
Caracterización reológica del suero de tofu a temperaturas próximas a la congelación

Argilés¹, B., Hernández¹, E., Benedetti², S., Petrus, J.C.C.², Raventós, M.^{1*}

¹Agri-Food Engineering and Biotechnology Department, Technical University of Catalonia (UPC), C/Esteve Terradas 8, 08860 Castelldefels, Barcelona, Spain

²Departament of Chemistry and Food Engineering, Technology Center, Federal University of Santa Catarina, Trindade, 88040-970, Florianópolis, SC, Brazil.

Rheological characterization of tofu whey at temperatures close to freezing

Caracterització reològica del sèrum de tofu a temperatures properes a la congelació

Recibido: 15 de mayo de 2013; revisado: 16 de octubre de 2013; aceptado: 16 de octubre de 2013

RESUMEN

El suero de tofu es un subproducto obtenido en la producción industrial a partir de la leche de soja. Este suero tiene componentes beneficiosos para la salud, como su contenido en isoflavonas. Caracterizar reológicamente el suero de tofu a bajas temperaturas tiene interés con el fin de facilitar la recuperación de este efluente y sus compuestos activos sin que se deterioren. Además puede suponer una importante reducción del impacto ambiental debido a la elevada carga orgánica.

En el presente trabajo se ha determinado un comportamiento reológico newtoniano en las muestras de suero fresco a 1,9 °Brix inicial, crioconcentrado hasta 18,5° Brix y posteriormente evaporado hasta 60,2°Brix. El rango de temperaturas ensayadas es próximo a la congelación (de -4°C a 4°C) debido al interés de ser procesadas bajo las condiciones que puedan preservar los compuestos activos.

Palabras clave: tofu, suero crioconcentrado, fluido newtoniano, viscosidad, isoflavonas.

SUMMARY

Tofu whey is a byproduct from industrial production of soy milk. Beneficial health effects are demonstrated by its components, as its isoflavone content. Rheological characterization of tofu whey at low temperatures has interest to facilitate the recovery of the effluent and its active compounds without deterioration. The revaluation of this effluent may make a significant reduction in environmental impact due to the high organic content.

In the present study we have established Newtonian rheological behavior of fresh whey samples from 1.9 ° Brix to 18.5 ° Brix freeze concentrated samples and then to 60.2 ° Brix by evaporating. The temperature range is tested next to the freezing (-4°C a 4°C) because of interest to be processed under conditions which can preserve the active compounds.

Keyword: tofu, freeze concentrated whey, newtonian fluid, viscosity, isoflavones.

RESUM

El sèrum de tofu és un subproducte obtingut en la producció industrial a partir de la llet de soja. Aquest sèrum té components beneficiosos per a la salut, com el seu contingut en isoflavones. Caracteritzar reològicament el sèrum de tofu a baixes temperatures té interès per tal de facilitar la recuperació d'aquest efluente i els seus compostos actius sense que es deteriorin. A més la seva revalorització pot suposar una important reducció de l'impacte ambiental a causa de l'elevada càrrega orgànica.

En aquest treball s'ha determinat el comportament reològic newtonià a les mostres de sèrum fresc a 1,9 ° Brix inicial, crioconcentrat fins 18,5 ° Brix i posteriorment evaporat fins 60,2 ° Brix. El rang de temperatures assajades és pròxim a la congelació (de -4°C a 4°C) a causa del interès de ser processades sota les condicions que puguin preservar els compostos actius.

Paraules clau: tofu, sèrum crioconcentrat, fluid newtonià, viscositat, isoflavones.

*autor para la correspondencia: merce.raventos@upc.edu

1. INTRODUCCIÓN

El tofu es un alimento obtenido a través de la coagulación de la leche soja y su producción genera importantes volúmenes de suero (Chang, 2005). Es originario de Asia, aunque actualmente su producción se ha extendido por numerosos países, aumentando significativamente el número de consumidores. Este residuo contiene isoflavonas, compuestos funcionales termosensibles de gran interés para la salud. De acuerdo con Espinosa-Martos et al. (2006), la composición y las propiedades de las isoflavonas presentes en el suero de tofu lo convierten en un residuo reutilizable con aplicaciones potenciales en la industria farmacéutica y alimentaria. Sin embargo, el suero obtenido en la producción industrial del tofu tradicionalmente se ha considerado residuo (Sudyani et al., 2007).

Conocer las propiedades reológicas del suero a concentraciones y temperaturas que permitan un correcto almacenamiento y revalorización del mismo tiene interés. La determinación de las viscosidades permite optimizar el procesamiento del suero de tofu ya que puede mejorar el diseño de operaciones de procesado. El interés de conocer el comportamiento a temperaturas próximas a la congelación se debe a que diversos componentes funcionales, como las isoflavonas, se degradan con el calor (Benedetti et al. 2011). Ensayos con zumos a temperaturas próximas a la congelación han sido realizados anteriormente por Ruiz et al. (2010) y Falguera et al. (2010).

La concentración por congelación puede ser una opción para la revalorización de este residuo, ya que permite disminuir los costes de transporte al reducir considerablemente el volumen a tratar, aumentar su conservación y recuperar compuestos activos como las isoflavonas (Belén et al. 2012, Belén et al. 2013).

El objetivo de este trabajo es determinar el comportamiento reológico de muestras de suero de tofu fresco a 1,9°Brix, crioconcentrado hasta 18,5°Brix y evaporado hasta 60,2 °Brix a temperaturas próximas a la congelación. Para ello se determinarán también las curvas de congelación que tiene un triple objetivo: 1) determinar los puntos de congelación ya que actualmente no se dispone de estos datos en la literatura, 2) determinar los puntos límite donde los viscosímetros puedan trabajar sin sufrir ningún daño ocasionado por la formación de cristales de hielo en el mecanismo rotatorio 3) determinar un rango válido de temperaturas de trabajo para las distintas muestras de suero de tofu para que puedan ser equiparables y analizables entre ellas.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Obtención de las muestras de suero de tofu

Un total de 840 kg de suero de tofu fresco fueron suministrados por la empresa Natursoy SL. (Castellterçol, Barcelona, Spain). La materia prima para la producción del tofu es soja ecológica procedente de Brasil. A continuación, fue sometido a crioconcentración con el equipo semiindustrial disponible en la planta piloto de industrias alimentarias.

El proceso de crioconcentración del suero consistió en hacer circular el efluente sobre una superficie refrigerada a una temperatura inferior al punto de congelación de modo que se va cristalizando parte del agua contenida en él. El efluente se va recirculando por el sistema, de modo que

se va eliminando agua en forma de hielo al mismo tiempo que se va concentrando el efluente.

Las muestras iniciales de suero de tofu tenían concentraciones muy bajas (1,9°Brix). Se concentran por congelación desde 1,9°Brix hasta concentraciones de 18,5°Brix (Belén et al. 2012).

Finalmente, con el objetivo de ampliar el rango de estudio de viscosidades del efluente de tofu, se concentraron mediante evaporación hasta 60,2°Brix muestras que previamente habían sido crioconcentradas hasta los 18,5°Brix. Se utilizó la evaporación a partir de 18,5°Brix debido a la imposibilidad de crioconcentrar más las muestras.

La evaporación se realizó con inducción de calor con placas calefactoras (J.P. Selecta). El fluido obtenido, de un aspecto parecido a una melaza, alcanza la concentración de 60,2°Brix.

La evaporación se llevó a cabo a temperaturas próximas a 80 °C por lo que existió una degradación de los componentes termosensibles. Se desea verificar si las muestras siguen la misma tendencia en cuanto a las propiedades reológicas respecto a la de las muestras solamente crioconcentradas.

2.2 Determinación de los puntos de congelación

La determinación de los puntos de congelación se realiza por cuadruplicado. Las muestras son introducidas en tubos de ensayo y éstos en el baño termostático. Las sondas, previamente calibradas con agua destilada, fueron conectadas a un datalogger que registra y descarga los datos en un ordenador mediante el programa Testo Comfort Basic.

La determinación de los puntos de congelación corresponde a la media de las cuatro repeticiones.

2.3 Determinación de las propiedades reológicas

Para los ensayos se han utilizado dos tipos de viscosímetros. Las muestras de suero de tofu fresco de 1,9 °Brix y crioconcentrado de 2,8°Brix, 5,5°Brix, 9,8°Brix, 15,5°Brix y 18,5°Brix se ha analizado con el viscosímetro Fungilab Visco Star +L, con un adaptador para bajas viscosidades que permite minimizar el error. Por otra parte, las muestras que se han crioconcentrado y evaporado (20°Brix, 30,1°Brix, 40°Brix, 50,1°Brix y 60,2°Brix) se han analizado con el viscosímetro Thermo Scientific HAAKE Viscotester 550, que además de determinar las viscosidades de las muestras más concentradas permite determinar la tixotropía. Ambos viscosímetros son de cilindros coaxiales y permiten la descarga de los datos para su análisis.

2.3.1 Viscosímetro Visco Star Plus L

Con el viscosímetro Visco Star Plus L (Fungilab Visco Star, Barcelona) se caracterizaron las muestras de suero de tofu fresco y también del crioconcentrado ya que estas muestras tienen viscosidades bajas que son analizadas con menor error gracias al adaptador de bajas viscosidades (LCP). Éste permite variar la velocidad de rotación de 0,3 a 200 rpm y se obtienen los datos reológicos mediante un Datalogger.

El baño termostático Polyscience permite analizar las muestras a la temperatura predeterminada.

2.3.2 Viscosímetro HAAKE

El viscosímetro HAAKE (Thermo Scientific HAAKE Viscotester 550, Karlsruhe, Germany) mide de forma precisa la viscosidad (+/- 1% error), con un rango de velocidad de rotación de 0,5 a 800 rpm. Las características de los sen-

sores son: radio de la copa 21 mm, radio del rotor 20.04, con lo cual el gap es de 0.96 mm.

Dado que este viscosímetro no dispone de adaptador para bajas viscosidades, pero en cambio permite determinar el comportamiento tixotrópico, se ha optado por analizar las muestras de suero de tofu crioconcentrado y evaporado, ya que tienen mayor viscosidad que las otras.

El programa utilizado para cargar los datos analizados en el ordenador es RheoWin.

Este viscosímetro dispone de una camisa refrigerante que envuelve el cilindro estacionario. El refrigerante utilizado es también una mezcla de etilenglicol y agua (50%-50%).

2.3.3 Refractómetro

El refractómetro utilizado es digital (ATAGO PAL-3, Japón) con resolución de 0,1%. Permite medir la concentración de los fluidos en un rango de 0 °Brix a 93 °Brix con una precisión de $\pm 0,1$ °Brix.

2.3.4 Baño termostático

El baño Polyscience (modelo 9505, Estados Unidos), permite mantener las muestras que son analizadas con el viscosímetro Visco Star Plus a la temperatura deseada, con una estabilidad de temperatura de $\pm 0.05^\circ\text{C}$ y una exactitud de la temperatura seleccionada de $\pm 0.5^\circ\text{C}$.

El fluido refrigerante utilizado es una mezcla agua y etilenglicol (50-50%).

2.4 Sondas de temperatura y termómetro

Las sondas de temperatura son termopares de tipo *k*. El rango de medida va de -200 a 1000°C .

El termómetro es digital modelo Testo 177-T4 (testo AG, Alemania) que está conectado a un ordenador donde se van cargando las medidas con el programa "Testo Comfort Software Basic".

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Determinación de los puntos de congelación de suero de tofu

Se han obtenido los puntos de congelación para las distintas muestras de suero de tofu fresco, crioconcentrado y evaporado que posteriormente se caracterizaron reológicamente.

La progresiva disminución de la temperatura del baño termostático permitió llegar al punto de subenfriamiento, momento en que aumenta rápidamente la temperatura hasta alcanzar el punto de congelación. A partir de este máximo local la temperatura disminuye paulatinamente debido a la transmisión de calor del baño termostático que se encuentra a una temperatura significativamente menor.

Como era de esperar el punto de congelación disminuye con el aumento del contenido en sólidos, a medida que se va concentrando el producto. El tipo de soluto disuelto también influye en el punto de congelación, de manera que a igualdad de concentración los solutos de bajo peso molecular tienen un punto de congelación más bajo que las moléculas orgánicas (Hernández et al. 2009). De acuerdo con Sobral y Wagner (2009) el suero de tofu contiene hidratos de carbono principalmente sacarosa. La fracción proteica está constituida mayoritariamente por lectina. Otros componentes importantes son las isoflavonas y las sales. En el intervalo de concentración ensayado los puntos de congelación obtenidos para el suero crioconcentrado y evaporado (Figura 1) son más bajos que los puntos de congelación de soluciones de sacarosa

(Lide, 1995). Esto confirmaría la presencia de solutos de bajo peso molecular principalmente sales procedentes del agente coagulante (Prabhakaran et al. 2006).

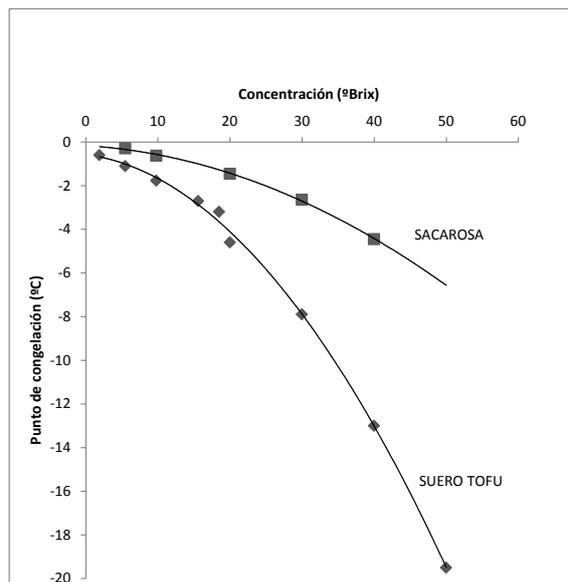


Figura 1. Puntos de congelación del suero de tofu y la sacarosa según Lide 1995

3.2. Viscosidades del suero de tofu en el intervalo de -4 a 4°C .

Las viscosidades de las muestras de suero de tofu fresco y crioconcentrado se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Viscosidades (mPa·s) de suero de tofu fresco y crioconcentrado

		Concentración (°Brix)				
		1.9	5.5	9.8	15.6	18.5
Temperatura (°C)	4	1.68	1.97	2.67	3.58	4.49
	2	1.83	2.09	2.85	3.85	4.77
	1	1.87	2.16	2.92	3.94	4.91
	0	1.91	2.24	2.98	4.10	5.12
	-1	1.98	2.29	3.06	4.30	5.34
	-2	2.06	2.38	3.10	4.54	5.53
	-4	2.20	2.55	3.27	4.77	5.91

Los resultados obtenidos para el suero de tofu se comparan con las viscosidades de lactosuero medidas por Sánchez et al. (2011). Las viscosidades, en ambos casos, aumentan al disminuir la temperatura con valores del mismo rango. Además, las viscosidades del suero de tofu a 0°C en el rango de concentraciones medido duplican la viscosidad medida por Telis et al. 2007 en soluciones de sacarosa a la misma temperatura y concentración. Esto se explicaría por la presencia, en suero de tofu, de otros componentes además del azúcar principal (sacarosa). De forma análoga el análisis de viscosidades de las muestras crioconcentradas que a continuación se han evaporado se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Viscosidades (mPa·s) de las muestras de suero de tofu crioconcentradas y evaporadas

	Temperatura (°C)	Concentración (°Brix)			
		30.1	40	50.1	60.2
	4	16.1	26.6	87.9	322.1
	2	16.0	29.3	95.9	365.3
	1	16.2	30.0	100.5	393.0
	0	16.6	31.6	108.7	405.1
	-1	16.5	33.0	110.0	432.6
	-2	17.7	34.5	120.0	490.4
	-4	18.5	37.2	132.5	550.6

Se observa, como era de esperar, un claro incremento del valor de la viscosidad a medida que aumenta la concentración y también a medida que disminuye la temperatura.

3.3 Efecto de la concentración sobre la viscosidad

Se observa que a medida que aumenta la concentración de sólidos solubles, la viscosidad también aumenta. Para las muestras de concentraciones menores a 15,5° Brix, existe un ligero aumento de viscosidad. En las muestras más concentradas de 15,5° Brix la tendencia de tipo exponencial es más acusada.

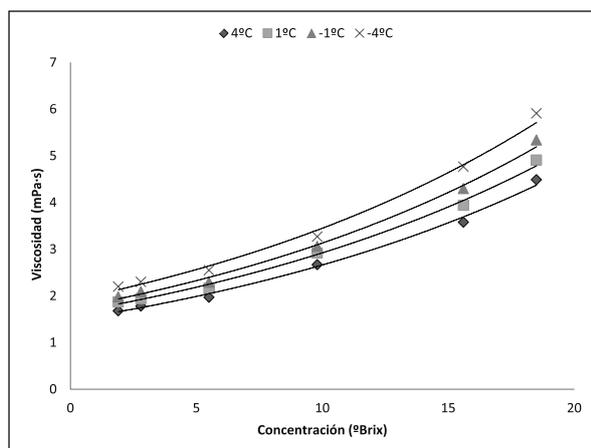


Figura 2. Efecto de la concentración sobre la viscosidad del suero de tofu no evaporado a bajas temperaturas

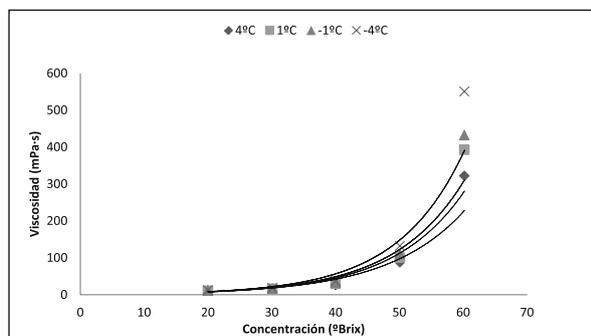


Figura 3. Efecto de la concentración sobre la viscosidad del suero de tofu evaporado a bajas temperaturas

Los resultados obtenidos confirman que un aumento de la concentración de la muestra implica un aumento de las viscosidades. En este caso se observa el comportamiento las figuras 2 y 3.

3.4 Efecto de la temperatura sobre la viscosidad del suero de tofu

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).

El modelo de Arrhenius da una buena descripción del efecto de la temperatura sobre la viscosidad dinámica 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 las figuras 5) se incrementa con la concentración de suero de tofu evaporado. Este comportamiento no mantiene la misma tendencia en las muestras crioconcentradas (figura 4). Es importante recordar que la energía de activación del agua es de $14.4 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ y este valor puede incrementarse hasta $60 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ con la concentración (Saravacos, 2011)

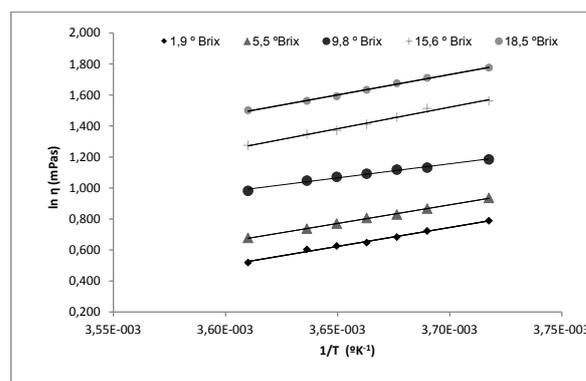


Figura 4. Logaritmo de la viscosidad del suero de tofu crioconcentrado frente a la inversa de la temperatura absoluta.

Tabla 3. Parámetros de la ecuación de Arrhenius para el suero crioconcentrado

Concentración (°Brix)	k_0 (mPa·s)	E_a (KJ·mol ⁻¹)	R ²
1.9	2.58E-04	20.25	0.992
5.5	3.44E-04	19.93	0.998
9.8	3.80E-03	15.13	0.988
15.6	1.58E-04	23.10	0.989
18.5	3.43E-04	21.83	0.997

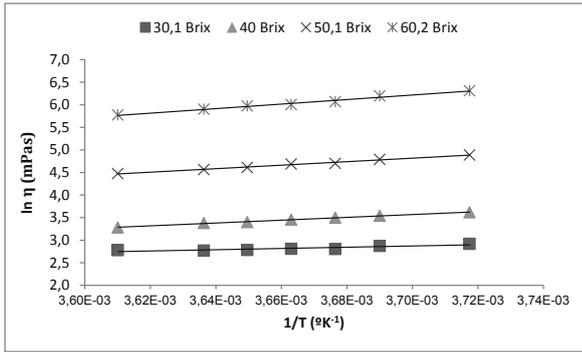


Figura 5. Logaritmo de la viscosidad del suero de tofu criocentrado y evaporado frente a la inversa de la temperatura absoluta.

Tabla 4. Parámetros de la ecuación de Arrhenius para el suero criocentrado y evaporado.

Concentración (°Brix)	K_0 (mPa·s)	E_a (KJ·mol ⁻¹)	R ²
30.1	1.06E-01	11.50	0.804
40	3.33E-04	26.02	0.988
50.1	7.48E-05	32.18	0.989
60.2	4.26E-06	41.78	0.986

3.5 Análisis del comportamiento tixotrópico

El comportamiento tixotrópico informa de la degradación estructural del fluido cuando es sometido al esfuerzo cortante. El análisis de la variación de la velocidad de giro del cilindro coaxial con la viscosidad permite verificar la ausencia de tixotropía dado de los valores de viscosidad medidos se mantienen en sentido creciente y decreciente de las velocidades de rotación medidas. Las velocidades de rotación del cilindro utilizadas en suero de tofu fresco y criocentrado son: 50, 60, 100 y 200 rpm. Las velocidades de rotación del cilindro en suero evaporado fueron de 100, 200, 300 y 400 rpm.

El intervalo utilizado de la escala de medida va del 15% al 85% con el fin de garantizar valores plenamente válidos. Se observa que la viscosidad se mantiene constante con la velocidad de giro del cilindro lo cual confirma el comportamiento reológico newtoniano.

Cada muestra a analizar, se ha medido en el rango de velocidades de giro del cilindro coaxial que permite la determinación en el intervalo válido de la escala.

Asimismo, de los resultados obtenidos, se puede afirmar que para una misma temperatura, el suero de tofu no muestra una variación significativa de la viscosidad respecto a la velocidad de rotación del cilindro coaxial.

Estos resultados son coherentes con los comportamientos obtenidos en suero de leche (Sánchez et al. 2011).

La determinación del comportamiento tixotrópico de las muestras criocentradas y evaporadas muestra también que el fenómeno es imperceptible. Esta determinación se ha obtenido registrando el esfuerzo cortante (τ) y la velocidad de cizalla (D). La representación de esta relación queda reflejada en el tixograma (Figura 6).

Para determinar el comportamiento tixotrópico de las muestras evaporadas de suero de tofu, se han escogido los valores máximos de concentración, que es donde se puede manifestar, en mayor medida, este comportamiento en caso de que exista. Para menores concentraciones el bucle de histéresis que sería un indicativo de cierta degradación estructural del fluido sería menos acusado. Respecto a las temperaturas seleccionadas, se han escogido de -4 y 4°C debido a que representa las condiciones de proceso de suero criocentrado (Belén, et al. 2012, Belén et al. 2013).

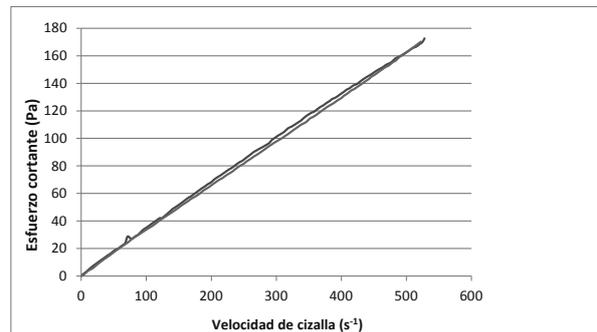


Figura 6 Tixograma de suero de tofu a 60°Brix a 4°C

En la figura 6 se muestran las rampas ascendente y descendente del esfuerzo cortante frente a la velocidad de cizalla correspondiente a la muestra de 60,2 °Brix a 4°C.

Tabla 5 Viscosidades de suero de tofu criocentrado (mPa·s) en función de la temperatura (°C) y la velocidad de rotación del cilindro (rpm)

	4°C	2°C	1°C	0°C	-1°C	-2°C	-4°C
50 RPM	4,495	4,803	4,920	5,232	5,340	5,528	5,924
60 RPM	4,477	4,734	4,896	5,197	5,338	5,530	5,893
100 RPM	4,361	4,635	4,759	5,047	5,224	5,379	5,792

Tabla 6 Viscosidades de suero de tofu criocentrado y evaporado (mPa·s) en función de la temperatura (°C) y la velocidad de rotación del cilindro (rpm)

	4°C	2°C	1°C	0°C	-1°C	-2°C	-4°C
50 RPM	1,780	1,874	1,952	2,025	2,097	2,152	2,313
60 RPM	1,767	1,854	1,944	2,017	2,083	2,267	2,267
100 RPM	1,802	1,909	1,935	2,008	2,084	2,175	2,321

La rampa ascendente consiste en suministrar una velocidad de cizalla de 0 a 528 s⁻¹; la rampa descendente empieza a girar con una velocidad de 528 s⁻¹ y va disminuyendo la velocidad hasta que el rotor se para. Como se puede observar la rampa ascendente y descendente son prácticamente coincidentes, es decir, no muestran histéresis. Esto confirma que en las muestras de suero de tofu crioconcentrado y evaporado también se encuentra un comportamiento newtoniano y no presenta degradación estructural del fluido apreciable al ser sometido a un esfuerzo cortante.

4. CONCLUSIONES

El comportamiento reológico del suero de tofu fresco, crioconcentrado hasta 18,5 °Brix y evaporado hasta 60,2 °Brix, es newtoniano a temperaturas comprendidas entre -4°C y 4°C. El fenómeno de la tixotropía es despreciable en todo el rango de temperaturas ensayado (de -4°C a 4°C).

El punto de congelación del suero de tofu varía entre -0,4°C en suero de 1,9°Brix hasta -3,2°C en el suero crioconcentrado a 18,5°Brix y -19,5°C a 50,1°Brix en suero evaporado.

La viscosidad se incrementa en gran medida por efecto de la concentración y también por efecto de la disminución de la temperatura. Se han alcanzado 550.6 mPa·s para la menor temperatura medida (-4°C) y la mayor concentración (60.2°Brix).

5. BIBLIOGRAFÍA

1. Belén, F., Sánchez, J., Hernández, H., Auleda, J.M., Raventós, M. 2012. One option for the management of wastewater from tofu production: Freeze concentration in a falling-film system. *Journal of Food Engineering* 110, 364–373.
2. Belén, F., Benedetti, S., Sánchez, J., Hernández, E., Auleda, J.M., Prudêncio, E.S.; Petrus J.C.C., Raventós, M. 2013. Behavior of functional compounds during freeze concentration of tofu whey *Journal of Food Engineering*. 116, 681–688.
3. Benedetti, S., Prudêncio, E.S.; Mandarino, J.M.G., Rezzadori, K. & Petrus, J.C.C. 2011. Concentration of soybean isoflavones by nanofiltration and the effects of thermal treatments on the concentrate. *Food Research International*. DOI 10.1016/j.foodres.2011.04.03.
4. Chang, K.C. 2005. Chemistry and technology of tofu making. *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering*. Vol. 4, Cap. 171.
5. Espinosa-Martos, I., Préstamo, G., Rupérez, P. 2006. Composición y propiedades del suero de soja, un subproducto de la elaboración del tofu. *Alimentaria*, 371, p.72-73.
6. Falguera, V., Fernando Velez-Ruiz, J., Alins, V., Ibarz, A. 2010. Rheological behaviour of concentrated mandarin juice at low temperatures. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 2194–2200.
7. Hernandez, E., Raventós, M., Auleda, J.M., Ibarz, A. 2009 Concentration of Apple and Pear juices in a Multi-plate Freeze Concentrator. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Vol.10, 348-355.
8. Lide, D.R. 1995 *Handbook of chemistry and physics*. 7a edición. CRC Press.
9. Prabhakaran, M.P., Perera, C.O., Valiyaveetil, S., 2006. Effect of different coagulants on the isoflavone levels and physical properties of prepared firm tofu. *Food Chemistry* 99, 3, 492-499.
10. Viscosidad de zumos comerciales de melocotón, manzana y pera a temperaturas cercanas a la congelación. *Afinidad LXVI*, 546, Març- Abril) 114-118.
11. Sánchez, J., Hernández, E., Auleda, J.M., Raventós. 2011. M. Freeze concentration of whey in a falling-film based pilot plant: Process and characterization. *Journal of Food Engineering* 103. 147–155.
12. Saravacos G. and Maroulis, Z. 2011. *Food Process Engineering Operations*, CRC Press, Boca Raton. p. 94.
13. Sobral Pablo, A., y Wagner Jorge, R., 2009. Relación entre la Composición y la Actividad Antitriptica de Sueros de Soja y Tofu y Comportamiento Térmico de sus Proteínas Aisladas. *Información Tecnológica* 20 (5), 65–73. doi:10.1612/inf.tecnol.4115it.08.
14. Sudyani Y., Alawiyaf S., Anita, Y., Adilina I.B. 2007. Characterization of waste water from whey tofu. *International Conference on Chemical Sciences*.
15. Telis, V.R.N., Telis Romero, J., Mazzotti, H.B. and Gabas, A.L. 2007. Viscosity of aqueous carbohydrate solutions at different temperatures and concentrations. *International Journal of food properties*, 10:185-195.
16. 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.