

# APROVECHAMIENTO DEL SUERO DE LA MANTEQUILLA PARA LA ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA MEDIANTE MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL

## USE OF BUTTER WHEY FOR THE PREPARATION OF A DRINK BY TANGENTIAL MICROFILTRATION

Cristian Andrés Flores Cadena <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Agraria del Ecuador. Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4071-7228>. Correo: [cflores@uagraria.edu.ec](mailto:cflores@uagraria.edu.ec)

Karina Patricia Llerena Oñate <sup>2</sup>

<sup>2</sup> Instituto Superior Tecnológico Tungurahua, Carrera Tecnología Superior en Gastronomía. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0003-1929-4427>. Correo: [kllerena.istt@gmail.com](mailto:kllerena.istt@gmail.com)

\* Autor para correspondencia: [cflores@uagraria.edu.ec](mailto:cflores@uagraria.edu.ec)

### Resumen

En el presente trabajo se concentró la proteína del suero de mantequilla mediante la microfiltración tangencial; para esto se emplearon dos tamaños de orificio en la membrana (0,1  $\mu\text{m}$  y 0,2  $\mu\text{m}$ ). La dimensión de poro en la membrana influyó sobre la concentración de proteína en el retenido y sobre el factor de retención volumétrica (FRV). Se consiguieron mejores resultados al usar la membrana de 0,1  $\mu\text{m}$ , se logró una concentración de proteína de  $15,82 \pm 0,43$  g/100 g en el retenido y  $0,47 \pm 0,03$  g/100 g en el permeado. Se aplicaron nueve fórmulas de la bebida láctea con el retenido (20 %, 27,5 %, 35 %) y la pulpa de mora (30 %, 35 %, 40 %). Se ejecutó un análisis sensorial, mediante un diseño de bloques incompletos balanceados (BIB). La formulación que consiguió los mejores resultados fue el conformado por 20 % de retenido y 35 % de pulpa de mora. El refresco obtenido fue sometido a pruebas de fijeza, se almacenó a tres temperaturas (-17 °C, 6 °C y 20 °C) durante 21 días. Los resultados de estos estudios establecieron un alimento microbiológicamente estable y los ensayos sensoriales manifestaron que la temperatura influyó sobre las características organolépticas de la bebida.

**Palabras clave:** Microfiltración tangencial; proteína; suero de mantequilla; bebida láctea

## Abstract

*In the present work, the buttermilk protein was concentrated by tangential microfiltration; for this, two sizes of holes in the membrane were used (0.1  $\mu\text{m}$  and 0.2  $\mu\text{m}$ ). The pore dimension in the membrane influenced the protein concentration in the retentate and the volumetric retention factor (FRV). Better results were achieved using the 0.1  $\mu\text{m}$  membrane, a protein concentration of  $15.82 \pm 0.43$  g/100 g was achieved in the retentate and  $0.47 \pm 0.03$  g/100 g in the permeate. . Nine formulas of the milk drink were applied with the retained (20%, 27.5%, 35%) and the blackberry pulp (30%, 35%, 40%). A sensory analysis was carried out, using a balanced incomplete block (BIB) design. The formulation that achieved the best results was made up of 20% retained and 35% blackberry pulp. The obtained soft drink was subjected to fixity tests, stored at three temperatures (-17 °C, 6 °C and 20 °C) for 21 days. The results of these studies established a microbiologically stable food and the sensory tests showed that the temperature influenced the organoleptic characteristics of the drink.*

**Keywords:** Cross-flow microfiltration, protein, buttermilk, dairy beverage.

**Fecha de recibido:** 05/02/2023

**Fecha de aceptado:** 27/05/2023

**Fecha de publicado:** 09/06/2023

## Introducción

Durante proceso de elaboración de mantequilla se produce un subproducto llamado suero de mantequilla que es diferente a otros productos lácteos (Velasco, 2022). El suero de mantequilla contiene fragmentos de membrana del glóbulo graso con propiedades beneficiosas para la salud debido a su alto contenido de fosfolípidos, los cuales tienen actividad anticancerígena, especialmente contra el cáncer de colon, y protegen contra toxinas de bacterias y virus (González, 2022). El suero de mantequilla es considerado como un ingrediente interesante para la producción de alimentos funcionales debido a su alto contenido de fosfolípidos (Torrez y Peñarrieta, 2017).

En Estados Unidos, el suero de mantequilla se usa comúnmente en la industria de jugos naturales y panadería debido a sus propiedades beneficiosas para modificar las características funcionales de los productos finales, como la capacidad de emulsificación, retención de humedad, rendimiento, estabilidad al calor, textura y sabor. (Riquelme, 2016). En Ecuador el suero de mantequilla no se comercializa y no se trata antes de su eliminación como residuo industrial, lo que lo hace netamente contaminante debido a su alta demanda bioquímica de oxígeno. Se estima que la cantidad de suero de mantequilla liberado es cercana a la cantidad de mantequilla producida en el país, según los datos del último censo económico realizado en 2008 (INEC, 2008).

La problemática de la desnutrición en Ecuador, posee una tasa alarmante, especialmente en niños menores de cinco años, recién nacidos y posiblemente también en mujeres embarazadas (Riquelme, 2016). La falta de aminoácidos esenciales puede causar enfermedades y tener un impacto significativo en la economía del país.

El consumo de suero de mantequilla puede ayudar a reducir las deficiencias nutricionales de proteínas y aminoácidos esenciales, por lo que es importante fomentar su consumo como alimento funcional o como ingrediente en bebidas y alimentos (Salomé, 2021).

Por otra lado, la microfiltración tangencial es una técnica de concentración de alimentos que separa componentes específicos de un medio, como las proteínas, mientras mantiene la calidad nutricional y sensorial de los alimentos (Cortez et al., 2021). Este estudio propone el uso de la microfiltración tangencial para aprovechar un co-producto de la industria láctea, que actualmente es perjudicial para el medio ambiente, pero que contiene una cantidad significativa de proteínas y calcio, lo que lo hace una opción atractiva para su uso en alimentos.

## Materiales y métodos

En este estudio se empleó suero de mantequilla procedente de una empresa láctea, la cual está ubicada en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura-Ecuador. Esta empresa se dedica a procesar diariamente 1 000 l de crema de leche fresca para la elaboración de mantequilla.

Luego de completar el proceso de batido de la crema para producir mantequilla, el suero resultante se trasladó a la planta piloto en recipientes de acero inoxidable de 12 litros de capacidad. El volumen total transportado fue de 100 litros, y se necesitaron aproximadamente 3 horas para llevar la materia prima desde la planta procesadora hasta su almacenamiento. La pulpa de mora y la sacarosa fueron adquiridas en supermercados de la ciudad.

### Caracterización del suero de mantequilla, concentrado proteico, permeado y la bebida láctea

El suero de mantequilla se almacenó en un congelador a una temperatura de -17 °C en bidones de acero inoxidable de 12 litros. Posteriormente, se homogeneizó el suero y se tomó una muestra de 500 mL para su caracterización. Se midió el pH de la muestra de 50 mL utilizando un medidor de pH digital. La acidez titulable se determinó utilizando el método descrito en la sección 947,05 del AOAC (2007). Se tituló 10 mL de muestra con hidróxido de sodio 0,1 N y se calculó el porcentaje de ácido láctico.

El contenido de °Brix se midió utilizando un refractómetro portátil. El método Gerber, descrito en la sección 2000,18 del AOAC (2007), se utilizó para determinar la cantidad de grasa en la muestra. El método 945.46 del AOAC (2007) se utilizó para determinar el contenido de cenizas en la muestra.

El contenido de lactosa se determinó mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) siguiendo el método descrito por (Pérez et al., 1997). Para cuantificar el contenido de proteínas en la muestra, se aplicó el método Kjeldahl según se describe en la sección 991,20 del AOAC (2007).

En la Tabla 1 se presentan los detalles de los análisis microbiológicos llevados a cabo en este estudio.

**Tabla 1.** Métodos para la determinación microbiológica.

| Análisis           | Método                      |
|--------------------|-----------------------------|
| Coliformes Totales | FDA-CFSAN-BAM Cap. 2. 2002. |
| Aerobios           | FDA-CFSAN-BAM Cap. 3. 2001  |
| Mohos              | FDA-CFSAN-BAM Cap. 18. 2001 |
| Levaduras          | FDA-CFSAN-BAM Cap. 18. 2001 |
| Salmonella         | INEN 1529-15:96             |

Se aplicaron los métodos previamente descritos para llevar a cabo los análisis físico-químicos del retenido y permeado obtenidos a través del proceso de microfiltración tangencial, así como de la bebida láctea en sí.

Para evaluar el color de la bebida láctea, se midió con un colorímetro utilizando 20 ml de muestra, y los datos de color se expresaron en términos de los parámetros L, a y b.

Además de los análisis mencionados anteriormente, se llevaron a cabo pruebas microbiológicas para detectar la presencia de *Salmonella* spp en el producto final, con el fin de evaluar la eficacia del tratamiento de pasteurización.

### Obtención del concentrado proteico

Se procedió a filtrar el suero de la mantequilla utilizando una tela de lino fino con un tamaño de poro de 0,1 mm. Luego, se realizó el proceso de descremado a 50°C en una olla de doble camisa con agitación, y el centrifugado se llevó a cabo en una descremadora a una velocidad de 12 000 rpm.

Para la microfiltración tangencial (MFT), se utilizó un equipo piloto con una superficie de filtrado de 0,2 m<sup>2</sup>. El flujo de alimentación fue de 1 000 l/h, bajo las condiciones de trabajo especificadas por el fabricante (2,5 bares de presión de entrada y 1,5 bares de presión de salida), lo que garantiza una velocidad constante de 5 m/s en la membrana. Después de este proceso, se obtuvieron el retenido y permeado, los cuales fueron sometidos a los análisis físico-químicos previamente descritos.

Durante todo el proceso de microfiltración tangencial, la temperatura se mantuvo constante a 30 °C y se utilizó agua como fluido refrigerante en el intercambiador de calor del equipo, con el fin de mantener las condiciones de trabajo óptimas. La temperatura se midió continuamente con un termómetro digital.

Se agregaron inicialmente 15 kg de suero de mantequilla en el tanque de alimentación y se agregó la materia prima en el tanque a medida que avanzaba el proceso, para mantener el nivel constante. En total se agregaron 38,7 kg de materia prima en cada experimento. La cantidad de permeado producido se midió cada 5 minutos con una báscula modelo, mientras que el flujo de permeado se midió con una probeta de 50 ml y el tiempo se registró con un cronómetro.

Una vez finalizado el proceso de concentración mediante microfiltración tangencial, se almacenó tanto el retenido como el permeado en fundas de polietileno con una capacidad de 0,5 kg. Estos productos se conservaron a una temperatura de -17°C en la cámara de congelación.

Para aumentar la concentración de proteínas en el suero de mantequilla, se realizaron tres repeticiones utilizando dos tamaños de poros en la membrana: 0,1 µm y 0,2 µm. Se seleccionó la membrana que permitió

obtener la mayor concentración de proteína en el retenido. Además, se determinó el factor de retención volumétrica (FVR).

### Formulación de la bebida láctea

Se utilizó el concentrado de proteína obtenido durante el proceso de producción que presentó los mejores rendimientos para preparar las diferentes formulaciones de la bebida láctea. Para determinar las proporciones óptimas, se aplicó un diseño factorial  $3^2$ , en el cual se evaluó la cantidad de pulpa de mora en tres niveles de peso (30%, 35% y 40%) y la cantidad de retenido en tres niveles de peso (20%, 27.5% y 35%). La Tabla 2 muestra las formulaciones resultantes a partir de este diseño. Las 9 formulaciones obtenidas se completaron con agua purificada y sacarosa hasta alcanzar una concentración de 12°Brix. Además, se incorporaron preservantes como benzoato de sodio a 200 ppm y sorbato de potasio a 200 ppm, en cumplimiento con la norma INEN 2074.

La bebida láctea fue tratada mediante pasteurización a una temperatura de 72 °C durante 12 segundos. Para verificar la eficacia de este proceso, se eligió la *Salmonella* spp como microorganismo de referencia.

**Tabla 2.** Formulaciones de la bebida láctea con tres concentraciones de pulpa de mora y tres concentraciones de retenido.

| Formulaciones | Retenido (%) | Pulpa de mora (%) | H <sub>2</sub> O (%) |
|---------------|--------------|-------------------|----------------------|
| 1             | 20           | 40                | 40                   |
| 2             | 35           | 30                | 35                   |
| 3             | 35           | 35                | 30                   |
| 4             | 35           | 40                | 25                   |
| 5             | 20           | 30                | 50                   |
| 6             | 27,5         | 40                | 32,5                 |
| 7             | 20           | 35                | 45                   |
| 8             | 27,5         | 30                | 42,5                 |
| 9             | 27,5         | 35                | 37,5                 |

El proceso de selección de la formulación incluyó un análisis sensorial en el que se evaluaron diferentes atributos, como la apariencia, sabor a fruta, aroma a fruta, acidez y presencia de sabores extraños. Para llevar a cabo este análisis, se utilizó un diseño de bloques incompletos balanceados (BIB) que asegura la evaluación equitativa de todos los tratamientos (Melo, López y Melo, 2020).

Los panelistas semi-entrenados evaluaron la intensidad de cada atributo en cada formulación utilizando una escala continua de 10 cm de longitud. Posteriormente, se utilizó una ecuación de calidad para seleccionar la mejor formulación.

$$Z = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 - eX_5$$

### Donde:

a, b, c, d y e, son los valores de las medias obtenidas para cada formulación en cada atributo evaluado por los panelistas.

X1 = apariencia

- X2 = sabor a fruta
- X3 = aroma a fruta
- X4 = acidez
- X5 = sabores extraños

Se determinaron los valores de X1, X2, X3, X4 y X5 a través de la evaluación de un grupo de catadores, los cuales determinaron la importancia de cada uno de los atributos evaluados y su contribución a la calidad del producto final. Luego de seleccionar la mejor formulación, se procedió a la producción a escala piloto de 48 envases de bebida láctea. La mezcla se elaboró en una olla de acero inoxidable de doble camisa con un agitador mecánico de hélice y se utilizó un molino coloidal para homogeneizar el producto. A continuación, la bebida homogeneizada fue pasteurizada y envasada en botellas de vidrio esterilizadas de 250 ml en la unidad de envasado aséptico. Para evaluar su estabilidad, los productos envasados se almacenaron a tres diferentes temperaturas.

### Estudio de estabilidad de la bebida láctea

Con el objetivo de determinar el tiempo de conservación del producto, se llevaron a cabo pruebas de almacenamiento bajo tres condiciones de temperatura distintas ( $-17\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  para congelación,  $6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  para refrigeración y  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  para ambiente) durante un período de 21 días. Se tomaron muestras de la bebida almacenada bajo estas condiciones en los días 0, 7, 14 y 21, y se realizaron análisis microbiológicos, físico-químicos y sensoriales para evaluar su estabilidad. Los análisis microbiológicos y físico-químicos se llevaron a cabo de acuerdo con los métodos descritos en la sección 2.2.2.1. En el día 0 se verificó la ausencia de Salmonella, la cual se había utilizado como microorganismo de referencia en el proceso de pasteurización.

Se realizó un análisis sensorial para evaluar cambios en una bebida en términos de apariencia, aroma y olores extraños. Se utilizó un diseño experimental y un método de comparación de muestras almacenadas a diferentes temperaturas con una muestra patrón. Se formó un panel de evaluadores semi-entrenados para evaluar la diferencia entre las muestras y la referencia utilizando una escala continua de 10 cm de longitud. Se utilizó el software estadístico STATGRAPHICS para llevar a cabo un análisis de varianza con un nivel de confianza del 95 %, utilizando los datos obtenidos en el estudio.

## Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados que se presentan en la Tabla 3, se puede observar que los valores de pH y acidez titulable son característicos del suero dulce (Alayo Rojas, 2017). Sin embargo, el porcentaje de grasa no cumple con los estándares establecidos por la norma INEN 718:2011, lo cual podría deberse a la temperatura de batido utilizada en la línea de producción de mantequilla. Por otro lado, el contenido de proteína y cenizas, con valores de  $2,31 \pm 0,10\text{ g/100 g}$  y  $0,57 \pm 0,06\text{ g/100 g}$ , respectivamente, se encuentran dentro de los rangos permitidos por la norma INEN 718:2011 para el suero de mantequilla.

**Tabla 3.** Caracterización del suero de la mantequilla.

| Parámetro                   | Unidades                   | Cantidad <sup>1</sup> |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| <b>Componentes Próximos</b> |                            |                       |
| pH                          |                            | 6,40 ± 0,01           |
| Acidez titulable            | % (g ácido láctico/100 mL) | 0,147 ± 0,01          |
| Sólidos Solubles            | ° Brix                     | 7,00 ± 0,14           |
| Grasa                       | g/100 g                    | 2,05 ± 0,35           |
| Proteína                    | g/100 g                    | 2,31 ± 0,10           |
| Cenizas                     | g/100 g                    | 0,57 ± 0,06           |
| <b>Minerales</b>            |                            |                       |
| Calcio                      | mg/100 g                   | 71,70 ± 1,13          |
| Potasio                     | mg/100 g                   | 247,70 ± 0,35         |
| Fósforo                     | mg/100 g                   | 75,50 ± 4,95          |
| <b>Carbohidratos</b>        |                            |                       |
| Lactosa                     | g/100 g                    | 3,32 ± 0,16           |

<sup>1</sup> Media ± DE (n=3)

Según Maya (2020), la composición del suero es similar a la de la leche descremada. Los resultados del análisis de calcio, potasio y fósforo son consistentes con la composición de la leche descremada. Alayo Rojas (2017), informó que el contenido de lactosa en el suero de mantequilla dulce, en base seca, varía entre 48,7 % y 53,8 %. En este estudio, se obtuvo un valor de 34,84 % en base seca, utilizando el extracto seco del suero de mantequilla, el cual fue de 90,24 % para convertir de base húmeda a base seca. Según los resultados microbiológicos, el suero evaluado cumple con las especificaciones establecidas por la norma INEN 718:2011. Asimismo, el suero de mantequilla utilizado en esta investigación se encuentra dentro del rango de calidad considerado como bueno según la misma norma.

#### **Influencia del tamaño de poro de la membrana del equipo de MFT en la concentración de proteína.**

**Filtración y centrifugación:** Se realizó una filtración al suero de mantequilla con el fin de eliminar fragmentos de mantequilla y otras impurezas. Adicionalmente, se llevó a cabo un proceso de desnatado para reducir su contenido de grasa y evitar que el equipo de MFT se ensuciara durante su uso (Sinchiguano, 2021).

**Microfiltración tangencial:** La concentración de proteína y el Factor de Retención Volumétrica (FRV) obtenidos al final del proceso de concentración en el equipo de MFT se presentan en la Tabla 4. Esta información se obtuvo mediante el uso de dos tamaños de poro diferentes en la membrana utilizada (0,1 µm y 0,2 µm).

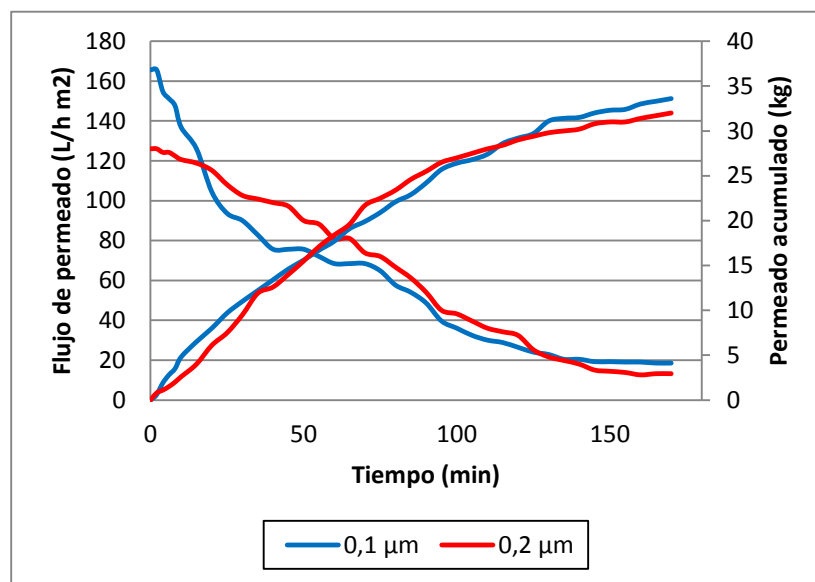
**Tabla 4.** Concentración de la proteína en el retenido y el FRV.

| Tamaño de poro de membrana (µm) | Concentrado de Proteína (g/100 g) | Factor de retención Volumétrico (FRV) |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 0,1                             | 15,82 ± 0,43                      | 7,37 ± 0,08                           |
| 0,2                             | 10,93 ± 0,32                      | 5,63 ± 0,13                           |

<sup>1</sup> Media ± DE (n=3)

A partir de los resultados presentados en la Tabla 4, se procedió a llevar a cabo análisis estadísticos de varianza, en los que se pudo constatar que la concentración de proteína del retenido y el factor de retención volumétrica (FRV) presentan una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ).

Se encontró que el uso de membranas de  $0,1 \mu\text{m}$  en el proceso de filtración tangencial con membranas (MFT) resultó en una mayor concentración de proteína en el retenido. Además, se concentró leche con diferentes concentraciones de grasa para usarla en la elaboración de queso. La Figura 1 exhibe las diversas tasas de flujo de permeado conseguidas en el proceso de filtración tangencial con membranas (MFT) utilizando dos tipos de membranas distintas.



**Figura 1.** Flujos del permeado durante el proceso de MFT con la membrana de  $0,1 \mu\text{m}$  y  $0,2 \mu\text{m}$  de tamaño de poro

La Figura 1 muestra que la membrana de  $0,1 \mu\text{m}$  en la filtración tangencial con membranas (MFT) tiene una tasa de flujo de permeado inicialmente superior a la de la membrana de  $0,2 \mu\text{m}$ . Sin embargo, después del minuto 15 de la operación, el flujo de permeado de la membrana de  $0,2 \mu\text{m}$  supera al de la membrana de  $0,1 \mu\text{m}$  debido a la obstrucción de los poros por macromoléculas. Al finalizar el proceso, se determinó que la membrana de  $0,1 \mu\text{m}$  permite obtener una tasa de permeado mayor en comparación con la membrana de  $0,2 \mu\text{m}$ , coincidiendo con su mayor tasa de flujo de permeado en el último período de la operación.

Durante el proceso de filtración tangencial con membranas (MFT), se obtuvieron dos productos: el retenido (de color blanco) y el permeado (de color verde claro), tal como en la Figura 2. El color de estos productos se debe a la presencia de caseína en dispersión coloidal, la cual dispersa la luz y confiere el color blanco a la leche (Alais, 2022). Dado el gran tamaño de las micelas de caseína, estas no pueden atravesar la membrana, quedando retenidas y siendo la causa de su color blanco. Se concluye que el suero de mantequilla está compuesto principalmente por caseína, según investigaciones previas Fernández et. Al., (2015), aunque también hay proteínas del lactosuero y proteínas de la membrana del glóbulo graso.



**Figura 2.** Suero de mantequilla, retenido y permeado obtenidos luego del proceso de MFT

A partir de los resultados obtenidos, se optó por seleccionar la membrana con un tamaño de poro de 0,1  $\mu\text{m}$ , ya que se observó que esta presentaba una mayor concentración de proteína en el retenido en comparación con las demás membranas utilizadas.

### Caracterización físico-química del permeado y retenido

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 5, se puede apreciar que el pH del permeado disminuye. Este fenómeno se debe a que parte del fosfato cálcico presente en la fase acuosa se une a la micela de caseína en forma de CCP (fosfato cálcico coloidal), lo que ocasiona una pérdida de fosfato en forma iónica y, como consecuencia, una reducción del pH (Alayo Rojas, 2017).

El hecho de que no haya grasa en el permeado indica que esta componente no logró atravesar la membrana y se quedó en el retenido, lo que significa que el coeficiente de retención para la grasa fue del 100%. Los resultados obtenidos coinciden con una investigación previa realizada por Arias y Espinel (2006), en la que utilizaron una membrana de 0,1  $\mu\text{m}$  en el equipo de MFT. Las micelas de caseína se mantienen en el retenido debido a su tamaño, mientras que las proteínas solubles pueden pasar a través de la membrana.

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron una concentración de proteína del 53,96 % (base seca) en el retenido, lo cual es consistente con los hallazgos de Sinchiguano et al. (2021), quienes reportaron una concentración del 54,12 % (base seca) de proteína al utilizar el proceso de MFT con membranas de 0,1  $\mu\text{m}$  para la concentración de suero de mantequilla.

**Tabla 5.** Composición físico-química de la materia prima, retenido y permeado obtenidos en el proceso de MFT.

|                      |          | Materia Prima         | Retenido              | Factor de concentración | Permeado              |
|----------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| Parámetro            | Unidades | Cantidad <sup>1</sup> | Cantidad <sup>1</sup> | Cantidad <sup>2</sup>   | Cantidad <sup>1</sup> |
| Componentes Próximos |          |                       |                       |                         |                       |
| pH                   |          | 6,30 ± 0,01           | 6,22 ± 0,03           |                         | 5,97 ± 0,11           |
| Sólidos Solubles     | °Brix    | 7,00 ± 0,14           | 29,50 ± 0,71          | 4,21                    | 4,65 ± 0,21           |
| Grasa                | g/100 g  | 2,05 ± 0,35           | 7,35 ± 0,07           | 7,35                    | 0                     |

|                      |          |               |                |      |                |
|----------------------|----------|---------------|----------------|------|----------------|
| Proteína             | g/100 g  | 2,31 ± 0,10   | 15,82 ± 0,43   | 6,9  | 0,47 ± 0,03    |
| Cenizas              | g/100 g  | 0,57 ± 0,06   | 1,42 ± 0,35    | 2,49 | 0,47 ± 0,04    |
| <b>Minerales</b>     |          |               |                |      |                |
| Calcio               | mg/100 g | 71,70 ± 1,13  | 195,90 ± 1,84  | 2,73 | 27,50 ± 2,90   |
| Potasio              | mg/100 g | 137,15 ± 4,03 | 145,35 ± 35,71 | 1,06 | 124,95 ± 17,04 |
| Fósforo              | mg/100 g | 75,50 ± 4,95  | 240,50 ± 24,75 | 3,19 | 34,50 ± 2,12   |
| <b>Carbohidratos</b> |          |               |                |      |                |
| Lactosa              | g/100 g  | 3,32 ± 0,16   | 2,17 ± 0,09    | 0,65 | 3,52 ± 0,52    |

<sup>1</sup> media ± DE (n=3), <sup>2</sup> Factor de concentración = concentración en el retenido / concentración en la materia prima

La elevación del contenido de cenizas en el retenido puede ser atribuida a la posible retención de sales que no lograron atravesar la membrana, esto se debe a su ubicación en el suero de mantequilla, según se explica a continuación. Las micelas de caseína están unidas por fosfato cálcico coloidal (CCP) y los enlaces esten entre los residuos OH de la serina y el ácido fosfórico. Esto puede explicar por qué el calcio y el fósforo quedan retenidos en la membrana. Estudios previos encontraron que cerca de un tercio del calcio y casi la mitad del fósforo están en la fase soluble (Sinchiguano, 2021). El calcio también se encuentra formando la estructura de la alfa-lacto albúmina. Además, el potasio se queda en el retenido porque el fosfato cálcico coloidal está compuesto por otros elementos como el potasio, el sodio y el magnesio (Maya, 2020).

### Caracterización microbiológica del permeado y retenido

La Tabla 6 presenta los resultados de los análisis microbiológicos realizados en el proceso de concentración del equipo de MFT, donde se observa que la membrana con un tamaño de 0,1 µm tiene una capacidad de retener microorganismos aerobios y coliformes, mientras que la cantidad de hongos y levaduras en el retenido y permeado son similares. Se sugiere que el tamaño de estos microorganismos podría ser la causa de este comportamiento. Estos resultados confirman que el proceso de MFT actúa como una pasteurización en frío, ya que el permeado presenta una cantidad reducida de microorganismos.

**Tabla 6.** Análisis microbiológico del retenido, permeado obtenidos en el proceso de MFT.

| Microorganismo               | Unidades | Materia prima         | Retenido              | Permeado              |
|------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                              |          | Cantidad <sup>1</sup> | Cantidad <sup>1</sup> | Cantidad <sup>1</sup> |
| Recuento Total de Aerobios   | UFC/mL   | 1,00 E+02             | 1,10 E+04             | < 10                  |
| Recuento Total de Coliformes | NMP      | < 0,3                 | < 3                   | < 0,3                 |
| Hongos                       | UFC/mL   | < 1E+01               | < 1E+01               | < 1E+01               |
| Levaduras                    | UFC/mL   | < 1E+01               | < 1E+01               | < 1E+01               |

<sup>1</sup> Media ± DE (n=2)

## Formulación de la bebida láctea

**Validación del proceso de Pasteurización:** El proceso de pasteurización al que se sometió la bebida láctea logró eliminar completamente el microorganismo de referencia seleccionado, *Salmonella* spp. Se registró una reducción significativa de la población del microorganismo en un índice de 992, lo que se confirmó mediante análisis microbiológicos posteriores que demostraron la ausencia de este microorganismo en el producto final. Estos resultados son una clara evidencia de la eficacia del proceso de pasteurización aplicado.

**Selección de la mejor formulación de la bebida:** La formulación número 1 mostró un buen desempeño en la ecuación de calidad, pero los análisis estadísticos de varianza indicaron que no había diferencia significativa entre la formulación número 1 y la formulación número 7. Por lo tanto, se optó por seleccionar la formulación número 7, ya que reduce los costos directos de producción al tener una menor cantidad de pulpa de fruta en su composición.

## Caracterización de la formulación seleccionada

La Tabla 7 muestra la descripción físico-química de la bebida láctea que obtuvo los mejores resultados en los análisis sensoriales (formulación 7). Esta formulación está compuesta por un 20 % de retenido y un 35 % de pulpa de mora en su mezcla. Una porción de 250 mL de la bebida láctea tiene un valor calórico de 855 kJ.

**Tabla 7.** Caracterización físico-química de la bebida láctea.

| Parámetro                   | Unidades | Cantidad <sup>1</sup> |
|-----------------------------|----------|-----------------------|
| <b>Componentes Próximos</b> |          |                       |
| pH                          |          | 4,27                  |
| Sólidos Solubles            | °Brix    | 12                    |
| Proteína                    | g/100 g  | 5,06 ± 0,41           |
| Cenizas                     | g/100 g  | 0,61 ± 0,08           |
| Grasa                       | g/100 g  | 1,47 ± 0,07           |
| <b>Minerales</b>            |          |                       |
| Calcio                      | mg/100 g | 58,80 ± 17,43         |
| Potasio                     | mg/100 g | 83,70 ± 21,67         |
| Fósforo                     | mg/100 g | 80,00 ± 5,11          |

<sup>1</sup> Media ± DE (n=3)

## Estudio de estabilidad de la bebida láctea

**Análisis microbiológicos:** La bebida láctea cumple con los requisitos establecidos por la norma INEN 2564:2011 en cuanto a la información microbiológica después de 21 días de almacenamiento en tres diferentes condiciones de temperatura.

**Análisis físico-químicos:** El tiempo de almacenamiento no tuvo un efecto significativo en las propiedades físico-químicas de la bebida bajo las condiciones de refrigeración y congelación, pero sí tuvo un efecto significativo bajo las condiciones ambientales.

**Análisis sensoriales:** El tiempo de almacenamiento no afectó estadísticamente las características organolépticas de la bebida bajo las condiciones de refrigeración o congelación, pero se observó una influencia significativa bajo las condiciones ambientales.

### Determinación de la vida útil de la bebida láctea

La vida útil de la bebida se estableció por la variación de tres puntos en la puntuación de apariencia y aroma a frutas, y de un punto en el atributo de olores extraños, en comparación con la muestra de referencia almacenada a -17 °C. El atributo de aroma a frutas se consideró el primer en disminuir su intensidad, y la duración de la vida útil a 8°C se fijó en 66 días, ya que los otros atributos tardan más en disminuir su intensidad.

### Conclusiones

Los exámenes microbiológicos realizados al suero de mantequilla utilizado muestran que sus resultados están dentro de los valores aceptables para considerarlo como un producto de buena calidad, según lo establecido en la normativa INEN 718:2011.

Durante el proceso de MFT, se pudo observar que el tamaño de poro de la membrana afectó significativamente la concentración de proteína en el retenido y el factor de retención volumétrica (FRV). Los resultados indican que se obtuvieron los mejores rendimientos con el uso de la membrana de 0,1  $\mu$ m, alcanzando una concentración de proteína en el retenido de  $15,82 \pm 0,43$  g/100 g y en el permeado de  $0,47 \pm 0,03$  g/100 g.

El retenido presenta un tono blanco debido a la presencia de caseína. Es posible que también contenga proteínas de la membrana del glóbulo graso, las cuales tienen un peso molecular mayor que la caseína y no pueden atravesar la membrana. La presencia de  $\beta$ -lactoglobulina en el retenido puede ser inferida por los enlaces cisteínicos que se forman entre la micela de caseína y las proteínas del suero. Según la norma INEN 718:2011, se considera que el suero de mantequilla utilizado en el proceso cumple con los estándares de buena calidad.

El tratamiento de calor aplicado a la bebida láctea ha sido efectivo para eliminar el microorganismo de referencia salmonella spp.

La combinación de ingredientes compuesta por un 20% de retenido y un 35% de pulpa de mora logró los resultados más destacados en cuanto a las características sensoriales del producto. La concentración de proteína en el producto final es de  $5,06 \pm 0,11$  g/100 g.

Durante el periodo de almacenamiento, se observó que la bebida láctea no presentó crecimiento microbiológico. Según los resultados del análisis de estabilidad, se determinó que la bebida tiene una duración de 66 días si se mantiene a una temperatura de 8 °C.

## Referencias

- Alais, C. (2022). Ciencia de la leche. Reverté.
- Alayo Rojas, A. (2017). Determinación de las características fisicoquímicas del suero obtenido de la fabricación de mantequilla de leche de vaca.
- AOAC. (2007). Official methods of analysis of AOAC International. (18va. Ed.). Maryland, USA.
- AOAC. (2007). Official Methods of Analysis of AOAC International. (18va. ed.). Maryland, USA.
- Cortez, M. P., Gallardo, C. G., Brito, G. M., Sinchiguano, E. B., & Feijo, M. C. (2021). Ultrafiltración tangencial de lactosuero de queso fresco pasteurizado. Journal of Science and Research, 6(2).
- Fernández Fernández, E., Martínez Hernández, J. A., Martínez Suárez, V., Moreno Villares, J. M., Collado Yurrita, L. R., Hernández Cabria, M., & Morán Rey, F. J. (2015). Documento de Consenso: importancia nutricional y metabólica de la leche. Nutrición hospitalaria, 31(1), 92-101.
- González Rodas, G. S. (2022). Obtención de proteína unicelular de *Kluyveromyces marxianus* con el aprovechamiento de residuos agroindustriales (suero de mantequilla) y sus aplicaciones (Bachelor's thesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo).
- INEC (2008). II Censo Nacional Económico, encuesta de maufacturas y minería. Quito, Ecuador
- INEN (2011). Norma técnica ecuatoriana 718:2011, suero de mantequilla (buttermilk) requisitos, Quito, Ecuador
- Maya, C. F. H (2020). Caracterización de emulsiones O/W formuladas con mazada y aceites vegetales obtenidas por homogenización convencional a alta presión.
- Melo, O., López, L., & Melo, S. (2020). Diseño de experimentos: métodos y aplicaciones. Universidad Hispanoamericana.
- Riquelme Lagos, M. A. (2016). Estudio de la utilización del suero de mantequilla para la elaboración de yogurt.
- Salomé, J. I. M. (2021). Modificación ultrasónica de suero de mantequilla para la producción de un ingrediente de alta funcionalidad.
- Sinchiguano, E. B., Feijo, M. C., Cortez, M. P., Gallardo, C. E. G., & Brito, G. M. (2021). Ultrafiltración tangencial de lactosuero de queso fresco pasteurizado. Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación, 6(2), 10.
- Torrez Torrez, C. R., & Peñarrieta Loría, J. M. (2017). Recuperación del suero de mantequilla y obtención de la bebida láctea a base suero de mantequilla (Doctoral dissertation, Universidad Mayor de San Andres. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Carrera Ciencias Químicas).
- Velasco Churuchumbi, J. L. (2022). Efecto de la utilización del suero de mantequilla sobre la calidad del manjar de leche (Bachelor's thesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo).