

APLICACIÓN DEL MÉTODO ENZIMÁTICO PARA LA ELABORACIÓN DE UN CONCENTRADO PROTEICO NANOENCAPSULADO A TRAVÉS DEL SUERO DE MANTEQUILLA

APPLICATION OF THE ENZYMATIC METHOD FOR THE PRODUCTION OF A NANOENCAPSULATED PROTEIN CONCENTRATE USING BUTTERMILK

Autores: ¹Xavier Alexander Sánchez Parra, ²Fernando Xavier Buitrón Proaño, ³Evelyn Andrea Jácome Villacrés, ⁴Cristo Cristoffer Cadena Yanchaliquin y ⁵María Emilia Cuenca Jácome.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-5956-900X>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2967-7974>

³ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8094-230X>

⁴ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-6037-9007>

⁵ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-4679-5004>

¹E-mail de contacto: ylaight@gmail.com

²E-mail de contacto: xavierproao@gmail.com

³E-mail de contacto: eveandreaa@hotmail.com

⁴E-mail de contacto: cadenacristoffer@hotmail.com

⁵E-mail de contacto: mariaja2737@gmail.com

Afiliación: ^{1*2*3*4*5*}Instituto Superior Tecnológico Ecuatoriano de Productividad, (Ecuador).

Artículo recibido: 20 de Julio del 2025

Artículo revisado: 22 de Julio del 2025

Artículo aprobado: 1 de Agosto del 2025

¹Ingeniero en Biotecnología graduado de la Universidad Politécnica Salesiana, (Ecuador).

²Ingeniero Agroindustrial graduado de la Escuela Politécnica Nacional, (Ecuador). Máster Universitario en Dirección de Operaciones y Calidad graduado en la Universidad Internacional de la Rioja, (España). Magíster en Gerencia Educativa graduado en la Universidad Metropolitana, (Ecuador).

³Ingeniera en Industrialización de Alimentos graduado de la Universidad Tecnológica Equinoccial, (Ecuador). Magíster en Procesamiento de Alimentos graduada de la Universidad Agraria del Ecuador, (Ecuador). Magíster en Gestión Educativa graduada en la Universidad Iberoamericana del Ecuador, (Ecuador).

⁴Tecnólogo Superior en Procesamiento de Alimentos graduado en el Instituto Superior Tecnológico Ecuatoriano de Productividad, (Ecuador).

⁵Ingeniera Biotecnóloga graduada en la Universidad Politécnica Salesiana, (Ecuador).

Resumen

Este estudio busca aprovechar el subproducto de la industria láctea, el suero de mantequilla, para obtener un concentrado proteico de alto valor mediante procesos enzimáticos y secado por aspersión, promoviendo la economía circular y la sostenibilidad ambiental. La investigación, de carácter cuantitativo y experimental, controló variables como el método de obtención de la masa proteica y el proceso de secado, para maximizar el rendimiento de proteínas. La materia prima, recolectada en una planta en Quito, fue analizada en cuanto a su composición físico-química y microbiológica, verificándose que cumple con estándares de calidad y seguridad. La extracción de la masa proteica se realizó usando un proceso enzimático, logrando

concentraciones de proteína entre 79 % y 83 %. Posteriormente, mediante secado por aspersión, se formuló un concentrado nanoencapsulado con un contenido proteico de 21,62 g/100 g, además de contener lactosa y grasa en niveles moderados. Se realizó análisis sensorial y fisicoquímico, confirmando que el producto tiene buenas características organolépticas y calidad microbiológica, cumpliendo con normas nacionales. Los resultados estadísticos demostraron que el método enzimático aumenta significativamente el porcentaje de proteína en comparación con la microfiltración. En conclusión, el proceso desarrollado fue efectivo, logrando un concentrado proteico de alta calidad, seguro y aceptable sensorialmente, contribuyendo a reducir residuos y promover la sostenibilidad en la industria láctea, con potencial para

aplicaciones en alimentación humana y piensos.

Palabras clave: Aplicación, Método enzimático, Elaboración, Concentrado proteico nanoencapsulado, Suero, Mantequilla.

Abstract

This study aims to utilize the byproduct of the dairy industry, buttermilk serum, to obtain a high-value protein concentrate through enzymatic processes and spray drying, promoting circular economy and environmental sustainability. The research, of a quantitative and experimental nature, controlled variables such as the method of obtaining the protein mass and the drying process to maximize protein yield. The raw material, collected from a plant in Quito, was analyzed for its physical-chemical and microbiological composition, verifying that it meets quality and safety standards. The extraction of the protein mass was carried out using an enzymatic process, achieving protein concentrations between 79% and 83%. Subsequently, through spray drying, a nanoencapsulated concentrate with a protein content of 21.62 g/100 g was formulated, also containing moderate levels of lactose and fat. Sensory and physicochemical analyses confirmed that the product has good organoleptic characteristics and microbiological quality, complying with national standards. The statistical results demonstrated that the enzymatic method significantly increases the protein percentage compared to microfiltration. In conclusion, the developed process was effective, producing a high-quality, safe, and sensorially acceptable protein concentrate, contributing to waste reduction and promoting sustainability in the dairy industry, with potential applications in human nutrition and animal feed.

Keywords: Application, Enzymatic method, Manufacturing, Nanoencapsulated protein concentrate, Serum, Buttermilk.

Sumário

Este estudo tem como objetivo aproveitar o subproduto da indústria leiteira, o soro de

manteiga, para obter um concentrado proteico de alto valor por meio de processos enzimáticos e secagem por atomização, promovendo a economia circular e a sustentabilidade ambiental. A pesquisa, de natureza quantitativa e experimental, controlou variáveis como o método de obtenção da massa proteica e o processo de secagem para maximizar o rendimento de proteínas. A matéria-prima, coletada de uma planta em Quito, foi analisada quanto à sua composição físico-química e microbiológica, verificando que atende aos padrões de qualidade e segurança. A extração da massa proteica foi realizada usando um processo enzimático, alcançando concentrações de proteína entre 79% e 83%. Posteriormente, por meio de secagem por atomização, foi formulado um concentrado nanoencapsulado com um teor de proteína de 21,62 g/100 g, além de conter níveis moderados de lactose e gordura. Análises sensoriais e físico-químicas confirmaram que o produto apresenta boas características organolépticas e qualidade microbiológica, atendendo às normas nacionais. Os resultados estatísticos demonstraram que o método enzimático aumenta significativamente o percentual de proteína em comparação com a microfiltração. Em conclusão, o processo desenvolvido foi eficaz, produzindo um concentrado proteico de alta qualidade, seguro e sensorialmente aceitável, contribuindo para a redução de resíduos e promovendo a sustentabilidade na indústria láctea, com potencial para aplicações na nutrição humana e na alimentação animal.

Palavras-chave: Aplicação, Método enzimático, Elaboração, Concentrado proteico nanoencapsulado, Soro, Manteiga.

Introducción

De acuerdo con el Codex Alimentarius, un producto lácteo se define como cualquier producto obtenido mediante la transformación de la leche, pudiendo incorporar aditivos alimentarios y otros ingredientes necesarios para su elaboración (FAO, 2017). La variedad de productos lácteos varía significativamente dependiendo de la región, las costumbres

alimentarias, las tecnologías de producción disponibles, las demandas del mercado, así como las circunstancias sociales y culturales tanto a nivel regional como internacional. El suero de mantequilla, también conocido como mazada, es un líquido de color blanco-amarillento, ligeramente menos espeso que la nata o crema de leche, con un contenido bajo en grasa. Es un subproducto generado en la producción de mantequilla a partir del batido de crema dulce o ácida, y puede ser consumido directamente o utilizado como ingrediente en diversas preparaciones. Sus componentes son similares a los de la leche descremada, variando en función de la acidez, la composición de la crema y las condiciones del proceso de batido (Bylund, 2003). Este subproducto es una fuente considerable de proteínas, que constituyen componentes esenciales para la salud humana. Las proteínas están conformadas por moléculas complejas formadas por unidades más pequeñas llamadas aminoácidos, organizados en cadenas polipeptídicas específicas. Una proteína típica puede contener entre 100 y 200 aminoácidos, aunque existen variantes que contienen más o menos (Bylund, 2003).

El presente estudio busca aprovechar un subproducto de la industria láctea, en particular el suero de mantequilla, la cual se genera en la elaboración de mantequilla. Además de su potencial reutilización, su aprovechamiento contribuye a reducir la contaminación ambiental, dado que su eliminación inadecuada puede ser altamente contaminante debido a su alta demanda bioquímica de oxígeno. En Ecuador, por ejemplo, no se comercializa el suero de mantequilla y, por lo general, se elimina como residuo industrial, situación que representa una problemática ambiental importante, considerando que la cantidad generada es comparable a la producción de mantequilla en el país, según datos del censo

económico de 2008 (INEC, 2008). Según la FAO, los países desarrollados presentan un mayor consumo per cápita de leche y productos lácteos, aunque la brecha con muchas naciones en vías de desarrollo se está reduciendo. La demanda en estos países en desarrollo continúa aumentando, impulsada por factores como el crecimiento poblacional, la urbanización y cambios en los patrones alimentarios, generando oportunidades para los productores rurales y periurbanos de mejorar sus condiciones económicas mediante el aumento de la producción láctea (FAO, 2017).

Históricamente, el suero de mantequilla ha sido considerado un residuo y un agente contaminante en la industria láctea, en parte por la falta de conocimiento de sus componentes. Sin embargo, este subproducto posee un alto potencial dado su bajo contenido en grasa y su riqueza en materia proteica, pudiendo ser utilizado en la elaboración de diversos subproductos y alimentos lácteos (Alayo, 2017). Desde una perspectiva técnica, la principal problemática radica en la gestión del residuo generado durante la transformación de crema en mantequilla, que requiere una considerable inversión en plantas de tratamiento y genera pérdidas en términos de proteínas y calcio. Por ello, se busca aprovechar la proteína presente en el suero de mantequilla para desarrollar un concentrado proteico con alto contenido de proteína, mediante procesos enzimáticos y secado por aspersión, en busca de una solución rentable que pueda implementarse a escala industrial. En Ecuador, el uso del suero lácteo líquido está prohibido desde el 25 de agosto de 2019, según el Código Penal Legal COIP. Por ello, el residuo lácteo producido en la elaboración de mantequilla es generalmente desechado o vendido a gestores ambientales a un costo muy bajo, aproximadamente 0,2 centavos por litro. Cada 50 ml de suero

contienen aproximadamente un 2,8 % de proteína, lo que evidencia su potencial valor nutrimental. En este marco, el presente proyecto se enfoca en transformar el suero de mantequilla en un concentrado proteico mediante procesos enzimáticos y técnicas de secado por aspersión, con la finalidad de aprovechar su alto contenido en proteínas de forma rentable y sostenible. Este enfoque permitirá no solo reducir la contaminación ambiental, al disminuir el vertimiento y eliminación indiscriminada del residuo, sino también generar un producto de alto valor agregado para la alimentación humana o la elaboración de piensos para animales. Además, la implementación de esta tecnología en la planta de Vita Alimentos CA favorece la economía circular, promoviendo una gestión responsable de residuos lácteos y facilitando el aprovechamiento de recursos en beneficio tanto de la industria como del medio ambiente. Por los motivos anteriormente expuestos, se plantea como interrogante: ¿Es factible diseñar un concentrado proteico de alto contenido en proteína, con menor impacto ambiental y menor contaminación, a partir del suero de mantequilla en la empresa Vita Alimentos? Finalmente, se establece como objetivo el desarrollar un concentrado proteico nanocapsulado a partir del suero de mantequilla con un alto porcentaje de proteínas, utilizando métodos enzimáticos dirigido a deportistas de alto rendimiento.

Materiales y Métodos

En este estudio se emplea una investigación de carácter cuantitativo, ya que el propósito principal es analizar y describir resultados mediante el uso de datos estadísticos. Además, se clasifica como una investigación experimental, dado que se manipulan variables que no han sido previamente comprobadas en el contexto del estudio. En este enfoque, el investigador controla el factor de interés y

determina, por ejemplo, qué muestras reciben la intervención específica, así como las condiciones bajo las cuales se realizan los procesos, como las cantidades, métodos y duración de los experimentos. También es una investigación exploratoria e interpretativa, puesto que se observan fenómenos específicos y se recopila información relevante para comprender y explicar los fenómenos físicos observados a lo largo del desarrollo del trabajo.

El artículo posee una metodología cuantitativa, centrada en identificar las mejores condiciones de operación que permitan maximizar el rendimiento de la proteína extraída del suero de mantequilla, utilizando datos estadísticos para describir y explicar los fenómenos observados. La obtención del suero de mantequilla se realizará en una empresa ubicada en la ciudad de Quito, en un proceso que fomenta la economía circular. Para ello, se recolecta el suero en tanques de plástico previamente esterilizados y se traslada al laboratorio de la misma compañía, donde se realizarán los análisis correspondientes, almacenándose en refrigeración hasta su utilización. La extracción de la masa proteica se lleva a cabo mediante un proceso enzimático que consiste en la adición de una enzima conocida como fermento láctico. Este método se basa en la formación de una cuajada, la cual es batida y calentada a temperaturas elevadas, aproximadamente a 80 °C, para favorecer la sinéresis. Luego, la cuajada se separa mediante centrifugación, seguida de un proceso de lavado y prensado. El producto obtenido mediante esta técnica presenta un contenido de proteína bruta en el rango del 79 % al 83 %, principalmente en forma de paracaseinato, además de contener calcio y fosfato de calcio, que son insolubles en agua, con un contenido de cenizas de aproximadamente 7 a 8 % (Walstra et al., 2001).

El proceso de secado por aspersión se utiliza para producir el concentrado proteico nanoencapsulado. Este método consiste en transformar un fluido, como una solución o dispersión, en un polvo mediante atomización en una cámara de secado. Con este proceso, se busca reducir la humedad del producto, evitando el crecimiento microbiano y deteniendo reacciones químicas no deseadas, gracias a la rápida evaporación del agua. Durante el secado, el producto se expone al aire caliente en gotas diminutas, que pierden humedad y forman partículas sólidas. Estas partículas son arrastradas por el gas hacia separadores de ciclón, donde se recolectan, preservando así las propiedades de la matriz proteica en forma de polvo o pequeñas esferas (Rodríguez, 2004).

La elaboración del concentrado proteico nanoencapsulado implica varias etapas preliminares, comenzando con la recepción del suero, su pasteurización, formulación, secado, envasado y almacenamiento. La recopilación de datos iniciales sobre el porcentaje de proteína en el suero de mantequilla se realiza para establecer una referencia, comparándolo con el contenido de proteína en la leche descremada, de modo que se pueda verificar si la materia prima cuenta con una cantidad significativa de proteína para su aprovechamiento. Se presentan los datos en una tabla donde se comparan los porcentajes de proteína en el suero de mantequilla y en la leche descremada, con resultados en distintas repeticiones. Los valores muestran una media de aproximadamente 21.38 % de proteína en el método enzimático – secado por aspersión, en comparación con los valores de referencia en la leche descremada que están en torno a 3.17 %. El proceso completo de desarrollo involucra varias etapas esenciales, desde la recepción y pasteurización del suero, hasta la formulación, secado, envasado y

almacenamiento del producto final. Las variables que intervienen en este estudio se dividen en variables independientes y dependientes. La variable independiente, también conocida como factor de estudio, corresponde al método empleado para obtener el concentrado proteico, en este caso, el método enzimático utilizando secado por aspersión. La variable dependiente, en cambio, es el porcentaje de proteína obtenido, que se considera como la respuesta del proceso.

Tabla 1. Valores del porcentaje de proteína

		% de rendimiento de la Proteína					
Factor		n1	n2	n3	n4	Suma	n Media
Método para obtener la proteína	Enzimático - Secado por Aspersión (1)	21,62	20,92	21,50	21,48	85,52	4 21,38
Sig.		0,313					
Gl.		4 – 1 = 3					

Fuente: elaboración propia

El valor de t experimental es de 37,06, que está muy por encima del valor del estadístico tabulado $t(\alpha) = + 2,353$, es decir cae en la zona de rechazo, por tal razón se rechaza la hipótesis H_0 , y se acepta la hipótesis alternativa $H_1: \bar{x} > \mu$, es decir el porcentaje de proteína obtenido por el método enzimático – secado por aspersión es mayor al porcentaje de proteína obtenido por el método Microfiltración Tangencial.

Resultados y Discusión

Estabilidad del Concentrado Proteico en Polvo

El producto final obtenido presenta un contenido de proteína del 21,62 %, y se almacena en condiciones ambientales, específicamente a una temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un lugar seco y bien ventilado. Se utiliza material con sellado hermético para conservar la integridad del producto y prevenir contaminaciones. Para evaluar la estabilidad del concentrado proteico, se seleccionaron muestras de diferentes lotes y se sometieron a

análisis microbiológicos, físico-químicos y sensoriales. Estos estudios permitirán identificar los posibles cambios en las propiedades del producto durante el período de almacenamiento y determinar su vida útil, asegurando que mantenga sus características de calidad y seguridad hasta su consumo o comercialización.

Análisis sensorial del producto terminado

Tabla 2. Datos de la prueba escalar de control

Análisis Organoléptico				
Código	1	2	3	4
Jueces	Calificación			
1	5	5	3	5
2	4	5	4	5
3	4	5	3	5
4	3	5	3	4
5	5	5	4	5
6	5	5	2	5
7	4	4	2	5
8	5	5	3	3
9	4	5	3	5
10	5	4	4	5
11	4	5	5	5
12	4	5	2	5
13	5	3	3	5
14	4	4	4	4
15	5	5	2	5
16	4	4	5	5
17	5	5	4	4
18	4	5	2	5
19	5	4	3	5
20	4	5	3	5
21	4	4	4	4
22	5	5	4	5
23	5	4	4	5
24	4	5	5	5
25	3	5	2	5
26	4	5	2	5
27	5	5	3	5
28	5	4	2	3
29	5	5	4	5
30	5	5	4	5
Total	134	142	101	146
Promedio	4,4	4,6	3,3	4,7

Fuente: elaboración propia

Según los datos recopilados y agrupados por grado de satisfacción, se puede realizar un análisis de la percepción de los atributos sensoriales del producto. El código 1, correspondiente al aspecto de olor, muestra que 15 personas consideraron que tiene una calidad

excelente, mientras que 13 lo calificaron como bueno y 2 como regular. En el caso del color, representado en el código 2, la mayoría, 21 personas, lo calificaron como excelente, 8 como bueno y solo una como regular, indicando una alta aceptación visual del producto. Respecto a sabor, etiquetado como código 3, los resultados son más variados: tres personas consideran que es excelente, 10 lo ven como bueno, 9 como regular y 8 como malo, lo que refleja cierta insatisfacción en cuanto a la percepción gustativa. Finalmente, en la textura, representada por el código 4, 24 personas calificaron que es excelente, 4 como buena y solo 2 como regular, evidenciando una preferencia marcada por la textura del producto en general. Estos datos, resumidos en la Tabla 4.2, permiten concluir que, en términos generales, los atributos sensoriales de olor, color y textura son altamente valorados por los evaluadores, mientras que el sabor presenta una percepción más dispersa, con una proporción significativa de calificaciones regulares y malas.

Tabla 3. Grados de satisfacción

Grado de satisfacción	Código 1	Código 2	Código 3	Código 4	Total
Muy malo	0	0	0	0	0
Malo	0	0	8	0	8
Regular	2	1	9	2	14
Bueno	13	8	10	4	35
Excelente	15	21	3	24	63
Total	30	30	30	30	120

Fuente: elaboración propia



Figura 1. Grados de Satisfacción: Olor

El código 1, que corresponde al grado de satisfacción referido al olor del producto, presenta los siguientes valores: 15 personas, lo que representa el 50 % del total de evaluadores, consideran que el olor del producto es excelente. Además, 13 personas, equivalentes al 43 %, califican el olor como bueno. Solo 2 personas, que corresponden al 7 %, lo perciben como regular, mientras que ningún evaluador indicó que el olor del producto es malo o muy malo, representando el 0 % en ambos casos. Estos resultados reflejan que la mayoría de los evaluadores tienen una percepción muy positiva sobre el aroma del producto.



Figura 2. Grados de Satisfacción: Color

El código 2, que corresponde al grado de satisfacción respecto al color del producto, muestra que 21 personas, lo que representa el 70 % del total, consideran que el color es excelente. Además, 8 evaluadores, equivalentes al 27 %, califican el color como bueno. Solo una persona, un 3 %, lo percibe como regular, y ninguna evaluadora indicó que el color del producto sea malo o muy malo, manteniendo un 0 % en ambos casos. Estos datos indican que la mayor parte de los evaluadores valoran positivamente el aspecto visual del producto, considerándolo en general de alta calidad en cuanto a color.



Figura 3. Grados de Satisfacción: Sabor

El código 3, que refleja el grado de satisfacción respecto al sabor del producto, presenta los siguientes valores: tres personas, equivalentes al 10 %, consideran que el sabor es excelente. Diez evaluadores, representando el 33 %, califican el sabor como bueno. Nueve personas, aproximadamente el 30 %, lo perciben como regular. Ocho evaluadores, que corresponden al 27 %, consideran que el sabor es malo. Ninguna persona, con un 0 %, indicó que el sabor del producto sea muy malo. Los resultados anteriormente expuestos muestran una percepción variada respecto al sabor, predominando las valoraciones de regular y malo, aunque aún existe una minoría que lo califica como excelente o bueno.



Figura 4. Grados de Satisfacción: Textura

La figura 4 que corresponde al grado de satisfacción respecto a la textura del producto, muestra que 24 personas, lo que representa el 80 %, consideran que la textura es excelente.

Además, cuatro evaluadores, equivalentes al 13 %, califican la textura como buena. Solo dos personas, es decir; alrededor del 7 %, perciben la textura como regular. Ningún evaluador, con un 0 %, indicó que la textura del producto sea mala ni muy mala. Los resultados anteriormente expuestos resaltan que la mayoría de los evaluadores perciben la textura como excelente, destacando la buena aceptación física del producto en ese aspecto.

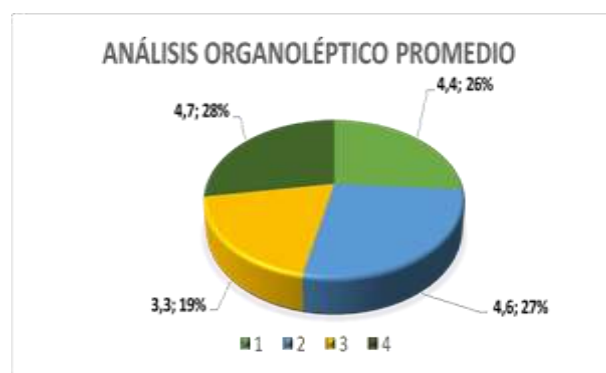


Figura 6. Análisis organoléptico promedio

Con base en los datos recopilados de los jueces, se calculó la media de las calificaciones en cada aspecto sensorial, arrojando los siguientes resultados: para el código 1, correspondiente al olor, la media fue 4,4, lo que equivale a un 26 % de aceptabilidad; para el código 2, relativo al color, la media fue 4,6, representando un 27 % de aceptabilidad; en el caso del sabor, bajo el código 3, la media fue 3,3, lo cual corresponde a un 19 % de aceptabilidad; y finalmente, para la textura, con código 4, la media fue 4,7, equivalente a un 28 % de aceptabilidad. Estos valores reflejan que la percepción general más favorable del producto se encuentra en la textura y el color, mientras que el sabor presenta una menor aceptación entre los evaluadores.

Resultados del análisis físico-químico y microbiológico del Suero de Mantequilla, Masa Proteica y Concentrado Proteico

La primera etapa de esta investigación consistió en la caracterización físico-química y

microbiológica de la materia prima. En particular, se realizó un análisis detallado del suero de mantequilla, de la masa proteica y del concentrado proteico, cuyos resultados se presentan en sus respectivos apartados. En la Tabla se muestran los datos obtenidos sobre la composición físico-química del suero de mantequilla, permitiendo evaluar sus características principales. Además, en la Tabla 2.7 se reflejan los resultados del análisis de la composición físico-química del suero de mantequilla de acuerdo con las especificaciones establecidas en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 718 (2011), que define los requisitos generales para el suero de mantequilla, asegurando que los valores cumplen con los estándares de calidad y seguridad establecidos para este producto.

Tabla 5. Caracterización físico-química del suero de mantequilla.

Parámetro	Unidades	Cantidad ¹
Componentes Próximos		
pH		6,67 ± 0,01
Acides titulable	% (g ácido láctico/100 mL)	0,12 ± 0,01
Grasa	g/100g	0,80 ± 0,35
Sólidos totales	g/100g	8,87 ± 0,25
Proteína	g/100g	3,07 ± 0,10
Carbohidratos		
Lactosa	g/100g	4,28 ± 0,15

Fuente: elaboración propia

Los valores indican que el suero de mantequilla tiene un pH de 6,67, ligeramente ácido, lo cual es típico en productos lácteos en su estado natural. La acidez titulable de 0,12 % sugiere un nivel moderado de fermentación láctica. La grasa total es baja, con solo 0,80 g por 100 g, lo que es coherente con la naturaleza del suero como residuo lácteo con bajo contenido graso. Los sólidos totales (8,87 g/100 g) y la proteína (3,07 g/100 g) indican que tiene un contenido moderado de componentes solubles y proteínas, que puede ser aprovechado en procesos de elaboración de concentrados proteicos. Además, presenta lactosa en 4,28 g/100 g, lo cual es relevante para determinar su potencial

uso en productos lácteos y en tecnologías de secado.

Tabla 5. Análisis microbiológico del suero de mantequilla

Microorganismo	Unidades	Cantidad ¹
Recuento Total de Aerobios mesófilos	UFC/mL	9
Recuento Total de Coliformes	UFC/ml	3
<i>E. coli</i>	UFC/mL	0
Mohos	UFC/mL	0
Levaduras	UFC/mL	0

Fuente: elaboración propia

El recuento total de aerobios mesófilos es de 9 UFC/mL, lo cual puede interpretarse como un control adecuado, considerando que valores bajos en UFC indican buena calidad microbiológica. La presencia de coliformes es de 3 UFC/mL, en niveles mínimos, y no se detectan *Escherichia coli*, mohos ni levaduras, lo que indica que el suero tiene buena higiene y puede considerarse seguro microbiológicamente para su uso en procesos posteriores. Esto es importante, ya que garantiza que el producto no representa un riesgo microbiológico cuando se emplea para obtener biomasa proteica. Finalmente, la calidad de la biomasa (masa proteica) producida fue evaluada a través de un análisis proximal por triplicado, mismo que incluye los análisis de humedad, solidos no grasos, puntos de congelación, solidos totales, porcentaje de proteína, grasa y lactosa. En la se representan los resultados de la composición físico-química de la masa proteica.

Tabla 6. Caracterización físico-química de la masa proteica

Parámetro	Unidades	Cantidad ¹
Componentes Próximos		
pH		6,70 ± 0,01
Acides titulable	% (g ácido láctico/100 mL)	
Grasa	g/100g	3,41 ± 0,35
Solidos solubles	g/100g	14,73 ± 0,25
Proteína	g/100g	7,01 ± 0,10
Carbohidratos		
Lactosa	g/100g	4,29 ± 0,15

Fuente: elaboración propia

El pH de la masa proteica se sitúa en 6,70, ligeramente más alto que el del suero inicial, lo que indica estabilización en las propiedades químicas tras el proceso de producción. La grasa aumenta a 3,41 g/100 g, posiblemente debido a la concentración durante el proceso de obtención, y los sólidos solubles alcanzan 14,73 g/100 g, reflejando un incremento en la concentración de componentes. La proteína se sitúa en 7,01 g/100 g, casi el doble que en el suero, evidenciando un buen rendimiento en la recuperación final de proteínas y mostrando que el proceso enzimático y de concentración fue efectivo. La lactosa sigue presente en 4,29 g/100 g, lo que tiene implicaciones para el sabor y la utilización del producto final.

Tabla 7. Análisis microbiológico de la masa proteica

Microorganismo	Unidades	Cantidad ¹
Recuento Total de Aerobios mesófilos	UFC/mL	<10
Recuento Total de Coliformes	UFC/ml	<10
<i>E. coli</i>	UFC/mL	0
Mohos	UFC/mL	0
Levaduras	UFC/mL	0

Fuente: elaboración propia

Los recuentos microbiológicos son notablemente bajos, con valores inferiores a 10 UFC/mL en aerobios mesófilos y coliformes, y sin detección de *E. coli*, mohos ni levaduras. Esto indica que el proceso de fabricación de la masa proteica fue microbiológicamente controlado, garantizando un producto seguro y de alta calidad para su posible uso en alimentos o suplementos.

Tabla 8. Caracterización físico-química del concentrado proteico nanoencapsulado

Parámetro	Unidades	Cantidad ¹
Componentes Próximos		
pH		6,02 ± 0,01
Acides titulable	% (ácido láctico/100 mL)	
Grasa	g/100g	3,58 ± 0,35
Solidos solubles	g/100g	97,80 ± 0,25
Proteína	g/100g	21,62 ± 0,10
Carbohidratos		
Lactosa	g/100g	10,87 ± 0,15

Fuente: elaboración propia

El concentrado presenta un pH de 6,02, bastante cercano a la neutralidad, con un aumento en los sólidos solubles a 97,80 g/100 g, reflejando un alto contenido de sólidos necesarios para un producto en polvo. La proteína alcanza 21,62 g/100 g, lo cual es un indicador clave del éxito en la concentración proteica. La lactosa en el concentrado también aumenta a 10,87 g/100 g, lo que puede influir en el sabor y en la compatibilidad con ciertos consumos, especialmente en personas intolerantes a la lactosa. La grasa se mantiene en niveles moderados en 3,58 g/100 g, contribuyendo a la estructura del producto final.

Tabla 9. *Análisis microbiológico del concentrado proteico*

<i>Microorganismo</i>	<i>Unidades</i>	<i>Cantidad¹</i>
<i>Recuento Total de Aerobios mesófilos</i>	<i>UFC/mL</i>	<i><10</i>
<i>Recuento Total de Coliformes</i>	<i>UFC/ml</i>	<i><10</i>
<i>E. coli</i>	<i>UFC/mL</i>	<i>0</i>
<i>Mohos</i>	<i>UFC/mL</i>	<i>0</i>
<i>Levaduras</i>	<i>UFC/mL</i>	<i>0</i>

Fuente: elaboración propia

El concentrado presenta un pH de 6,02, bastante cercano a la neutralidad, con un aumento en los sólidos solubles a 97,80 g/100 g, reflejando un alto contenido de sólidos necesarios para un producto en polvo. La proteína alcanza 21,62 g/100 g, lo cual es un indicador clave del éxito en la concentración proteica. La lactosa en el concentrado también aumenta a 10,87 g/100 g, lo que puede influir en el sabor y en la compatibilidad con ciertos consumos, especialmente en personas intolerantes a la lactosa. La grasa se mantiene en niveles moderados en 3,58 g/100 g, contribuyendo a la estructura del producto final.

Conclusiones

La elaboración del concentrado proteico se llevó a cabo mediante varias pruebas piloto a lo largo de dos años, logrando obtener un porcentaje significativo de proteínas en el producto final. Uno de los puntos críticos de

control en el proceso fue la adición de la enzima, que resultó fundamental para la obtención del concentrado proteico. Actualmente, los residuos generados durante la producción de suero de mantequilla son descartados y posteriormente enviados a plantas de tratamiento, lo cual implica una inversión considerable en insumos y recursos para la gestión de estos residuos. El método enzimático empleado para la obtención de la masa proteica tuvo una influencia estadísticamente significativa en la concentración final de proteína. Por otro lado, en el proceso de secado por aspersión, la adición de maltodextrina funciona como un ingrediente clave, actuando como agente encapsulante. Este proceso ofrece múltiples beneficios, ya que aumenta la vida útil del producto, elimina la necesidad de cadena de frío y reduce los costos asociados a almacenamiento y espacio físico. Además, la maltodextrina protege el producto frente a la luz y la humedad, sin que en su estructura se produzcan cambios físico-químicos significativos, lo que contribuye a mantener la calidad del concentrado.

Para evaluar la aceptación del producto final, se realizó un análisis organoléptico por parte de un panel de 30 jueces semi-entrenados, quienes valoraron cuatro aspectos diferentes: olor, color, sabor y textura. Los resultados arrojaron calificaciones medias de 4,4 en olor, 4,6 en color, 3,3 en sabor y 4,7 en textura, en una escala que, al traducirse en porcentajes de aceptabilidad, corresponden a 26 %, 27 %, 19 % y 28 %, respectivamente. Se observa que los aspectos de color, olor y textura alcanzan niveles de aceptación elevados, mientras que el sabor presenta un porcentaje menor, lo cual se atribuye a que el producto, por su baja grasa y lactosa, tiene un sabor desabrido, típico de los lácteos con estas características. Sin embargo, durante la preparación de una bebida para

deportistas basada en el concentrado proteico nanoencapsulado, se incorporan saborizantes que logran acompañar y mejorar dicho sabor, logrando una experiencia más agradable para el consumidor. Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados en el producto terminado, comparados con los parámetros establecidos en la Norma INEN 718:2011, demostraron que los valores cumplen con los requisitos reglamentarios, incluso dentro del rango aceptable. Específicamente, el concentrado presenta una concentración de proteína de 21,62 g/100 g, según los análisis realizados en el laboratorio. Finalmente, mediante el análisis estadístico con la prueba t de Student, se confirmó que la media experimental del porcentaje de proteína era mayor que el valor de referencia, aceptando así la hipótesis alternativa. Esto indica que el método enzimático y el secado por aspersión lograron concentrar la proteína en niveles superiores a los obtenidos mediante la microfiltración tangencial.

Referencias Bibliográficas

- Bylund, G. (2003). Manual de Industrias Lácteas. <https://es.scribd.com/document/357865019/Manual-de-Industrias-Lacteas-pdf>
- Carlosama, P. (2009). Diseño del plan y documentación para la implementación de Buenas Prácticas de Manufactura para la elaboración de panela granulada para las unidades productivas paneleras de la COPROPAF de pacto
- Fennema, O. (2010). Química de la leche. En Química de alimentos
- INEC (2008). II Censo Nacional Económico, encuesta de maufacturas y minería. Quito, Ecuador
- INEN. (2011). Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 718:2011. Suero de mantequilla (buttermilk) requisitos. (2da. ed.). Quito, Ecuador.
- Norma Técnica Ecuatoriana. (2012). Aditivos Alimentarios Permitidos Para Consumo Humano. Listas Positivas. Requisitos. (NTE INEN 2074). <https://ia802904.us.archive.org/28/items/ec.nte.2074.2012/ec.nte.2074.2012.pdf>
- Prodel, S.A. (2022). Operaciones unitarias. <https://www.prodel.es/subareas/operaciones-unitarias/production-products/products/es/>
- Rodríguez, M., et al. (2004). Microencapsulation by spray drying of multiple emulsions containing carotenoids. *Journal of Food Science-Chicago* 69: e351-e359.
- Sodini, I., Morin, P., Olabi, A., & Jiménez-Flores, R. (2006). Compositional and functional properties of buttermilk: A comparison between sweet, sour, and whey buttermilk. *Journal of Dairy Science*, 89(2), 525–536. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72115-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72115-4)
- Swaigood, H. (2003). Protein composition of milk, structure and chemical composition. *Springer Science(3ra)*, 140 - 225.
- Torrez, C. (2017). *Recuperación del suero de mantequilla y obtención de la bebida láctea a base suero de mantequilla*. Universidad Mayor de San Andres. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/18219>
- Vasón, E. (2017). Sorbato de Potasio. Aditivos Alimentarios, ND. <https://www.dyeq.co/fichas/sorbato-de-potasio/>
- Walstra, P., Geurts, A., Noomen, A., & Jellema, M. (2001). Preparaciones proteicas. En Ciencia de la leche y tecnología de los productos lácteos https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/Meodolog%C3%ADa%20L%C3%A1cteos%201_tcm30-122584.pdf



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Xavier Alexander Sánchez Parra, Fernando Xavier Buitrón Proaño, Evelyn Andrea Jácome Villacrés, Cristo Cristoffer Cadena Yanchaliquin y María Emilia Cuenca Jácome.

