro marca Thermo modelo Haake Mars 60 utilizando una geometría de placa ranurada (37 mm de diámetro). Los experimentos de cizallamiento en estado estacionario se llevaron a cabo en el rango de velocidad de cizallamiento ($\dot{\gamma}$) de 0,0001 s⁻¹. Se utilizó un protocolo escalonado de disminución logarítmica (1 - 100 s⁻¹) para garantizar la condición de estado estable. Los resultados fueron analizados mediante ANOVA y la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$). Los resultados mostraron que los zumos respondían a un comportamiento de Ley de potencia y Herschel-Bulkley, con un valor de ajuste de $R^2 > 0,7$. La viscosidad aparente aumentó con la concentración de fibra, pero disminuyó con el incremento de la temperatura. Sin embargo, la dependencia de la temperatura fue menos significativa cuando la concentración de fibra fue de 10% y 15%. Por otro lado, en general, el índice de consistencia k tiene a disminuir con el incremento de la temperatura, lo que está de acuerdo con una reducción de la viscosidad aparente. Por otro lado, el índice de comportamiento de flujo n incrementó significativamente ($p < 0,05$) cuando la concentración de fibra fue de 10% y 15%, indicando una menor tasa de estrés y una mayor capacidad de flujo.

Palabras clave: Reología; maracuyá; índice de comportamiento; fluido tixotrópico.

ABSTRACT

The rheological properties of passion fruit juice are poorly understood. This study aimed to determine the rheological properties of passion fruit juice (*Passiflora edulis*) with the addition of fiber. The rheological measurements were carried out with a Thermo Haake Mars 60 rheometer using a grooved plate geometry (37 mm diameter). Steady state shear experiments were carried out in the shear rate range ($\dot{\gamma}$) of 0.0001 s⁻¹. A staggered logarithmic decrease protocol (1 - 100 s⁻¹) was used to ensure steady state condition. The results were analyzed using ANOVA and Tukey's mean comparison test ($p < 0.05$). The results showed that the juices responded to a Power Law and Herschel-Bulkley behavior, with an adjustment value of $R^2 > 0.7$. The apparent viscosity increased with fiber concentration but decreased with increasing temperature. However, the temperature dependence was less significant when the fiber concentration was 10% and 15%. On the other hand, in general, the consistency index k tends to decrease with increasing temperature, which agrees with a reduction in apparent viscosity. On the other hand, the flow behavior index n increased significantly ($p < 0.05$) when the fiber concentration was 10% and 15%, indicating a lower stress rate and greater flow capacity.

Keywords: Rheology; passion fruit; performance index; thixotropic fluid.

1. Introducción

La industria alimentaria se dirige cada vez más hacia la formulación, producción y promoción de alimentos que mejoren la salud y tengan un

mayor valor nutricional (Dimitreli *et al.*, 2019), por lo que los jugos de fruta son bebidas populares consumidas por personas de todas las edades por su calidad sensorial y nutricional (Zhou *et al.*, 2017).

Por otro lado, el fruto de maracuyá es una fruta tropical que pertenece a la familia dicotiledónea Passifloraceae. La fruta tiene muchos beneficios para la salud y se consume como fruta fresca y se consume como jugo. El jugo de maracuyá a menudo se agrega a otros jugos de frutas para mejorar el sabor y el aroma (Wijeratnam, 2016). En la industria alimentaria se trabaja muy frecuentemente con productos que se encuentran en fase líquida, en todas o algunas operaciones industriales realizadas sobre los mismos; con el conocimiento de estos parámetros se pueden hacer cálculos para el diseño de equipos como bombas, intercambiadores de calor, evaporadores, deshidratadores y todos los equipos en los que existe flujo o cambios de consistencia (Bustamante *et al.*, 2016).

La reología de los productos alimentarios tiene una clara y permanente tendencia a desarrollarse, considerando que el conocimiento adecuado de las propiedades reológicas de los alimentos permitirá hacer manejo adecuado del procesamiento de diversas materias primas, sobre todo cuando se trata del diseño de equipos y maquinarias para el transporte. Sin embargo, esta ciencia, aún es muy joven, por ahora es muy experimental y estudiada por muy pocos científicos, sin embargo, a pesar de esta tenue atención, el impacto de los métodos reológicos tiene una aplicación en la industria agro alimentaria, exigiendo cada vez, con mayor presión, contar con datos reológicos de materias primas diversas (Augusto *et al.*, 2012 y Manayay *et al.*, 2013).

El conocimiento del comportamiento reológico es necesario para el procesamiento de productos de frutas y verduras. Los jugos de vegetales y frutas sometidos a diferentes temperaturas y niveles de concentración durante el procesamiento, el almacenamiento y el transporte, las propiedades reológicas pueden cambiar drásticamente (Kobus *et al.*, 2015).

Existen numerosos estudios que muestran resultados relevantes sobre la reología de jugos de diversas materias primas como la evaluación de los parámetros reológicos del mango "Totapuri" (Dak *et al.*, 2006), jugo de piña (Shamsudin *et al.*, 2013), pasta de tomate (Zhu *et al.*, 2019), jugo de uva (Machado *et al.*, 2017), jugo de naranja (Mondal *et al.*, 2016), soya con maíz fermentado (Ojo, 2006), jugos de arándano y frambuesa (Nindo *et al.*, 2005), jugo de tomate (Augusto *et al.*, 2012) y emulsiones de bebidas (Buffo y Reineccius, 2002); sin embargo, faltan estudios sobre el comportamiento reológico del jugo de maracuyá, por lo que, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar las

propiedades reológicas del jugo de maracuyá con adición de fibra dietética.

2. Material y métodos

Materia prima y elaboración del zumo

El maracuyá (*Passiflora edulis*) fue obtenido del distrito de Racarrumi, provincia de Chota de la Región de Cajamarca. La fruta se lavó con agua potable, se sumergió en solución de hipoclorito de sodio 50 ppm por 10 minutos, luego se cortó en dos mitades y se extrajo el jugo con un extractor de jugo centrífugo.

Pruebas reológicas de flujo

Las pruebas reológicas del zumo de maracuyá sin adición de fibra (0%) y con adición de fibra (5, 10, 15%) fueron realizadas usando un reómetro modelo HAAKE MARS 60 (Thermo scientific, Germany). La medición reológica de flujo se realizó utilizando una geometría de placa ranurada (37 mm de diámetro). La dimensión del gap fue de 1,0 mm. La evaluación reológica se realizó con nuevas muestras, sin historia mecánica. Por lo tanto, las muestras al 4% p/p se colocaron en un baño de agua a 85 °C durante 30 minutos y se agitaron a 500 rpm antes de colocarlas en el reómetro. La velocidad de corte se incrementó de 0,1 a 100 s⁻¹, a una velocidad de 0,0001 s⁻¹. La prueba reológica fue analizada a 0, 20, 40, 60 y 80 °C para observar la influencia de la temperatura en las propiedades reológicas del zumo. Se obtuvieron curvas de viscosidad en función de velocidad de cizalla. Las curvas de flujo obtenidas para el zumo de maracuyá con y sin adición de fibra se describieron mediante la ecuación de Newton (Ecuación 1), la Ley de Potencia (Ecuación 2), Herschel – Buckley (Ecuación 3):

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma} \quad (1)$$

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

donde, τ es el esfuerzo cortante (Pa), τ_0 es el esfuerzo cortante inicial (Pa), $\dot{\gamma}$ es la velocidad de corte (s⁻¹), k es el índice de consistencia (Pa.sⁿ) y n es el índice de comportamiento del flujo (sin dimensiones).

Por lo tanto, es posible usar la ecuación de Herschel-Bulkley para evaluar los tres modelos, definiendo la *consistencia* (k) como la resistencia al flujo. Entonces, para el modelo newtoniano k sería la viscosidad, mientras que para los modelos de ley de potencia y Herschel-Bulkley sería el índice de consistencia.

Diseño experimental y análisis estadístico

Cada tratamiento fue estudiado por triplicado, utilizando los valores promedio para ajustar las ecuaciones de los modelos. El modelo de las curvas de flujo fue realizado en Excel (Microsoft, USA), y la obtención de los parámetros de cada modelo fue realizado mediante regresión lineal y no lineal usando la función SOLVER, usando el método de resolución GRG Non-linear.

El nivel de probabilidad significativo se fijó en 95%. Los datos fueron analizados usando el ANOVA ($p < 0,05$). Para evaluar el efecto de la temperatura en las propiedades reológicas del zumo de maracuyá se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0,05$) utilizando el software Statistica 7.0 (Statsoft, USA).

3. Resultados y discusión

Las propiedades reológicas: viscosidad y comportamiento de flujo, del zumo de maracuyá sin (0%) y con adición de fibra dietética (5, 10 y 15%) fueron estudiadas a diferente temperatura (0, 20, 40, 60 y 80 °C). La Figura 1 muestra el comportamiento de la viscosidad del zumo de

maracuyá para cada concentración de fibra a diferente temperatura. La Tabla 1 muestra los parámetros de la ecuación de Herschel-Bulkley, la cual matemáticamente contiene la ecuación de Ley de la potencia y Newton.

3.1 Viscosidad

La viscosidad de los alimentos líquidos aumenta con la concentración (Ibarz *et al.*, 1992). La Figura 1 muestra claramente como la viscosidad aumenta con el incremento de concentración de fibra dietética. Cuando la concentración fue de 0% de fibra, la viscosidad estaba en un rango de 1 – 60 mPa.s (Figura 1A), incrementando hasta alcanzar un rango de 100 – 25x10⁴ mPa.s cuando la concentración fue de 15% de fibra (Figura 1D). En contraste, y como era esperado, el incremento de la temperatura lleva a un decrecimiento en la viscosidad de los zumos de fruta. Resultados similares fueron encontrados para zumos de cereza clarificado (Giner *et al.*, 1996), zumo de naranja con adición de fibra (Siche *et al.*, 2012) y jugo de manzana adicionado con fibra de manzana (Salinas *et al.*, 2019).

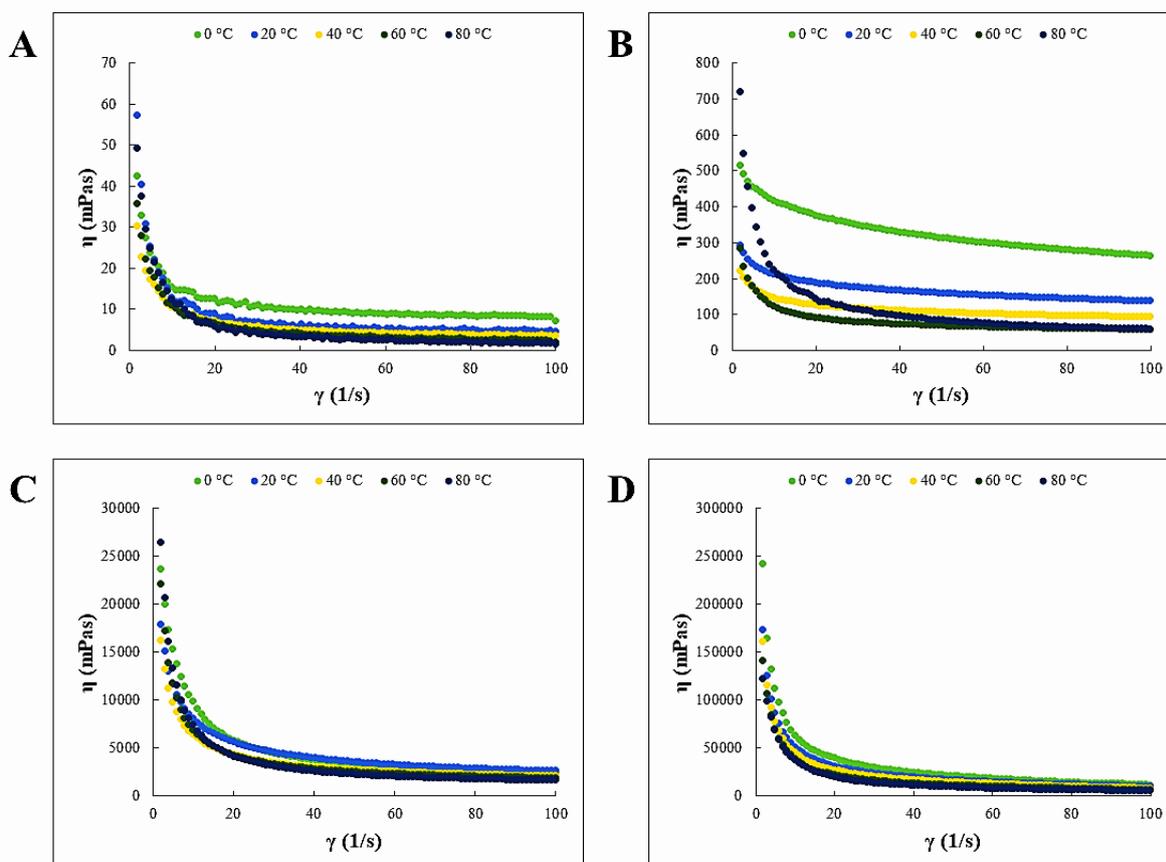


Figura 1. Curvas de viscosidad de zumo de maracuyá sin adición de fibra dietética (0%, A), con 5% de fibra (B), 10% de fibra (C) y 15% de fibra.

En el zumo de maracuyá sin fibra (0%, [Figura 1A](#)) y en el jugo con 5% de fibra ([Figura 1B](#)), existe una mayor influencia de la temperatura en la viscosidad. Sin embargo, ya en concentraciones de fibra del 10% y 15%, se observa que la viscosidad muestra una menor dependencia de la temperatura, lo que es común en zumos con alto contenido de fibra y en pastas ([Krokida et al., 2001](#)).

3.2 Curvas de flujo

Los resultados experimentales de la variación de la tasa de esfuerzo cortante ($\dot{\gamma}$) con la tasa de estrés (τ) han sido ajustada a los modelos Newtoniano, Ley de la Potencia y Herschel-Bulkley, y los resultados se muestran en la [Tabla 1](#). Los fluidos alimentarios generalmente muestran índices de comportamiento de flujo (n) menores de 1, comportándose como fluidos pseudoplásticos ([Salinas et al., 2019](#)). Esto está de acuerdo con los resultados encontrados en esta investigación, excepto para los zumos de maracuyá con adición de 0% y 10% fibra a 80 °C. Para estos casos, ambos fluidos se comportan como fluidos dilatantes. En este caso, la viscosidad aparente de los fluidos incrementó con el esfuerzo cortante. Probablemente, la alta temperatura (80 °C) propició la micro-agregación de compuestos como la pectina ([Rao, 1999](#)) y también la aglomeración de la fibra ([Zykwinska et al., 2005](#)), lo que incrementó la viscosidad aparente.

Los modelos de Ley de Potencias y Herschel-Bulkley fueron los que mejor explicaron el comportamiento de flujo de los zumos de maracuyá con y sin adición de fibra, presentando un mejor ajuste con un $R^2 > 0,7$ ([Tabla 1](#)).

Los zumos de maracuyá puros (0% fibra dietética) presentaron un comportamiento de Ley de potencia, aunque muy cerca de ser fluidos Newtonianos ([Figura 2A](#)). El índice de consistencia k decrece con el incremento de la temperatura. La temperatura favorece la solubilidad de la fibra en el zumo, reduciendo la viscosidad de los fluidos ([Siche et al., 2015](#)). Por otro lado, los valores del índice de comportamiento de flujo n no mostraron una tendencia clara. Este comportamiento se repitió para los zumos con 5% de fibra en las temperaturas de 0, 20 y 40 °C. Sin embargo, para estos zumos, los valores de n incrementan con el incremento de la temperatura, lo que indica una mayor resistencia a fluir. Un comportamiento similar de n fue observado en zumos dispersiones acuosas de carboximetilcelulosa ([Togrul y Arslan, 2003](#)).

Los zumos con 10 y 15% de fibra presentaron un comportamiento Herschel-Bulkley, al igual que los zumos con 5% de fibra analizados a 60 y 80 °C. S_0 es la tensión inicial necesaria para que el fluido comience a fluir ([Ibarz et al., 1994](#)). S_0 incrementó significativamente ($p < 0,05$) con el incremento en la concentración de fibra dietética.

Tabla 1

Valores para los parámetros del modelo Herschel-Bulkley (promedio \pm desviación estándar). El modelo de Herschel-Bulkley incluye matemáticamente la Ley de potencia ($\tau_0 = 0$) y los modelos de Newton ($\tau_0 = 0$ y $n = 1$)

Fibra (g/100 g)	Temperatura (°C)	S_0 (Pa)	k (Pa.s ⁿ)	N	R^2	Modelo
0	0	-	0,009 \pm 0,0002	0,95 \pm 0,5	0,996	Ley de potencia
	20	-	0,008 \pm 0,0002	0,84 \pm 0,1	0,970	Ley de potencia
	40	-	0,004 \pm 0,0002	0,94 \pm 0,0	0,988	Ley de potencia
	60	-	0,002 \pm 0,0002	0,89 \pm 0,09	0,970	Ley de potencia
	80	-	0,000 \pm 0,0002	2,00 \pm 0,12	0,706	Ley de potencia
5	0	-	0,838 \pm 0,12	0,75 \pm 0,04	1,000	Ley de potencia
	20	-	0,353 \pm 0,07	0,80 \pm 0,11	1,000	Ley de potencia
	40	-	0,194 \pm 0,06	0,84 \pm 0,11	1,000	Ley de potencia
	60	0,66 \pm 0,24	0,090 \pm 0,00	0,88 \pm 0,08	1,000	Herschel-Bulkley
	80	1,82 \pm 0,41	0,126 \pm 0,01	0,76 \pm 0,08	0,998	Herschel-Bulkley
10	0	66 \pm 5	6,5 \pm 2,1	0,72 \pm 0,07	0,986	Herschel-Bulkley
	20	31 \pm 9	13,4 \pm 3,4	0,62 \pm 0,00	0,999	Herschel-Bulkley
	40	37 \pm 2	5,8 \pm 1,2	0,73 \pm 0,04	0,998	Herschel-Bulkley
	60	58 \pm 15	2,1 \pm 0,96	0,90 \pm 0,04	0,995	Herschel-Bulkley
	80	72 \pm 14	0,59 \pm 0,12	1,10 \pm 0,00	0,997	Herschel-Bulkley
15	0	106 \pm 11	333 \pm 46	0,27 \pm 0,01	0,987	Herschel-Bulkley
	20	125 \pm 24	216 \pm 23	0,31 \pm 0,00	0,994	Herschel-Bulkley
	40	151 \pm 12	175 \pm 10	0,30 \pm 0,02	0,984	Herschel-Bulkley
	60	292 \pm 35	40 \pm 8	0,51 \pm 0,02	0,953	Herschel-Bulkley
	80	331 \pm 13	14 \pm 5	0,62 \pm 0,01	0,959	Herschel-Bulkley

Por otro lado, los zumos con 15% de fibra mostraron un incremento significativo (Prueba de Tukey, $p < 0,05$) en S_0 (Tabla 1 y Figura 2B), lo que está de acuerdo con el incremento de su viscosidad aparente (Figura 1D). Este comportamiento fue similar para los zumos con 5% de fibra a 60 y 80 °C. Este comportamiento puede estar asociado a las uniones entre las cadenas lineales de la celulosa mediante puentes de hidrógeno, que, además, forman enlaces covalentes cruzados con la pectina (Zykwinska *et al.*, 2005).

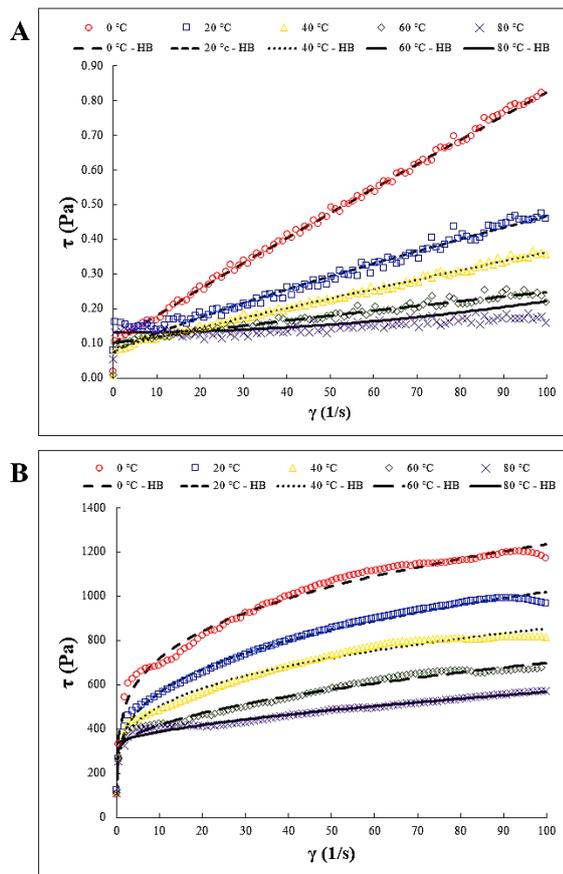


Figura 2. Curvas de flujo de zumo de maracuyá sin adición de fibra dietética (0%, A) y con 15% de fibra (B).

Para los zumos de maracuyá con 5% de fibra, el índice k incrementó ($p < 0,05$), mientras que el valor de n ($p < 0,05$) disminuyó cuando la temperatura pasó de 60 a 80 °C. Esto podría indicar que la temperatura propició la aglomeración de la fibra, aumentando la consistencia y reduciendo la capacidad de fluir del zumo. Por otro lado, para los zumos con 10 y 15% de fibra el índice de consistencia k se reduce significativamente (Prueba de Tukey, $p < 0,05$), mientras que el índice de comportamiento de flujo n incrementa (Prueba de Tukey, $p < 0,05$). La reducción en los

valores de k indica que la viscosidad de los zumos se redujo como función de la temperatura. Mientras que el incremento en los valores de n indica un incremento en la capacidad de flujo de los zumos, con una menor tasa de estrés (Figura 2B) y con un comportamiento pseudoplástico que se aproxima a 1 (excepto para el zumo con 10% de fibra a 80 °C). Resultados similares fueron reportados para zumo de naranja con adición de fibra (Siche *et al.*, 2012), pulpa de açai (Tonon *et al.*, 2009) y jugo de manzana con adición de fibra.

4. Conclusiones

Los resultados muestran que la viscosidad incrementa con la adición de fibra dietética. Sin embargo, la dependencia de la temperatura es menor a altas concentraciones de fibra (10 y 15%). Los modelos Newtoniano, Ley de la potencia y Herschel-Bulkley. Los modelos de Ley de potencia y Herschel-Bulkley presentaron el mejor ajuste a los datos experimentales, como un $R^2 > 0,7$. En términos generales, cuando la concentración de fibra fue de 10 y 15%, el índice de consistencia k disminuye, debido a una reducción de la viscosidad o una mayor solubilización de la fibra. En consecuencia, el índice de comportamiento de flujo n incrementa, lo que indica una mayor capacidad de fluir. Finalmente, trabajos futuros deben investigar nuevos modelos matemáticos que puedan explicar la dependencia combinada de la temperatura y concentración de fibra en el zumo de maracuyá.

ORCID

A. Mechato  <https://orcid.org/0000-0001-7492-188X>

R. Siche  <https://orcid.org/0000-0003-3500-4928>

Referencias bibliográficas

- Augusto, P.; Ibarz, A.; Cristianini, M. 2012. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of tomato juice: Time-dependent and steady-state shear. *Journal of Food Engineering* 111: 570-579.
- Buffo, R.; Reineccius, G. 2002. Modeling the rheology of concentrated beverage emulsions. *Journal of Food Engineering* 51: 267-272.
- Bustamante, R.; Oblitas, J.; Rojas, E. 2016. Influencia de la temperatura y concentración sobre el comportamiento reológico de la pulpa concentrada de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.). *Agroindustrial Science* 6: 37-43.
- Dak, M.; Verma, R.; Sharma, G. 2006. Flow characteristics of juice of "Totapuri" mangoes. *Journal of Food Engineering* 76: 557-561.
- Dimitreli, G.; Petridis, D.; Kapageridis, N.; Mixiou, M. 2019. Effect of pomegranate juice and fir honey addition on the rheological and sensory properties of kefir-type products differing in their fat content. *Food Science and Technology* 111: 799-808.
- Giner, J.; Ibarz, A.; Garza, S.; Xhian-Quan, S. 1996. Rheology of clarified cherry juices. *Journal of Food Engineering* 30: 147-154.

- Ibarz, A.; Gonzalez, C.; Esplugas, S. 1994. Rheology of clarified fruit juices. III: Orange juices. *Journal of Food Engineering* 21: 485-494.
- Ibarz, A.; Pagán, J.; Miguelsanz, R. 1992. Rheology of clarified fruit juices. II: Blackcurrant juices. *Journal of Food Engineering* 15: 63-73.
- Kobus, Z.; Nadulski, R.; Guz, T.; Mazur, J.; Panasiewicz, M.; Zawislak, K. 2015. Effect of pasteurization on rheological properties of white carrot juice. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 7: 99-102.
- Krokida, M. K.; Maroulis, Z. B.; Saravacos, G. D. 2001. Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: Compilation of literature data. *International Journal of Food Properties* 4: 179-200.
- Machado, M.; Leonardo, L.; Reis, G.; Telis-Romero, J. 2018. Experimental study of physical and rheological properties of grape juice using different temperatures and concentrations. Part II: Merlot. *Food Research International* 105: 905-912.
- Manayay, D.; Castillo, W.; Quezada, S.; Palacios, L.; López, S. 2013. Caracterización del comportamiento al flujo de pulpa simple y concentrada de manzana (*Phyrus malus* L.) variedad San Antonio. *Agroindustrial Science* 3: 47-51.
- Mondal, S.; Cassano, A.; Conidi, C.; De, S. 2016. Modeling of gel layer transport during ultrafiltration of fruit juice with non-Newtonian fluid rheology. *Food and Bioproducts Processing* 100: 72-84.
- Nindo, C.I.; Tang, J.; Powers, J.R.; Singh, P. 2005. Viscosity of blueberry and raspberry juices for processing applications. *Journal of Food Engineering* 69(3): 343-350.
- Ojo, A.; Akanbi, C. 2006. Rheology of Soy-Ogi: effect of concentration and temperature. *Journal of Food Engineering* 72: 141-146.
- Rao, M.A. 1999. 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). 25–58. Gaithersburg: Aspen Publishers.
- Salinas, D. E.; Garvin, A.; Ibarz, R.; Ibarz, A. 2019. Effect of apple fibre addition and temperature on the rheological properties of apple juice and compensation study. *LWT* 116: 108456.
- Shamsudin, R.; Su, C.; Mohd, N.; Wan, W. 2013. Rheological properties of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurized Yankee pineapple juice. *J. of Food Engineering* 116: 548-553.
- Siche, R.; Falguera, V.; Ibarz, A. 2012. Influencia de la temperatura y adición de fibra en el comportamiento al flujo del zumo de naranja. *Scientia Agropecuaria* 3: 303-308.
- Siche, R.; Falguera, V.; Ibarz, A. 2015. Use of Response Surface Methodology to Describe the Combined Effect of Temperature and Fiber on the Rheological Properties of Orange Juice. *Journal of Texture Studies* 46: 67-73.
- 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.; Alexandre, D.; Hubinger, M. D.; Cunha, R. L. 2009. Steady and dynamic shear rheological properties of açai pulp (*Euterpe oleraceae* Mart.). *J. of Food Engineering* 92: 425-431.
- Wijeratnam, S. 2016. Passion Fruit. *Encyclopedia of Food and Health*. 230-234.
- Zykwinska, A.W.; Ralet, M.C.J.; Gamier, C.D.; Thibault, J.F.J. 2005. Evidence for in vitro binding of pectin side chains to cellulose. *Plant Physiology* 139: 397-407.
- Zhou, L.; Guan, Y.; Liu, X.; Yi, J.; Chen, Q.; Wu, X. 2017. Change of the rheological properties of mango juice by high pressure homogenization. *Food Science and Technology* 82: 121-130.
- Zhu, S.; Stieger, M.; Van der Goot, A.; Schutyser, M. 2019. Extrusion-based 3D printing of food pastes: Correlating rheological properties with printing behaviour. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 58: 102214.

