

Concentración de zumo de naranja en un crioconcentrador de placas

Concentration of orange juice in a multi-plate cryoconcentrator

Sánchez, J.¹; Ruiz, Y.²; Hernández, E.¹; Auleda, J.M.^{a1}; Raventós, M.¹

¹Dept. Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
Avda. del Canal Olímpic s/n 08860 Castelldefels (Barcelona)
e-mail: merce.raventos@upc.edu

²Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería.
Universidad Nacional de Colombia.
Ciudad Universitaria Cra. 30 N° 45 – 26. Bogotá (Colombia)

RESUMEN

La crioconcentración de fluidos alimentarios es una tecnología que minimiza las pérdidas de volátiles y de compuestos termosensibles. Se otorga al producto final una calidad que no se logra con los procesos convencionales de concentración empleados en la industria alimentaria como la evaporación y la tecnología de membranas. En la planta piloto de industrias alimentarias de la Universidad Politécnica de Cataluña se ha diseñado un equipo que permite crioconcentrar fluidos alimentarios por contacto con una superficie fría. El objetivo de este trabajo consiste en estudiar el proceso de crioconcentración de zumo de naranja, analizando la variación en el tiempo del contenido en sólidos solubles medidos como °Brix en el zumo y en el hielo producido durante el proceso. Se compararon los resultados obtenidos con ensayos previos de soluciones azucaradas. La concentración final alcanzada para el zumo de naranja fue de 28,8°Brix con un caudal de circulación de 1±0,2 l/s y una velocidad media de concentración de 0.71 °Brix/hora. El incremento de la concentración de solutos en el zumo de naranja sigue una tendencia lineal mientras que el aumento de la concentración de solutos en el hielo formado es exponencial.

Palabras clave:

Crioconcentración, crioconcentrador de placas; zumo de naranja.

ABSTRACT

Cryoconcentration of liquid foods is a technology that minimizes the loss of volatile and heat sensitive compounds. It gives a final product quality that is not achieved with conventional processes of concentration used in the food industry such as evaporation and membrane technology. In the pilot plant of food industries of the Polytechnic University of Catalonia has been designed an experimental equipment that allows to concentrate liquid foods in contact with a cold

surface. The aim of this work is to study the process of cryoconcentration of orange juice analyzing the variation in time of the measured soluble solids content as °Brix in the juice and the ice produced during the process. The results are compared with previous trials of sugar solutions. The final concentration reached for the orange juice was 28.8 °Brix with a flow rate of 1 ± 0.2 l/s and average speed of 0.71 °Brix/hour. The increased concentration of solutes in the orange juice is still a linear trend while increasing in concentration of solutes in the ice formed is exponential.

Keywords:

Cryoconcentration; multi-plate cryoconcentrator; orange juice.

1. INTRODUCCIÓN

La crioconcentración se basa en la separación de sólidos solubles de una fase líquida mediante la congelación del agua que esta contiene. Se presenta como alternativa a la evaporación y a la tecnología de membranas, aplicándose en la concentración de líquidos alimentarios tales como zumos de frutas (Ramos *et al.*, 2005)(Chiampo *et al.*, 2002)(Maltini *et al.*,1999)(Thijssen,1986) zumo de tomate (Miyawaki *et al.*, 2005)(Liu *et al.*,1999) zumo de caña de azúcar (Rane y Jabade, 2005) (Patil, 1993), cerveza (Patino *et al.*, 1991)(Davies *et al.*, 1987) y productos lácteos (Habib y Farid, 2007)(Zhang y Hartel, 1995) (Hartel y Espinel, 1993). Debido a las bajas temperaturas del proceso se evitan los problemas de pérdidas de volátiles que suceden durante la evaporación y los problemas de frecuentes reposiciones de la tecnología de membranas. Existen dos métodos básicos de cristalización de hielo en soluciones (Miyawaki, 2001) (Shirai *et al.*,2001) (Flesland, 1995a) (Chen *et al.*, 1998) (Müller and Sekoulov,1992), el primero denominado cristalización en suspensión (Hartel y Chung, 1993) (Huige and Thijssen, 1972) y el otro consiste en la cristalización en capa sobre una

superficie fría (Raventós et al., 2007)(Flesland, 1995a) A escala industrial o comercial, en la concentración de fluidos alimentarios y por tanto también de zumos, el sistema empleado se basa en la cristalización en suspensión pero se trata de una tecnología cara, sólo aplicable a producciones elevadas y productos de alto valor añadido.

En la Universidad Politécnica de Cataluña se ha diseñado un crioconcentrador de placas basado en el principio de la cristalización en capa sobre una superficie fría, en el que se han ensayado tres soluciones de azúcares simples (sacarosa, glucosa y fructosa) habiéndose alcanzado concentraciones de hasta 31°Brix. Estos resultados muestran que este crioconcentrador puede ser de interés como sistema de pre-concentración en la industria alimentaria (Raventós et al., 2007), sin embargo para el caso de zumos cítricos ampliamente utilizados en la industria de alimentos no se dispone de datos que muestren cómo se comporta este fluido cuando es sometido a crioconcentración en este equipo.

El objetivo de este trabajo consiste en estudiar el proceso de crioconcentración de zumo de naranja utilizando este dispositivo de placas, analizando la variación en el tiempo del contenido en sólidos solubles medidos como °Brix en el zumo y en el hielo producido durante el proceso (impureza relativa del hielo) comparando los resultados obtenidos con ensayos previos de soluciones azucaradas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Preparación de la muestra

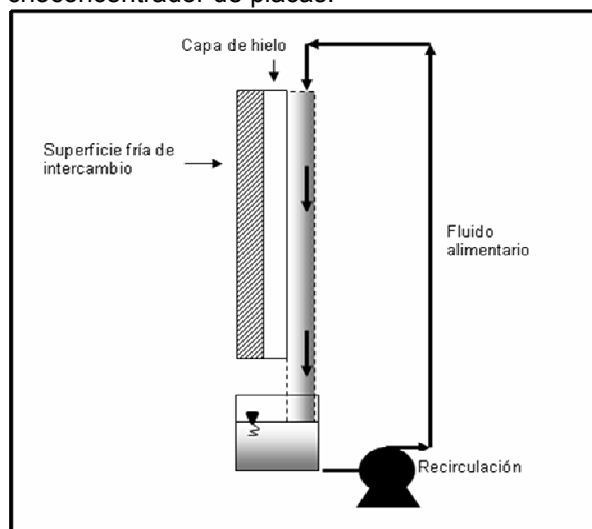
Se partió de 200 litros de zumo de naranja pasteurizado con una concentración de 11,1°Brix procedente de industrias transformadoras de la zona de Lérida, Cataluña, España. Se trasvasó a un recipiente cilíndrico de plástico de 62 litros de capacidad aislado con espuma de poliuretano un volumen de 50 litros muestra. La muestra se conservó en todo momento en una cámara frigorífica a 0°C hasta el inicio de los ensayos.

2.2 Equipo experimental

Se utilizó un crioconcentrador de placas de película descendente diseñado en la planta piloto de industrias alimentarias de la Universidad Politécnica de Cataluña que trabaja a presión atmosférica, cuyo principio de funcionamiento se basa en la congelación del agua que contienen

los fluidos en contacto directo con una superficie fría, formándose una capa de hielo sobre la superficie de intercambio compuesta por placas de acero inoxidable, recorridas internamente por un fluido refrigerante (R404A). El fluido a concentrar se distribuyó sobre las placas (superficie fría de intercambio) mediante un sistema hidráulico provisto de una bomba impulsora (figura 1). El esquema de la instalación se encuentra detallado en Raventós et al., 2007.

Fig.1 Principio de funcionamiento del crioconcentrador de placas.



2.3 Crioconcentración

Se realizaron 4 etapas de crioconcentración, la duración de cada etapa se condicionó al mantenimiento de un caudal con variaciones limitadas al intervalo $1 \pm 0,2$ l/s, suficiente para garantizar un buen contacto entre placa y fluido a concentrar (Raventós et al., 2007), efectuándose cada hora mediciones de concentración (°Brix) del zumo de naranja recirculado, la temperatura y el caudal del fluido en el sistema. Al final de cada etapa se cuantificó el peso del hielo separado de cada placa utilizando una balanza granataria marca DINA con un rango de medida de 0,1 a 15 Kg y un error de 5 gramos, se determinó la concentración en °Brix tanto del zumo como del hielo separado después de fundirlo. La concentración se midió con un refractómetro ATAGO modelo DBX-55A con precisión de $\pm 0,1$ °Brix y rango de medida de 0 a 55 °Brix. Para el registro de temperatura se utilizó una sonda metálica conectada a un sensor K Termopar TESTO modelo 177T4, con una exactitud 0,1 °C, previamente calibrado con agua destilada.

2.4 Impureza relativa del hielo

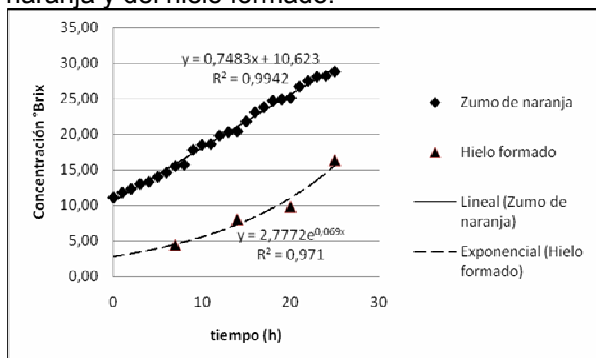
Se entiende por impureza del hielo, los sólidos solubles (medidos en °Brix) procedentes de la fase líquida que quedan retenidos en el hielo y que, por tanto, le restan pureza. Se calculó el ratio de impureza relativa del hielo definido como la relación entre la concentración del hielo producido (C_H) y la concentración final de la solución (C_{FS}) en cada ensayo:

$$\text{Ratio de impureza (\%)} = \frac{C_H}{C_{FS}} 100$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

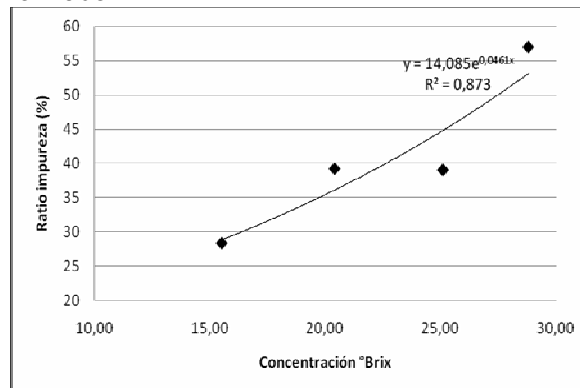
Se observa una tendencia lineal en el incremento de la concentración con el tiempo para el zumo de naranja (figura2) alcanzándose una concentración final de 28.8 °Brix con una velocidad media de concentración de 0.71 °Brix/hora. La concentración final alcanzada para este zumo es muy cercana a la obtenida para soluciones azucaradas de glucosa, fructosa y sacarosa ensayadas en este equipo para las cuales se alcanzaron concentraciones finales de 27.5°Brix, 26.6°Brix y 31.2°Brix respectivamente (Raventós, *et al*, 2007). En el hielo formado, el contenido en sólidos solubles aumenta siguiendo una tendencia exponencial (figura 2).

Fig. 2 Evolución de la concentración del zumo de naranja y del hielo formado.



La impureza del hielo formado aumenta durante el proceso con el aumento de la concentración del zumo de naranja (figura3) igual que sucede con los azúcares simples ensayados en el mismo equipo (Raventós, *et al*, 2007) manteniéndose la tendencia exponencial.

Fig. 3 Evolución del ratio de impureza del hielo formado.



Para el zumo de naranja el tiempo del proceso de crioconcentración tienen mayor duración (25 horas) que para los azúcares simples: 16.6 horas para sacarosa, 19.2 horas para la fructosa y 19.6 horas para la glucosa (Raventós, *et al*, 2007) esto puede deberse a la formación de espuma en el caso del zumo. La formación de espuma dificulta la transferencia de calor y por consiguiente la formación de hielo sobre las placas.

CONCLUSIONES

-Se obtiene una concentración final para el zumo de naranja de 28,8 °Brix muy similar a la obtenida para soluciones azucaradas de glucosa, fructosa y sacarosa ensayadas en este equipo: 27.5°Brix, 26.6°Brix y 31.2°Brix respectivamente, con una velocidad media de concentración de 0.71 °Brix/hora.

-El incremento de la concentración de solutos medido como °Brix en el zumo de naranja sigue una tendencia lineal.

-La inclusión de solutos en el hielo formado sigue una tendencia exponencial aumentando a medida que aumenta la concentración de la fase líquida.

AGRADECIMIENTO:

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 (2008-2012)

El autor Y. Ruiz desea agradecer al Instituto Colombiano Francisco José de Caldas – COLCIENCIAS por el préstamo condonable para doctorado nacional 2004.

BIBLIOGRAFÍA

1. Chen, P.; Chen, X.D.; Free, K.W. Solute Inclusion in Ice Formed From Sucrose Solutions on a Sub-cooled Surface-an Experimental Study. *Journal of Food Engineering* **1998**, 38, 1-13.
2. Chiampo, F.; Conti, R. Crioconcentrazione di succhi di frutta in un impianto pilota. *Industrie delle Bevande* **2002**, 31: 182, 550-554.
3. Davies, M.R., Dickenson, C.J., and Smith, I.B. The practical application of freeze concentration to beer production: European brewery convention 21st symposium **1987**, allied breweries ltd., burton-on-trent de 14 ibz, uk, 647-654.
4. Flesland, O. Freeze concentration by layer crystallization. *Drying Technol.* **1995a**, 13, 1713-1739. Marcel Dekker, Inc., Nueva York.
5. Habib, B.; Farid, M. Freeze concentration of milk and saline solutions in a liquid-solid fluidized bed: Part I. Experimental. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* **2007**, 46 (12), 1400-1411.
6. Hartel, R.W., Chung, M.G. Contact nucleation of ice in fluid dairy products. *J. Food Eng.* **1993**, 18: 281-296.
7. Hartel, R. W.; Espinel, L. A. Freeze concentration of skim milk. *Journal of Food Engineering* **1993**, 20, 101-120.
8. Hernandez, E., Raventós, M., Auleda, J.M., Ibarz, A. Concentration of Apple and Pear juices in a Multi-plate Freeze Concentrator. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 1 Feb 2009.
9. Huige, N.J.J. and Thijssen. H.A.C. Production of large crystals by continuous ripening in a stirred tank. *J. Crystal Growth* **1972**, 13/14. 483-487.
10. Liu, L.; Miyawaki, O.; Hayakawa, K. Progressive Freeze-concentration of Tomato Juice. *Food Science and Technology Research* **1999**, 5, 108 - 112.
11. Maltini, E.; Mastrocola, D. Preparazione di succo integrale crioconcentrato di kiwifruit, *Industrie delle Bevande* **1999**, 28 (159), 6-9.
12. Miyawaki, O.. Progressive freeze-concentration: a new method for high-quality concentration of liquid food. *Food Engineering Progress* **2001**, Vol 5, nº 3. pp 190-194.
13. Miyawaki, O.; Liu, L.; Shirai, Y.; Sakashita, S.; Kagitani, K. Tubular ice system for scale-up of progressive freeze-concentration. *Journal of Food Engineering* **2005**, 69, 107-113.
14. Müller, M. and Sekoulov, I. Waste water reuse by freeze concentration with a falling film reactor. *Wat. Sci. Tech.* **1992**, Vol. 26, nº 7-8, pp. 1475-1482.
15. Patino, H., Knudsen, F.B., Gress, H.S., Heard, G.E. *Use of freeze concentration for preparing malt liqueurs*, Technical Quarterly Master Brewers Association of the Americas **1991**, 28 (3), 108-110.
16. Patil, A.G. Freeze concentration: an attractive alternative. *Int. Sugar Jnl.* **1993**, 95 (1137), 349-355.
17. Ramos, F.A.; Delgado, J.L.; Bautista, E.; Morales, A.L.; Duque, C. Changes in volatiles with the application of progressive freeze-concentration to Andes berry (*Rubus glaucus Benth*). *Journal of Food Engineering* **2005**, 69, 291-297.
18. Rane, M. V.; Jabade, S. K. Freeze concentration of sugarcane juice in a jiggery making process. *Applied Thermal Engineering* **2005**, 25, 2122-2137.
19. Rane, M.V. et al. "Sugarcane juice concentration: a new approach" *Internacional sugar journal* **2005**, vol.107 n. 1280. p.476-482.
20. Raventós, M., Hernández, E., Auleda, J.M., Ibarz, A. Concentration of aqueous sugar solutions in a multi-plate cryoconcentrator. *Journal of Food Engineering*. 79. **2007**, p. 577-585.
21. Shirai, Y., Wakisaka, M., Sakashita, S. Ice crystallization in a pilot-scale freeze wastewater treatment system. *Chemical Engineering and Processing* **2001**, 40. 201-208.
22. Thijssen, H.A.C., The economics and potentials of freeze concentration for fruit juices. *International Federation of Fruit Juice Producers* **1986**, XIX Scientific Technical Commission.
23. Zhang, Z.; Hartel, R.W. A multilayer freezer for freeze concentration of liquid milk. *Journal of Food Engineering* **1995**, 29, 23-38.