

**Transformación y agroindustria**

Artículo corto

## Evaluación de la concentración de lactosuero ácido clarificado de leche bovina mediante la técnica de evaporación de película descendente al vacío

---

 Carlos Jesús Muvdi-Nova<sup>1\*</sup>,  Said Andrey Mora-García<sup>1</sup>,

 Sergio Alejandro Cáceres-Roa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Industrial de Santander. Piedecuesta, Colombia.

\*Autor de correspondencia: Universidad Industrial de Santander. Grupo CICTA. Sede UIS Guatiguará, km 2 vía el Refugio, Piedecuesta, Colombia. [cjmuvdi@uis.edu.co](mailto:cjmuvdi@uis.edu.co)

*Editor temático:* Edwin Castro Rincón (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

Recibido: 07 de enero de 2019

Aprobado: 03 de agosto de 2020

Publicado: 26 de febrero de 2021

*Para citar este artículo:* Muvdi-Nova, C. J., Mora-García, S. A., & Cáceres-Roa, S. A. (2021). Evaluación de la concentración de lactosuero ácido clarificado de leche bovina mediante la técnica de evaporación de película descendente al vacío. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1), e1241. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol22\\_num1\\_art:1241](https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1241)



## Resumen

Se evaluó el efecto de la evaporación de película descendente al vacío en las características de lactosueros ácidos previamente clarificados mediante microfiltración (membranas cerámicas, umbral de corte:  $0,2 \mu\text{m}$  y  $\Delta\text{PTM}$ : 2 bar). La composición del lactosuero inicial fue proteína  $0,32 \pm 0,06 \%$  p/p, cenizas  $0,56 \pm 0,08 \%$  p/p, sólidos solubles  $5 \pm 1 \%$  p/p ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) y turbidez  $16 \pm 5 \text{ NTU}$ . Durante la etapa de concentración, el número de ciclos cambió de forma notoria para cada factor de reducción de volumen (FRV), cuyo valor máximo fue de 4 con un promedio de 18 ciclos por lote. Las características de los concentrados no se vieron afectadas por las diferencias en el número de ciclos, los cuales aumentaron en proporción al FRV. Esto pudo evidenciarse en la composición de proteína, cenizas y  $^{\circ}\text{Bx}$ , que incrementaron su valor de forma lineal cerca de 3,5 veces más con respecto a la composición inicial. Sin embargo, la turbidez fue diferente debido al tratamiento térmico durante la etapa de concentración (por encima de  $60^{\circ}\text{C}$ ), por lo que es conveniente llevar a cabo una etapa de tratamiento térmico después de la elaboración del queso ricota para remover la proteína remanente. La prueba de Tukey con nivel de confianza del 95 % confirmó que hubo cambios en la composición del lactosuero final concentrado. No se evidenciaron cambios en el color (absorbancia) durante el proceso de concentración.

**Palabras clave:** concentración, evaporación, factor de reducción de volumen, industria lechera, lactosuero ácido, película descendente al vacío

## Evaluating volume reduction of clarified acid bovine milk whey via falling film vacuum evaporation

### Abstract

This research evaluates the effect of falling film vacuum evaporation on the characteristics of clarified acid bovine milk whey. The clarified acid whey was obtained by microfiltration (ceramic membranes, 0.2  $\mu\text{m}$  cut-off,  $\Delta\text{TMP}$ : 2 bar) and concentrated by a falling film evaporator. The clarified whey composition was mainly protein ( $0.32 \pm 0.06$  % w/w), ashes ( $0.56 \pm 0.08$  % w/w), soluble solids ( $5 \pm 1$  % w/w), and turbidity ( $16 \pm 5$  NTU). During the concentration step, the number of cycles changed notoriously for each volume reduction factor (VRF), being four the highest value achieved, with an average number of cycles of 18. The characteristics of concentrates were not affected by differences in the number of cycles, increasing proportionally with the VRF; it could be noticed in the final content that protein, ashes, and °Bx increased linearly around 3.5 times the initial composition. However, turbidity was different for each VRF because of heat treatment during the concentration stage (above 60 °C). A thermal treatment step after ricotta preparation would be advisable to remove the remaining protein. Tukey's test was carried out at a 95 % CI, revealing statistical differences among means; therefore, there was a change in the characteristics of the final concentrated whey. Regarding color (absorbance), there were no considerable changes during the concentration process.

**Keywords:** acid whey, concentration, dairy industry, evaporation, falling film vacuum, volume reduction factor

## Introducción

Uno de los derivados que más se obtienen en el sector lácteo es el suero (líquido de color amarillo verdoso), que resulta de la coagulación de la leche durante la elaboración del queso. Este representa el 85-90 % del volumen de leche y tiene más del 50 % de los nutrientes de la leche (Almécija, 2007; Guerrero-Rodríguez et al., 2012). Por su parte, el suero ácido se obtiene de la coagulación de la leche ácida (pH entre 4,5 y 5,0) durante la producción de queso de pasta hilada (Jelen, 2003). En Colombia, este tipo de queso es muy común y, por tanto, su producción es considerable (Vásquez, 2017).

Según Liu et al. (2005), se obtienen 9 kg de suero por cada kilogramo de cuajada. Considerando esta proporción y la producción de queso colombiano de 50.000 toneladas (Escobar, 2015), la producción de suero es de casi 440 millones de litros. Sin embargo, este subproducto no se valora lo suficiente y se utiliza principalmente en la alimentación animal. En muchos casos, se vierte en suelos y fuentes de agua por el desconocimiento sobre cómo aprovechar esta materia prima (Londoño et al., 2008), lo que lo convierte en un contaminante significativo por su contenido de materia orgánica (grasas, lactosa, proteínas, entre otros) (Ghaly & Kamal, 2004; Mukhopadhyay et al., 2005). En comparación con el suero tradicional, la acidez de este suero previene la proliferación de microorganismos y favorece su conservación (Simanca et al., 2010) y transformación.

La evaporación de película descendente al vacío es una técnica utilizada en la transformación de productos lácteos. Permite reducir volúmenes importantes de producto, concentrar componentes de alto valor y eliminar la mayor cantidad de agua posible, sin degradación térmica de la materia prima por condiciones de vacío (reducción del punto de ebullición). También sirve para tratar materiales sensibles al calor debido a sus altos coeficientes de transferencia de calor (2.000-4.000 W/m<sup>2</sup>·°C), lo que reduce la degradación térmica de los productos, el consumo de energía y los tiempos de residencia en comparación con la evaporación tradicional (Chen & Jebson, 1997; Li et al., 2011). En la etapa de evaporación, se potencian las características de este subproducto y se convierte en materia prima de otros procesos para obtener productos terminados de alta calidad (Bimbenet et al., 2007; Zhu et al., 2011).

Pereira (2015) utilizó esta técnica para concentrar leche desnatada y suero ácido a 200 mbar y 60 °C, con lo que logró un factor de reducción de volumen (FRV) cercano a 2 en ambos casos. A pesar de esto, son pocos los estudios que informan sobre esta técnica para la concentración de suero ácido; la mayoría se han centrado en el cálculo y la optimización del coeficiente de transferencia de calor para diferentes soluciones industriales, en las que la leche suele ser el producto de interés (Jebson & Iyer, 1991; Monnier et al., 2012). Arias y Espinel (2006) trabajaron con la evaporación tradicional como etapa intermedia para la concentración del suero usando marmitas. Sin embargo, no existe un estudio detallado del efecto de esta técnica sobre las características del producto concentrado. Más importante aún, ninguna de estas investigaciones analizó el efecto de un FRV más alto en las características del producto. Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de la evaporación de película descendente al vacío sobre el número de ciclos y las características del concentrado que alcanzan un FRV de 4 en la configuración del lote.

## Materiales y métodos

### Pretratamiento de materia prima

El suero ácido se clarificó con anterioridad mediante filtración por membrana. La clarificación se realizó con suero desnatado, desproteinizado (a 100 °C por 15 min) y prefiltrado con lona. El proceso de filtración se realizó con un módulo de membrana de 1,0 m de longitud, seis membranas cerámicas tubulares monocanal con umbral de corte de 0,2 µm (TAMI® Industries, Nyons, Francia), una superficie de 0,132 m<sup>2</sup> (seis membranas), condiciones de filtración a 70 °C y gradiente de presión transmembrana ( $\Delta$ P<sub>TM</sub>) de 2 bar. La tabla 1 muestra las características fisicoquímicas del suero utilizado en este estudio.

**Tabla 1.** Suero ácido inicial en base seca

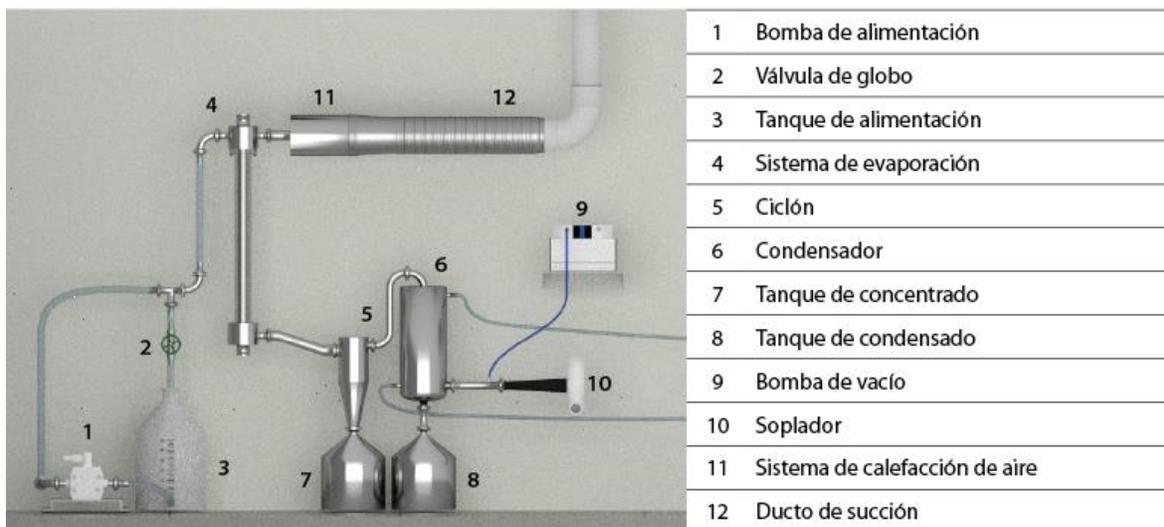
| pH   | °Bx | Materia seca [%] | Cenizas [%] | Proteínas [%] | Grasa [%] | Lactosa [%] | Ácido láctico [%] | Calcio [%]  | Fósforo [%] | Turbidez [NTU] |
|------|-----|------------------|-------------|---------------|-----------|-------------|-------------------|-------------|-------------|----------------|
| 4,86 | 5   | 5,54 ± 0,4       | 9,59 ± 0,93 | 5,68 ± 0,6    | < 1,7     | 70,1 ± 1,1  | 5,16 ± 0,1        | 0,86 ± 0,01 | 0,69 ± 0,01 | 5,31 ± 2,32    |

Nota: desviación media absoluta.

Fuente: Elaboración propia

### Procedimiento de evaporación de película descendente al vacío

Se procesaron cinco lotes de suero ácido (19 L cada lote). Se utilizó un evaporador diseñado por Muñoz y Solano (2014), que consiste en un tubo de acero inoxidable de 1,4 m de largo y 3,8 cm de diámetro, y un tubo acrílico transparente de 1,2 m de largo, 3 mm de espesor y 5 cm de diámetro (figura 1). Este evaporador cuenta con un sistema de calefacción conformado por dos resistencias de 1.600 W, ubicadas dentro del tubo del evaporador y conectadas a 220 V para un mejor control de temperatura. Se alimentó con el suero ácido (4-5 °Bx) por succión a través de una bomba de vacío (presión de trabajo de 200 mbar) (figura 1, n.º 9) a temperaturas entre 60 °C y 65 °C. A la salida del evaporador, el suero concentrado se separó de las corrientes de vapor de agua y se almacenó en diferentes tanques de almacenamiento (figura 1, n.º 7 y 8). Una vez terminado un ciclo, el suero concentrado se volvió a introducir en el tanque de alimentación (figura 1, n.º 3) para comenzar un nuevo ciclo. El proceso finalizó al lograr un FRV de 4.



**Figura 1.** Diagrama del evaporador de película descendente al vacío utilizado en el estudio.

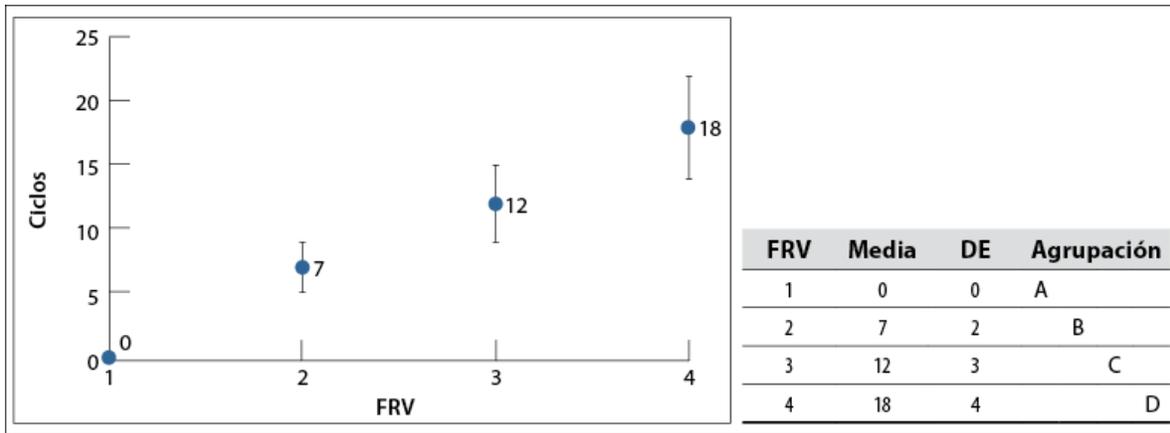
Fuente: Muñoz y Solano (2014)

### Métodos de cuantificación

Las muestras se caracterizaron por los porcentajes de materia seca (Association of Official Analytical Communities International [AOAC International], 2006a), de proteína (AOAC International, 2006b), de ceniza (AOAC International, 2005a), de grasa (AOAC International, 2005b), de calcio (AOAC International, 2000a), de fósforo (AOAC International, 2000b) y de ácido láctico (Association of Official Analytical Chemists, 1984); los °Bx con refractómetro portátil Fisher n.º 13 964 74C (0-90 °Bx) y la turbidez con turbidímetro Hanna® HI 98703. Las muestras se estudiaron para el análisis de color mediante espectrofotometría visible a 440 nm, similar al de Benavides-Prada y Muvdi-Nova (2014). Se utilizó HPLC para el porcentaje de lactosa con una columna Coregel 107-H de 7,8 × 300 mm (8 μm) a 30 °C y 0,6 ml/min. La fase móvil fue una solución acuosa de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 8 mM con el modo isocrático. La prueba de Tukey se llevó a cabo para verificar las diferencias estadísticas entre los valores medios obtenidos del análisis fisicoquímico con el *software* estadístico Minitab, versión 19.

### Resultados y discusión

Se logró un FRV de 4 (alrededor de 18 °Bx), debido a una espuma muy estable que detuvo la eliminación de agua de la solución de suero. Nicorescu et al. (2009) atribuyeron este fenómeno a la proteína del suero tratado, la cual tiene propiedades espumantes que pueden amplificarse por desnaturalización térmica (Hui, 1993). La figura 2 muestra el número de ciclos utilizados para lograr cada FRV —un ciclo corresponde a una pasada de la solución a través del sistema evaporador—, lo que indica que el número de ciclos aumenta de forma lineal con el FRV. La prueba de Tukey confirma este comportamiento lineal porque los valores medios entre los FRV son diferentes. Fue difícil mantener constante la uniformidad de la película descendente, por lo que la desviación estándar del número de ciclos aumentó con el FRV.

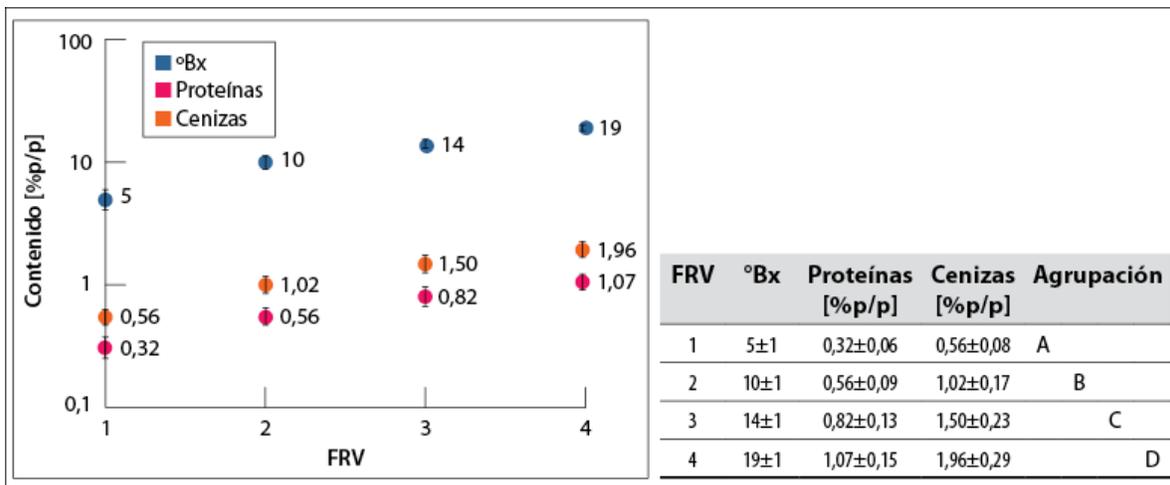


**Figura 2.** Número de ciclos utilizados para cada FRV en el proceso de concentración a 60 °C-65 °C y 200 mbar. DE: desviación estándar.

Nota: Los valores medios que no comparten la misma letra son significativamente diferentes. La información se agrupó mediante el método de Tukey y un IC del 95 %.

Fuente: Elaboración propia

Los °Bx, las proteínas y los contenidos de cenizas aumentaron con el FRV (figura 3); cabe destacar que no se vieron afectados por la desviación en el número de ciclos para cada FRV.

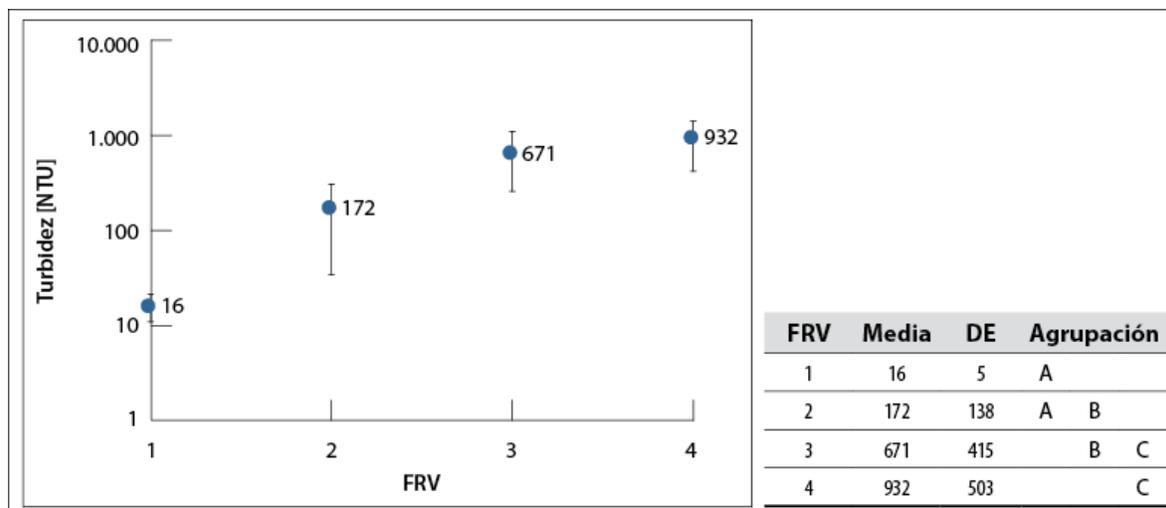


**Figura 3.** °Bx, proteínas y cenizas de los concentrados obtenidos para cada FRV a 200 mbar y 60-65 °C. DE: desviación estándar.

Nota: Los valores medios que no comparten una letra son significativamente diferentes. La información se agrupó mediante el método de Tukey y un IC del 95 %.

Fuente: Elaboración propia

La figura 4 muestra la turbidez del suero en función del FRV. Todas las muestras se diluyeron hasta la concentración inicial (4-5 °Bx; FRV = 1 como línea de base) para encontrar variaciones en la turbidez debido al proceso de concentración.



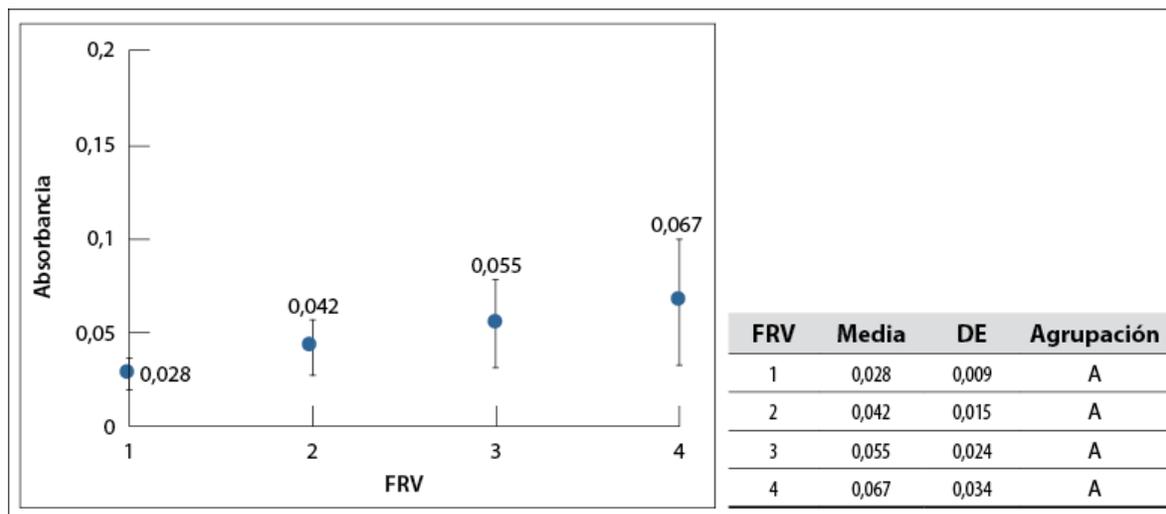
**Figura 4.** Turbidez en concentrados de suero para cada FRV a 200 mbar y 60-65 °C. DE: desviación estándar.

Nota: Los valores medios que no comparten una letra son significativamente diferentes. La información se agrupó mediante el método de Tukey y un IC del 95 %.

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados muestran que la turbidez aumenta con la concentración de suero —los valores medios son diferentes entre sí según la prueba de Tukey—, lo que sugiere que parte de la proteína sérica soluble se volvió insoluble debido a la desnaturalización irreversible de la proteína producida por el tratamiento térmico (por encima de 60 °C) (Álvarez, 2013; Parris et al., 1991). Muñoz y Solano (2014) y Anaya y Bueno (2015) informaron los resultados para la concentración de hidrolizado de almidón de yuca con el mismo equipo y demostraron que la turbidez de sus muestras no se vio afectada.

El efecto del FRV sobre el color de la muestra se analizó mediante absorbancia a 440 nm, similar a la del estudio de Benavides-Prada y Muvdi-Nova (2014). A esta longitud de onda, el color transmitido o reflejado es amarillo (Harris, 2007). Todas las muestras también se diluyeron al valor inicial (FRV = 1 como línea de base). A medida que se concentra el suero, la absorbancia aumenta ligeramente, después de ejecutar un promedio de 18 ciclos (figura 5). Sin embargo, la prueba de Tukey muestra que no hay una diferencia significativa entre los valores medios. Los cambios de absorbancia en el espectro visible están relacionados con la alteración del color y la degradación térmica del producto (degradación por pardeamiento).



**Figura 5.** La absorbancia de la muestra se concentra para cada FRV a 200 mbar, 60-65 °C y  $L = 440$  nm. DE: desviación estándar.

Nota: Los valores medios que no comparten una letra son significativamente diferentes. La información se agrupó mediante la prueba de Tukey e IC del 95 %.

Fuente: Elaboración propia

Benavides-Prada y Muvdi-Nova (2014) estudiaron la concentración de jarabes de glucosa con un evaporador de película ascendente e informaron que la absorbancia aumentó de 0,5 a 1,3 cuando se ejecutaron entre uno y tres ciclos. Esto muestra la baja influencia de la evaporación de la película descendente en el color del suero, asociado con una baja degradación por pardeamiento. Un aspecto que resalta de los concentrados obtenidos fue la cristalización de algunos sólidos durante el almacenamiento a 4 °C. Según Luquet (1993), esto se debe a la formación de  $\alpha$ -lactosa monohidrato (cristales) a temperaturas inferiores a 15 °C. Esta característica facilitaría otras etapas de tratamiento como la separación y el secado.

## Conclusiones

Se analizó el efecto de la evaporación de película descendente al vacío sobre el permeado de suero ácido y se observó un comportamiento lineal del número de ciclos con respecto al FRV, a pesar de la dificultad en la formación de la película descendente. No se presentó degradación por pardeamiento durante el proceso, lo que demuestra la baja influencia de esta técnica en el producto. El contenido de  $^{\circ}\text{Bx}$ , proteínas y cenizas no se vio afectado por el proceso y fue directamente proporcional al FRV. La turbidez cambió de manera considerable con el FRV debido a la presencia de proteína desnaturalizada insoluble que se formó durante el proceso; por esta razón, sería recomendable considerar el tratamiento térmico después de la preparación de ricota para eliminar la proteína restante. También se aconseja el uso de agentes antiespumantes para obtener un FRV más elevado.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Industrial de Santander, por la financiación de este trabajo de investigación a través del proyecto VIE9364, y al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), por su apoyo en el suministro del suero requerido para esta investigación.

## Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron contribuciones significativas al documento, estuvieron de acuerdo con su publicación y declaran no tener ningún conflicto de intereses en este estudio.

## Referencias

- Almécija, M. C. (2007). *Obtención de lactoferrina bovina mediante ultrafiltración de lactosuero* [Tesis doctoral, Universidad de Granada]. Repositorio Institucional de la UGR. <http://hdl.handle.net/10481/1721>
- Álvarez, M. C. (2013). *Caracterización físicoquímica de los diferentes tipos de lactosueros producidos en la Cooperativa Colanta LTDA* [Tesis de pregrado, Corporación Universitaria Lasallista]. Biblioteca Digital Lasallista. <http://hdl.handle.net/10567/1036>
- Anaya, C., & Bueno, P. (2015). *Simulación de la evaporación de película descendente al vacío y con gas de arrastre utilizando redes neuronales* [Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio UIS. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/156223.pdf>
- Arias, M. J., & Espinel, A. O. (2006). *Evaluación de la utilización de la microfiltración tangencial (MFT) para la fabricación de queso y aprovechamiento del lactosuero* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2724>
- Association of Official Analytical Communities International [AOAC International]. (2000a). Section 927.02. Calcium in animal feed. Dry ash method. En *AOAC Official Methods of Analysis* (17th ed.).
- Association of Official Analytical Communities International [AOAC International]. (2000b). Section 965.17. Phosphorus in animal feed and pet food. Photometric method. En *AOAC Official Methods of Analysis* (17th ed.).
- Association of Official Analytical Communities International [AOAC International]. (2005a). Section 923.03. Ash of flour. Direct method. En *AOAC Official Methods of Analysis* (18th ed.).
- Association of Official Analytical Communities International [AOAC International]. (2005b). Section 2000.18. Fat content of raw and pasteurized whole milk. Gerber method. En *AOAC Official Methods of Analysis* (18th ed.).
- Association of Official Analytical Communities International [AOAC International]. (2006a). Section 990.19 Solids (total) in milk by forced air oven drying after steam table pre-dry. En *AOAC Official Methods of Analysis* (18th ed.).
- Association of Official Analytical Communities International [AOAC International]. (2006b). Section 991.20. Nitrogen (total) in milk. Kjeldahl methods. En *AOAC Official Methods of Analysis* (18th ed.).

- Association of Official Analytical Chemists. (1984). Section 16.023. Titratable acidity. En *AOAC Official Methods of Analysis* (14th ed.).
- Benavides-Prada, O. A., & Muvdi-Nova, C. J. (2014). Evaluación de la ósmosis inversa y de la evaporación de película ascendente como técnicas de concentración de hidrolizados de almidón de yuca. *Revista ION*, 27(1), 59-70. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/4150>
- Bimbenet, J. J., Duquenoy A., & Trystram G. (2007). *Génie des procédés alimentaires*. Editorial DUNOD.
- Chen, H., & Jebson, R. (1997). Factors affecting heat transfer in falling film evaporators. *Food and Bioproducts Processing*, 75(2), 111-116. <https://doi.org/10.1205/096030897531423>
- Escobar, M. (2015, marzo). Fabricación de quesos como para récord Guinness. *UN Periódico*, 186. <https://cienciasagrarias.medellin.unal.edu.co/index.php/46-news/noticiasfca/1076-fabricacion-de-quesos-como-para-record-guinness>
- Ghaly, A. E., & Kamal, M. A. (2004). Submerged yeast fermentation of acid cheese whey for protein production and pollution potential reduction. *Water Research*, 38(3), 631-644. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.10.019>
- Guerrero-Rodríguez, W., Castilla-Hernández, P., Cárdenas-Medina, K., Gómez-Aldapa, C., & Castro-Rosas, J. (2012). Degradación anaerobia de dos tipos de lactosuero en reactores UASB. *Tecnología Química*, 32(1), 99-106. <https://tecnologiaquimica.uo.edu.co/index.php/tq/article/view/720>
- Harris, D. (2007). *Análisis químico cuantitativo*. Editorial Reverté.
- Hui, Y. (1993). *Dairy science and technology handbook. Volume 1. Principles and properties*. Wiley.
- Jebson, S., & Iyer, M. (1991). Performances of falling film evaporators. *Journal of Dairy Research*, 58(1), 29-38. <https://doi.org/10.1017/S0022029900033483>
- Jelen, P. (2003). Whey processing. Utilization and products. En H. Roginski, J. Fuquay, & P. Fox (Eds.), *Encyclopedia of dairy sciences* (pp. 2739-2745). Academic Press.
- Li, W., Wu, X. Y., Luo, Z., & Webb, R. (2011). Falling water film evaporation on newly-designed enhanced tube bundle. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(13-14), 2990-2997. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.02.052>
- Liu, X., Chung, Y. K., Yang, S. T., & Yousef, A. (2005). Continuous nisin production in laboratory media and whey permeate by immobilized *Lactococcus lactis*. *Process Biochemistry*, 40(1), 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2003.11.032>
- Londoño, M., Sepúlveda, J., Hernández, A., & Parra, J. (2008). Bebida fermentada de suero de queso fresco inoculada con *Lactobacillus casei*. *Revista Facultad Nacional Agronomía Medellín*, 61(1), 4409-4421. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24741>
- Luquet, M. (1993). *Leche y productos lácteos. Transformación y tecnología*. Editorial Acribia.
- Monnier, H., Portha, J. F., Kane, A., & Falk, L. (2012). Intensification of heat transfer during evaporation of a falling liquid film in vertical microchannels—Experimental investigations. *Chemical Engineering Science*, 75, 152-166. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2012.03.008>
- Mukhopadhyay, R., Chatterjee, S., Chatterjee, B. P., Banerjee, P., & Guha, A. K. (2005). Production of gluconic acid from whey by free and immobilized *Aspergillus niger*. *International Dairy Journal*, 15(3), 299-303. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.07.010>
- Muñoz, C., & Solano, R. (2014). *Construcción e implementación de un piloto laboratorio de evaporación de película descendente*. [Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio UIS. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/152003.pdf>

- Nicorescu, I., Loisel, C., Riaublanc, A., Vial, C., Djelveh, G., Cuvelier, G., & Legrand, J. (2009). Effect of dynamic heat treatment on the physical properties of whey protein foams. *Food Hydrocolloids*, 23(4), 1209-1219. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.005>
- Parris, N., Purcell, J., & Ptashkin, S. (1991) Thermal denaturation of whey proteins in skim milk. *Journal of Agricultural and Food Science*, 39(12), 2167-2170. <https://doi.org/10.1021/jf00012a013>
- Pereira, A. C. (2015). *Thermodynamic and hydrodynamic characterization of the vacuum evaporation process during concentration of dairy products in a falling evaporator* [Tesis doctoral, Université Européenne de Bretagne]. HAL Archives Ouvertes. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01342521/document>
- Simanca, M., Arteaga, M., Pérez, Y., Soto, M., & Salcedo, J. (2010). Caracterización y estudio de la fermentación espontánea del suero costeño producido en Montería. *Revista MVZ Córdoba*, 15(1), 1944-1953. <https://doi.org/10.21897/rmvz.332>
- Vásquez, C. (2017, julio 16). 12 son las clases de quesos que se elaboran en regiones de Colombia. *ElMundo.com*. <https://www.elmundo.com/noticia/12-son-las-clases-de-quesos-que-se-elaboran-en-regiones-de-Colombia/355693>
- Zhu, P., Méjean, S., Blanchard, E., Jeantet, R., & Schuck, P. (2011). Prediction of dry mass glass transition temperature and the spray drying behavior of a concentrate using a desorption method. *Journal of Food Engineering*, 105(3), 460-467. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.003>