

Propiedades funcionales, fisicoquímicas y sensoriales de una bebida láctea fermentada con adición de auyama (*Cucurbita maxima*) y almidón de maíz (*Zea mays*)

Functional, physicochemical, and sensory properties of a fermented dairy beverage added with pumpkin (*Cucurbita maxima*) and corn starch (*Zea mays*)

Maria Camila Rodriguez Lora ^{1,2}, José Uriel Sepúlveda Valencia   ^{1,3}, Carlos Julio Márquez Cardozo   ^{1,4}.

¹Universidad Nacional de Colombia. Colombia. ²  maria.rodriguez@unal.edu.co; ³  josepul@unal.edu.co; ⁴  cjmarque@unal.edu.co



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n1.114969>

2024 | 73-1 p 7-15 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-06-11 Acep.: 2024-11-20

Resumen

Las bebidas lácteas fermentadas (BLF) han dado respuesta a la creciente demanda de productos que se caracterizan por su valor funcional, agradable sabor y beneficios para la salud del consumidor. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la concentración de la harina de semilla de auyama (HSA, 1.5; 2.0 y 2.5 %), pulpa de auyama (PA, entre 6.0 y 8.0 %) y almidón modificado de maíz (AMM, entre 0.4 y 0.7 %), sobre las propiedades funcionales, fisicoquímicas y sensoriales de una BLF a base de lactosuero dulce. Cada bebida se evaluó mediante pH, acidez, sólidos solubles totales (SST), coordenadas CIEL^{a*b*}, sinéresis, potencial zeta (ζ), viscosidad y atributos sensoriales. Los resultados mostraron que con la adición de 1.5 % de HSA en la BLF se obtuvo la mayor puntuación en sabor y aceptabilidad general por parte de los consumidores. El aumento de la concentración de PA provocó un efecto significativo en los valores de ζ y L*, reduciendo el umbral de aglomeración y favoreciendo la percepción del color amarillo de la BLF, asociada a la pigmentación de los carotenoides. La formulación óptima se obtuvo con una concentración de PA al 8.4 % y AMM al 0.3 %, resultando estable fisicoquímicamente y siendo el tratamiento más aceptable desde el punto de vista sensorial. El producto obtenido proporciona fibra y ácidos grasos esenciales que mejoran el perfil funcional del alimento y lo convierten en una alternativa tecnológica para agregar valor al lactosuero dulce, coproducto de la industria quesera.

Palabras clave: atributos sensoriales, harina de semilla de auyama, leche fermentada, pulpa de auyama, suero dulce.

Abstract

Fermented milk beverages (BLF) have responded to the growing demand for products that offer functional value, pleasant taste, and health benefits to the consumers. The objective of this research was to evaluate the effect of the concentration of pumpkin seed flour (HSA, 1.5, 2.0, and 2.5 %), pumpkin pulp (PA, between 6 and 8 %), and modified corn starch (AMM, between 0.4 and 0.7 %), on the functional, physicochemical, and sensory properties of a BLF based on sweet whey. The beverages were evaluated for pH, acidity, total soluble solids (TSS), CieL^{a*b*} coordinates, syneresis, zeta potential (ζ), viscosity, and sensory attributes. The results showed that the addition of 1.5 % HSA to BLF resulted in the highest score for taste and consumer acceptability. Increasing in the concentration of PA had a significant effect on the values of ζ and L*, reducing the agglomeration threshold and favoring the perception of the yellow color of the BLF, associated with carotenoid pigmentation. The optimal formulation was obtained with a concentration of 8.4 % PA and 0.3 % AMM, resulting in a physicochemically stable and the most acceptable treatment from a sensory point of view. The product obtained provides fiber and essential fatty acids that improve the functional profile of the food and make it a technological alternative to add value to sweet whey, a by-product of the cheese industry.

Keywords: fermented milk, pumpkin pulp, pumpkin seed flour, sensory attributes, sweet whey.

Introducción

A nivel mundial, la producción de bebidas lácteas fermentadas (BLF) ha registrado un notable crecimiento impulsado por la alta calidad de sus proteínas, la influencia positiva de los compuestos bioactivos, la simplicidad de su tecnología de producción y la creciente aceptación por parte de los consumidores (León-López et al., 2020). Esta tendencia también está respaldada por el aprovechamiento eficiente del suero dulce de leche, un coproducto de alto valor biológico, pero con un bajo valor comercial, cuyo desecho sin el tratamiento adecuado genera un impacto ambiental negativo (Gutiérrez-Alzate et al., 2023).

La formulación de la BLF requiere que la base láctea constituya el 51 % (p/p) y en ocasiones, el uso de suero de leche puede retardar la formación de gel en la fase de dispersión (Öztürk et al., 2018). Sin embargo, se ha observado que los almidones modificados actúan como estabilizantes o espesantes, promoviendo una estructura de gel más uniforme (red proteica), disminuyendo la sinéresis y mejorando la viscosidad, lo que favorece las propiedades sensoriales de la bebida (Imbachí-Narváez et al., 2019; Tsevdou et al., 2020; Wong et al., 2020).

Por otro lado, la incorporación de frutas a las leches fermentadas se ha posicionado como una estrategia prometedora para enriquecer matrices alimentarias con compuestos fitoquímicos, mejorando tanto su valor nutricional como sus propiedades funcionales (Bianchini et al., 2020). Dentro de esta perspectiva, la auyama (*Cucurbita maxima*), producida típicamente en Colombia, se destaca como un ingrediente de alto interés, ya que su composición nutricional incluye carbohidratos de bajo peso molecular y micronutrientes esenciales como hierro, zinc y potasio (Cardozo et al., 2021). Además, su pulpa amarilla contiene compuestos bioactivos como carotenoides, tocopheroles, y β-sitosterol, junto con vitaminas del complejo B, que la convierten en un ingrediente funcional versátil (Leichtweis et al., 2023). Las semillas de auyama también complementan este perfil nutricional al contener fibra (47-52 %), proteína (8-20 %) y lípidos (22-64 %), dependiendo de la variedad. Estos lípidos poseen una alta proporción de ácidos grasos esenciales como oleico, linoleico y linolénico, que confieren a las semillas propiedades funcionales relacionadas con la salud cardiovascular y la actividad antioxidante (Amin et al., 2019; Cuco et al., 2019; Prommaban et al., 2021).

En este contexto, la integración de almidón modificado de maíz, pulpa y harina de semilla de auyama en las BLF se perfila como una alternativa innovadora para satisfacer la creciente demanda de alimentos con propiedades funcionales, fisicoquímicas y sensoriales diferenciadas. Estudios previos han explorado la incorporación de pulpa de frutas en leches fermentadas, como guanábana,

anón, chirimoya, fresa y pitahaya, destacando su contribución de compuestos bioactivos y la mejora de atributos sensoriales como olor, color y sabor (Senadeera et al., 2018; Jaster et al., 2018; Díaz-Trujillo et al., 2023). También se han empleado harinas de olivillo, amaranto, papa y moringa como fuentes de proteína, fibra y ácidos grasos esenciales, lo que incrementa la estabilidad electrostática de la bebida y su valor funcional (Öztürk et al., 2018; Calvario-Palma et al., 2019; Sun et al., 2020; Saeed et al., 2021). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la adición de harina de semilla de auyama, pulpa de auyama y almidón modificado de maíz sobre las propiedades funcionales, fisicoquímicas y sensoriales de una bebida láctea fermentada tipo yogur a base de lactosuero.

Materiales y métodos

Las actividades de investigación se realizaron en los Laboratorios de Productos Lácteos y Frutas y Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, en el marco del proyecto titulado “Desarrollo de productos agroindustriales a partir de auyama (*Cucurbita maxima*) en miras a fortalecer la competitividad de la cadena”.

Materias primas

Las auyamas utilizadas en el estudio fueron cultivadas en el área rural del municipio de Dabeiba, Antioquia, Colombia, bajo condiciones edafológicas específicas. El suelo presentaba una textura franco-arcillosa, buen drenaje y un pH comprendido entre 5.5 y 6.5. El cultivo se desarrolló a una altitud promedio de 450 m s. n. m., con temperatura media de 26 ± 3 °C, una precipitación anual de $3.161 \text{ mm} \pm 170$ y humedad relativa de $82 \% \pm 7$. La leche entera y el lactosuero fueron suministrados por la empresa Auralac S.A.S., Colombia. El almidón modificado de maíz waxy fue provisto por Ingredion, Thermflo, Colombia, mientras que el citrato de sodio por Tecnas, Colombia. El cultivo iniciador para el proceso de fermentación, compuesto por bacterias acido-lácticas como *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus salivarius* subsp. *bulgaricus*, fue aportado por Vivolac, DRI-SET 432, Colombia. Todos los solventes y reactivos químicos utilizados en los análisis fueron de grado analítico. Además, se empleó el estándar de mezcla de metil ésteres de ácidos grasos FAME MIX Supelco 37, de Sigma-Aldrich, para los análisis del perfil lipídico.

Obtención de la pulpa de auyama (PA)

Las auyamas (*Cucurbita maxima*) fueron seleccionadas según los requisitos de calidad definidos en la Norma Técnica Colombiana - NTC 1291 (ICONTEC, 1977). El material vegetal fue acondicionado con 100 ppm de hipoclorito de sodio, pelado, troceado en forma de cubos de 10 ± 0.5 g y sometido a cocción en baño

termostático (Memmert, WNB 14) a 80 °C durante 10 minutos manejando una relación 1:2 (vegetal : agua). La muestra fue drenada y se homogenizó en licuadora (Oster®). La pulpa presentó concentración de sólidos solubles totales (SST) entre 7 y 8 °Brix. La PA presentó un 92.7 % de contenido de humedad; 3.81 % de carbohidratos; 2.00 % de fibra dietaria; 0.68 % de proteína; 0.64 % de ceniza; 0.17 % de lípidos; 4.11 mg de βcarotenos g⁻¹; y 8 °Brix de sólidos solubles totales, de acuerdo con la evaluación previa realizada por Cardozo et al. (2021).

Obtención de harina de semillas de auyama (HSA)

La composición nutricional de la semilla de auyama correspondió a un 55 % de humedad; 16.1 % de proteína; 13.3 % de lípidos; 12.7 % de fibra dietaria; 2.1 % de cenizas y 0.2 % de carbohidratos (Cardozo et al. 2021). Las semillas se deshidrataron en un horno de convección forzada (Memmert, UF750) a 70 ± 2 °C con una velocidad de aire de 2.1 ± 0.4 ms⁻¹, hasta alcanzar un contenido de humedad del 5.0 %. El material seco se pulverizó utilizando un molino de cuchillas (Hamilton Beach, 80350R) y fue tamizado con una tamizadora (JPS-LAB, TMZ-03) para obtener partículas de 600 µm (Malla n.º 30) (Cuco et al., 2019). La HSA se almacenó en bolsas multicapa laminadas (Pet/Foil/Pebd 120 micras) fabricadas por ALICO S.A., garantizando condiciones adecuadas de conservación.

Cuantificación de los ácidos grasos

La extracción de lípidos de la HSA se realizó empleando una mezcla de diclorometano/metanol como solvente. Al material filtrado se le añadieron 2.0 mL de cloruro de sodio al 0.7 %. Luego, la fase etérica se transfirió a un tubo de vidrio, donde el solvente fue evaporado.

Para la recuperación de los ácidos grasos de ésteres metílicos (FAMEs) se añadieron 2.0 mL de hexano al tubo de vidrio. La fase superior obtenida se depositó en un vial para su análisis. La cuantificación de los FAMEs se llevó a cabo utilizando un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas (Shimadzu, GCMS-QP2010), equipado con una columna capilar DB-WAX (Agilent J&W, 3 m x 0.250 mm x 0,250 µ). El análisis se realizó inicialmente a 100 °C, con un incremento de 3.0 °C min⁻¹ hasta alcanzar los 193 °C, manteniendo esta temperatura durante 4 minutos, seguido de un incremento de 1.5 °C min⁻¹ hasta los 240 °C durante 10 minutos. El volumen de inyección fue de 1 µL, utilizando una relación de división (Split) de 3:1. La identificación de los ácidos grasos se basó en los tiempos de retención del estándar de mezcla de metil ésteres de ácidos grasos (FAME MIX). Los datos obtenidos fueron procesados mediante el software GCMS-solution. Los resultados se expresaron en gramos de ácidos grasos por 100 g de HSA en base seca (Leichtweis et al., 2023).

Desarrollo de la bebida láctea fermentada

Para la formulación de la bebida láctea fermentada (BLF), se empleó una mezcla de leche y lactosuero dulce en una relación 51/49 (Gutiérrez-Álvarez et al., 2023). A esta mezcla se añadió almidón modificado de maíz (AMM) en concentraciones de 0.4 a 0.7 % (p/p) y citrato de sodio al 0.2 % (p/p) cuando la temperatura alcanzó los 45 °C, manteniendo una agitación constante. La mezcla se sometió a un proceso térmico, calentándose a 65 °C y homogenizándose a una presión de 10.3 MPa por 5 minutos. Posteriormente, fue pasteurizada a 85 °C durante 15 minutos. Una vez enfriada a 42 °C, se inoculó con el cultivo iniciador (3.0 %, p/p) y se incubó hasta alcanzar una acidez titulable de 0.6 %, lo que tomó aproximadamente 5 horas. Las muestras obtenidas se refrigeraron a 4 ± 1 °C durante 16 horas. A las bebidas se les incorporó 8.0 % (p/p) de sacarosa, entre 6.0 - 8.0 % (p/p) de pulpa de auyama (PA) y 1.5 % (p/p) de harina de semilla de auyama (HSA), mezclando manualmente los ingredientes. Las BLF fueron almacenadas a 4 ± 1 °C durante 48 horas, periodo en el cual se llevaron a cabo las evaluaciones de sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales (Imbachí-Narváez et al., 2019). Las concentraciones específicas de PA y AMM aplicadas a las BLF están detalladas en la Tabla 3.

Evaluación de las propiedades fisicoquímicas

El pH de la BLF se midió utilizando un potenciómetro (HANNA, HI 2002), siguiendo el protocolo de la AOAC 981.12 (1990). La acidez titulable se determinó mediante el método volumétrico definido por la AOAC 947.05 (1990). Los sólidos solubles totales (SST) se cuantificaron con un refractómetro digital (HANNA, HI 96801), según el método AOAC 932.12 (1990). La evaluación del color se realizó con un colorímetro (Konica Minolta, CR-400) integrado con el software Spectra Magic NX, utilizando el iluminante D65 y el observador estándar de 2°. Los parámetros de color se expresaron en términos de L* (luminosidad), a* (cromaticidad verde-rojo) y b* (cromaticidad azul-amarillo) (Bianchini et al., 2020).

Para medir la sinéresis (porcentaje de suero liberado), se centrifugaron 25 g de muestra a 5000 rpm durante 20 minutos a 5 °C, siguiendo la metodología propuesta por Gutiérrez-Álvarez et al. (2023). El potencial zeta (ζ) se evaluó utilizando un Zetasizer (Malvern, ZS 90, Reino Unido) inyectando la muestra diluida en agua (relación 1:100) en una celda capilar de medición, conforme a lo descrito por Baississe y Fahoul (2018). La curva de flujo se obtuvo mediante un reómetro (Brookfield, DV-III Ultra) con un baño termostático a 4 °C, utilizando una geometría de cilindro concéntrico ULA (n.º SC4-21). La velocidad de corte (γ̇) se manejó en un rango de 0.020 a 120 s⁻¹ y el valor de viscosidad (μ) se tomó como una media a 50.6 s⁻¹, siguiendo el enfoque propuesto por Tsevdou et al. (2020).

Evaluación de las propiedades sensoriales

La aceptabilidad sensorial de las BLF se evaluó mediante escala hedónica estructurada de 5 puntos (1: me disgusta mucho, 2: me disgusta, 3: ni me gusta ni me disgusta, 4: me gusta, 5: me gusta mucho), basado en la Norma Técnica Colombiana - NTC 3884 (ICONTEC, 1996). En ella participaron 90 panelistas no entrenados, con edades entre 16 y 60 años (promedio de 24 años), quienes valoraron atributos como olor, color, sabor y consistencia. Entre los participantes se incluyó personal administrativo y estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Cada panelista recibió vasos desechables de 45 mL con 30 g de la bebida, servida a una temperatura habitual de consumo (8-10 °C). Las muestras fueron codificadas con tres dígitos y distribuidas aleatoriamente para evitar sesgos de acuerdo con lo sugerido por Öztürk et al. (2018).

Diseño experimental y análisis estadístico

Los valores obtenidos para el perfil de ácidos grasos fueron expresados como el promedio de 2 lotes de HSA. El porcentaje de inclusión de HSA en la BLF se evaluó en 3 niveles: 1.5; 2.0 y 2.5 % (p/p), definidos como T1, T2 y T3, respectivamente. Estos niveles se evaluaron mediante análisis sensorial utilizando la prueba de Friedman para determinar significancia con un nivel de confianza del 95 %. Una vez fijado el porcentaje óptimo de HSA, se implementó un diseño central compuesto (DCC) aplicando la metodología de superficie de respuesta (RSM). Este diseño permitió 2 variables: la concentración de PA, establecida entre 6.0 y 8.0 % (p/p), y la concentración de AMM, que osciló entre 0.4 y 0.7 % (p/p) (Tabla 3). Las superficies de respuesta se calcularon utilizando la ecuación 1, permitiendo modelar las interacciones y optimizar las condiciones experimentales para maximizar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la BLF.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^2 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i,j=1}^2 \beta_{ij} X_i X_j \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde y es la respuesta calculada por el modelo., , β son los coeficientes de regresión para el intercepto, términos de interacción lineales y cuadráticos, respectivamente; X es la variable independiente correspondiente a PA y AMM. El ajuste de los modelos se determinó mediante análisis de regresión y el coeficiente de determinación (R^2). Igualmente, se realizó un ANOVA de medidas repetidas a un nivel de significancia de 0.05 para las propiedades fisicoquímicas y sensoriales; cuando estas fueron significativas se ejecutó la optimización simultánea de múltiples respuestas mediante la función de deseabilidad general (D), empleando el software estadístico Statgraphics Centurion XVI software (Versión 16.1.18).

Resultados

Perfil de ácidos grasos en la HSA

La Tabla 1 muestra el perfil de ácidos grasos presentes en la HSA. Los principales componentes identificados fueron los ácidos linoleico, oleico, palmítico y esteárico, los cuales representan el 98.6 % del total de los ácidos grasos analizados. Entre los ácidos grasos insaturados, el ácido linoleico fue el más abundante, seguido por el oleico, palmitoleico y linolénico. Todos los demás ácidos (mirístico, eicosadienoico, araquidónico y behénico) estuvieron presentes en cantidades inferiores al 0.5 %.

Evaluación sensorial de la bebida láctea con adición de HSA

El perfil sensorial para los tratamientos evaluados se presenta en la Tabla 2. La prueba de Friedman evidenció una preferencia significativa por el tratamiento T1 (1.5 % de HSA) en comparación con T2 (2.0 % de HSA) y T3 (2.5 % de HSA). En términos de consistencia, se encontraron diferencias significativas entre T1 y T3 ($p < 0.05$), con un 75 % de los panelistas que calificaron T1 como "Me gusta mucho", mientras que T3 recibió mayoritariamente la calificación de "Me gusta". Para los atributos de olor, color y sabor no se identificaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p > 0.05$). Cabe destacar que el tratamiento T1 obtuvo una puntuación promedio de 4 en todos los atributos, por lo que se seleccionó para continuar con la siguiente fase de la experimentación.

Características de calidad de la bebida láctea con adición de HSA, PA y AMM

Los datos experimentales (Tabla 3) permitieron determinar el coeficiente de determinación (R^2), la relación F del modelo y el valor P (Tabla 4). El modelo cuadrático no fue significativo ($p > 0.05$) para las características fisicoquímicas, como pH, acidez y SST, con la adición de PA y AMM (Tabla 3). El pH se mantuvo entre 4.2 y 4.5, los valores de acidez entre 0.6 y 0.7 % (expresados como ácido láctico) y los SST entre 13.7 a 16.6 °Brix.

Respecto a los parámetros de color, el modelo cuadrático no puede explicar la variabilidad de los datos ($p > 0.05$) para las coordenadas a^* y b^* con la adición de PA y AMM (Tabla 3). Sin embargo, para L^* , se identificó un modelo significativo ($p < 0.05$) descrito por la ecuación 2:

$$L = 334.2 - 68.1 \times PA - 132.1 \times AMM + 4.4 \times PA^2 + 11.4 \times PA \times AMM + 42.7 \times AMM^2 \quad \text{Ec. (2)}$$

El coeficiente de determinación (R^2) sugiere que el modelo explica el 51,8 % de variabilidad de los datos. La Figura 1(a) muestra una relación

cuadrática entre L* y PA ($p = 0.026$), indicando que L* tiende a maximizarse para valores extremos de PA. Las concentraciones óptimas de PA y AMM para un mayor valor de L* (72.2) fueron 5.6 % y 0.3 %, respectivamente.

En cuanto a la sinéresis y viscosidad, el modelo cuadrático no fue significativo ($p > 0.05$) para explicar la variabilidad en función de las concentraciones de PA y AMM. Para la sinéresis, los valores obtenidos oscilaron entre 27.3 % y 37.3 %, mientras que para la viscosidad se registraron entre 50.9 y 159.5 MPa.s (Tabla 3).

Por otro lado, el potencial zeta (ζ), que describe la magnitud de la carga eléctrica de las partículas y se ha utilizado como un indicador de la carga superficial de la caseína coloidal, se modeló cuadráticamente ($p < 0.05$) mediante la ecuación 3:

$$\zeta = 54.4 - 6.9 \times PA - 141.3 \times AMM - 0.47 \times PA^2 + 23.0 \times PA \times AMM - 17.7 \times AMM^2 \quad \text{Ec. (3)}$$

El R² indica que el modelo podría explicar el 56.3 % de la variabilidad de datos. La Figura 1(b) muestra que, a medida que aumentó la concentración de PA y disminuyó la de AMM ($p = 0.003$), el valor del ζ de las BLF se redujo, oscilando entre -10 y -19 mV. Los resultados de la optimización indican que el ζ para una mayor estabilidad (-22.2) se estima en 8.4 % de PA y 0.3 % de AMM.

Tabla 1. Composición de ácidos grasos de harina de semilla de auyama

Ácidos grasos	Composición (%)
Ácido mirístico (C14:0)	0.413 ± 0.133
Ácido palmítico (C16:0)	21.9 ± 1.21
Ácido palmitoleico (C16:1)	0.221 ± 0.201
Ácido esteárico (C18:0)	11.9 ± 2.06
Ácido oleico (C18:1, Cis-9)	23.3 ± 3.21
Ácido linoleico (C18:2, Cis-9,12)	41.4 ± 1.39
Ácido linolénico (C18:3, Cis-9, 12, 15)	0.101 ± 0.025
Ácido eicosadienoico (C20:2, Cis-11,14)	0.112 ± 0.033
Ácido araquidónico (C20:4)	0.210 ± 0.043
Ácido behénico (C22:0)	0.431 ± 103
SFA	34.8 ± 0.752
MUFA	23.5 ± 0.701
PUFA	41.5 ± 1.70

La evaluación sensorial de las BLF reveló que la mayoría de los panelistas calificaron las muestras con puntajes entre 3 y 4 en la escala hedónica, lo que corresponde a las categorías "ni me gusta ni me disgusta" y "me gusta". Para los atributos de olor, sabor y consistencia, no se encontraron diferencias significativas entre las diferentes concentraciones de PA y AMM adicionadas ($p > 0.05$). Sin embargo, en cuanto al color, el modelo mostró una asociación lineal significativa ($p = 0.016$), indicando que una mayor concentración de PA mejoró la percepción de los panelistas (Tabla 5).

Optimización y validación del modelo

Para la validación de la BLF con las variables estadísticamente significativas ($p < 0.05$), las concentraciones óptimas de PA y AMM fueron 8.4 y 0.3 % (p/p), respectivamente. Los valores experimentales de ζ y color evaluado sensorialmente fueron congruentes con los valores previstos del modelo (Tabla 6); la formulación optimizada presentó buena estabilidad (umbral de aglomeración bajo) y mantuvo la calificación de sus atributos sensoriales por los panelistas en la categoría "Me gusta". Sin embargo, se observó una discrepancia en el valor de L* debido a la mayor concentración de PA utilizada.

Discusión

En general, los diferentes hallazgos en la concentración y tipo de ácidos grasos de la HSA pueden atribuirse a factores climáticos del cultivo, grado de madurez, diversidad genética, aspectos fenotípicos, condiciones de secado y de extracción del aceite (Amin et al., 2019; Prommaban et al., 2021). La HSA se puede destacar como una fuente potencial de ácidos grasos insaturados debido a la participación del 41.5 % y 23.5 % de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) y monoinsaturados (MUFA), respectivamente, los cuales deben ser suministrados a través de la dieta, ya que no pueden sintetizarse en el cuerpo humano; además, se ha demostrado que estos ayudan a mantener niveles saludables de colesterol de lipoproteínas de alta densidad (HDL) y reducen el colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL) (Amin et al., 2019). Por lo tanto, estos resultados indican que la incorporación de la HSA puede añadir valor a la BLF para ser considerada un alimento funcional, debido a que puede proporcionar

Tabla 2. Calificación de atributos sensoriales por consumidores para la bebida láctea con adición de harina de semilla de auyama

Tratamiento	HSA (%)	Olor	Color	Sabor	Consistencia	Aceptabilidad general
T1	1.5	4.0 ^a	4.0 ^a	4.0 ^a	4.0 ^a	1042 ^a
T2	2.0	3.0 ^a	4.0 ^a	4.0 ^a	4.0 ^a	990 ^b
T3	2.5	3.0 ^a	4.0 ^a	4.0 ^a	3.0 ^b	964 ^b

*Valores con letras diferentes en la misma columna son diferentes significativamente ($p < 0.05$).

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas de la bebida láctea fermentada

Tratamiento	Variables		Respuesta						
	PA (%)	AMM (%)	pH	Acidez (%)	SST (°Brix)	a*	b*	Sinéresis (%)	μ (mPa.s)
1	8.0	0.40	4.44±0.5	0.643±0.02	14.2±0.20	-1.41±0.19	28.0±0.74	33.5±0.04	147±8.41
2	6.0	0.70	4.43±0.03	0.660±0.05	14.8±0.15	-1.19±0.09	25.6±0.28	32.2±0.84	76.1±1.89
3	7.0	0.34	4.41±0.01	0.653±0.05	14.1±0.42	-1.56±0.17	22.0±0.95	37.0±0.29	131±4.04
4	8.4	0.55	4.43±0.02	0.633±0.15	13.7±0.42	-1.49±0.03	25.0±1.80	33.3±0.67	109±5.39
5	7.0	0.55	4.38±0.05	0.683±0.10	13.9±0.26	-1.21±0.04	25.5±0.56	29.1±0.63	134±3.23
6	5.6	0.55	4.46±0.02	0.633±0.15	14.5±0.23	-1.83±0.05	23.3±0.57	33.0±0.22	89.8±4.81
7	7.0	0.55	4.45±0.01	0.667±0.15	16.6±0.35	-1.13±0.19	26.4±0.51	33.2±0.58	51.0±4.40
8	8.0	0.70	4.50±0.01	0.630±0.15	14.7±0.21	-1.57±0.08	25.5±0.84	33.0±0.93	117±1.33
9	7.0	0.55	4.48±0.05	0.633±0.15	14.3±0.06	-2.02±0.03	19.3±0.76	34.0±0.82	57.2±5.22
10	7.0	0.55	4.41±0.05	0.673±0.11	14.4±0.10	-1.22±0.04	25.5±0.56	35.1±0.45	124±4.53
11	6.0	0.40	4.37±0.06	0.617±0.10	14.4±0.10	-2.06±0.08	25.6±0.84	33.5±0.74	158±2.90
12	7.0	0.55	4.42±0.05	0.647±0.05	13.9±0.06	-1.10±0.19	26.4±0.51	31.1±0.92	134±3.60
13	7.0	0.55	4.40±0.06	0.600±0.10	13.8±0.06	-2.37±0.22	21.7±0.82	30.7±0.29	160±1.92
14	7.0	0.55	4.34±0.06	0.597±0.05	13.8±0.06	-2.01±0.03	19.3±0.76	27.3±0.07	131±8.51
15	7.0	0.76	4.44±0.03	0.620±0.10	14.5±0.05	-2.11±0.11	19.2±0.92	28.5±0.43	157±5.80
16	7.0	0.55	4.23±0.05	0.683±0.05	14.9±0.15	-0.20±0.04	23.5±0.54	37.3±0.13	99.6±2.22

*La concentración de la HSA fue definida por evaluación sensorial en la primera fase del experimento, el cual fue del 1.5 % para todos los tratamientos. Los valores de viscosidad fueron evaluados a una tasa de corte de 50.6 s^{-1} .

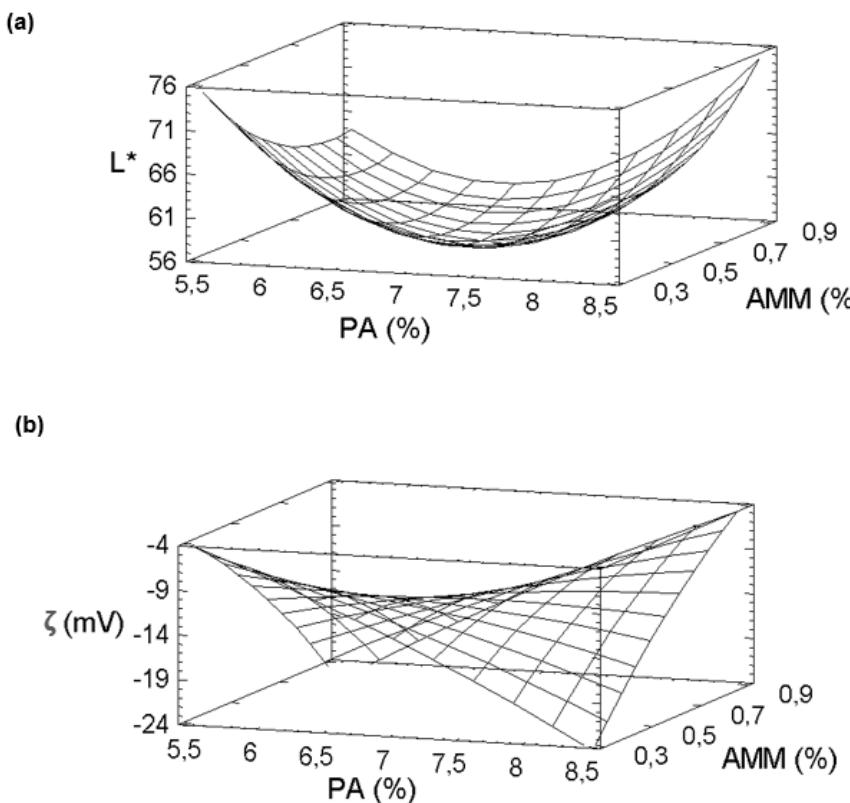


Figura 1. Gráficas de superficie de respuesta que muestran el efecto de las interacciones entre la concentración de pulpa de auyama y almidón modificado de maíz sobre la luminosidad (L^*) y potencial zeta (ζ) de la bebida láctea fermentada.

efectos fisiológicos beneficiosos en la prevención de trastornos cardiovasculares, neurológicos, visuales y cancerosos (Leichtweis et al., 2023). Sin embargo, la elevada concentración de ácido linoleico en la HSA la hace propensa a la oxidación (Tabla 1), por lo que

Tabla 4. Análisis de varianza de propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la BLF con adición de HSA, PA y AMM

Variable	R ² (%)	Relación F del modelo	Valor P>F
pH	21.45	2.732	0.0828
Acidez	13.10	1.508	0.2711
SST	7.42	0.802	0.5732
a*	17.17	2.074	0.1527
b*	41.90	7.214	0.0042
L*	51.89	10.788	0.0009
Potencial Z (ζ)	56.26	12.864	0.0004
Sinéresis	23.84	3.131	0.0587
μ	24.27	3.205	0.0552
Olor	48.66	0.202	0.9542
Color	64.10	17.857	0.0001
Sabor	37.50	6.000	0.0081
Consistencia	25.00	3.330	0.0498

Tabla 5. Clasificación de atributos sensoriales por consumidores de la BLF con adición de HSA, PA y AMM

Tratamiento	Olor	Color	Sabor	Consistencia
1	3 ± 0.87	3 ± 0.93	4 ± 1.01	4 ± 1.02
2	4 ± 0.84	3 ± 0.94	4 ± 0.84	3 ± 0.95
3	3 ± 1.01	4 ± 0.97	4 ± 0.92	4 ± 0.96
4	3 ± 0.75	4 ± 0.92	4 ± 0.99	4 ± 0.90
5	3 ± 0.91	3 ± 0.86	4 ± 0.99	3 ± 0.97
6	3 ± 0.87	3 ± 0.88	4 ± 0.92	3 ± 1.07
7	3 ± 0.87	3 ± 0.88	5 ± 0.85	5 ± 0.99
8	3 ± 0.88	4 ± 0.84	4 ± 0.96	3 ± 0.99
9	4 ± 0.92	3 ± 0.90	4 ± 1.10	4 ± 0.96
10	4 ± 0.80	3 ± 0.89	4 ± 0.95	4 ± 0.96
11	3 ± 0.86	3 ± 0.93	4 ± 0.98	4 ± 0.97
12	4 ± 0.77	3 ± 0.89	4 ± 1.01	3 ± 1.19
13	4 ± 0.96	3 ± 0.90	4 ± 1.11	4 ± 0.99
14	3 ± 0.93	3 ± 0.90	4 ± 0.90	4 ± 1.01
15	4 ± 0.86	3 ± 0.89	3 ± 0.98	4 ± 0.99
16	4 ± 0.85	3 ± 0.79	4 ± 0.92	4 ± 0.90

*La concentración de la HSA fue definida por evaluación sensorial en la primera fase del experimento siendo del 1.5 % para todos los tratamientos. Los valores descritos por cada tratamiento corresponden al promedio de la calificación otorgada por los panelistas para cada atributo.

Tabla 6. Criterios de optimización y validación de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la bebida láctea fermentada

Restricciones	Objetivo	Límite inferior	Límite superior	Valor previsto	Valor experimental
Luminosidad (L*)	Maximizar	51.2	68.4	64.1	53.5
Potencial zeta (ζ)	Minimizar	-19.4	-9.9	-22.2	-21.4
Color-sensorial	Maximizar	3.00	4.00	4.00	4.00

reportado por Díaz-Trujillo *et al.* (2023). La acidez, como medida de control de calidad por su relación con la actividad microbiana, se mantuvo dentro de los estándares establecidos por la Norma Técnica Colombiana - NTC 805 (ICONTEC, 2005), que exige un mínimo del 0.6 %. Hallazgos similares han sido reportados por Pachekrepapol *et al.* (2021), quienes desarrollaron bebidas lácteas utilizando diferentes estabilizantes/espesantes y pulpas de frutas sin condicionar la desnaturalización de las proteínas. Por otro lado, la incorporación de la PA y HSA a la BLF contribuyó notablemente al incremento de los SST, mejorando la percepción sensorial de la BLF. Este comportamiento es consistente con el reportado por Díaz-Trujillo *et al.* (2023), quienes lograron valores entre 23 y 34° Brix al añadir pitahaya a la leche fermentada, lo que favoreció la consistencia del producto. Además, un mayor contenido de SST puede mejorar la estabilidad microbiana al reducir la actividad de agua, disminuyendo así el riesgo de desarrollo de microorganismos patógenos (Imbachí-Narváez *et al.*, 2019).

Con relación al color de las BLF, los valores negativos de a^* (-0.211 a -2.423) y positivos de b^* (19.2 a 28,0), que representan el grado de verdor y amarilleo en el espacio CieLAB, evidenciaron tonos de color amarillo de baja intensidad, asociados a la pigmentación de los carotenoides aportados por la PA, moléculas precursoras de la provitamina A (Cardozo *et al.*, 2021). En cuanto a los valores de L^* (Figura 1), su maximización para mayores concentraciones de PA podría estar asociada a la variación del tamaño de partícula por formación de agregados, dado que, según la teoría de Fraunhofer, la intensidad de la luz dispersada por las partículas es directamente proporcional a su tamaño (Keshtkaran *et al.*, 2013).

En términos de la estabilidad parcial (sinéresis reducida) de las BLF, es probable que esta se deba al aumento en la carga positiva de la caseína a un pH inferior al punto isoeléctrico. Este fenómeno es asociado con un aumento en la rigidez y estabilidad de la red de proteína, mejorando su capacidad para retener el suero (Pachekrepapol *et al.*, 2021). Además, los valores de ζ sugieren una tendencia a la floculación debido a las fuerzas menos repulsivas entre las partículas. Este comportamiento podría estar inducido por la pectina presente en la PA, que contribuye a disminuir las cargas negativas dentro del sistema (Baississe y Fahloul, 2018; Sun *et al.*, 2020). Por otro lado, Tsevdou *et al.* 2020 argumentaron que el aumento gradual de la concentración de almidón en lácteos fermentados redujo de forma irregular el ζ . Este efecto podría atribuirse a la coacción de la repulsión electrostática y al impedimento estérico generado entre el polisacárido y las proteínas de la leche.

Las BLF desarrolladas mostraron una aceptabilidad general positiva, con puntuaciones predominantes en la categoría de "Me gusta". Este resultado

coincide con los hallazgos de Senadeera *et al.* (2018) y Bianchini *et al.* (2020), quienes mencionaron que las calificaciones de atributos como olor, sabor y color en leches fermentadas con adición de frutas están influenciadas por las concentraciones y tipos de pigmentos presentes en estas materias primas, así como por los hábitos alimenticios de los consumidores. En cuanto a la consistencia, investigaciones previas han señalado que una textura más espesa y una sinéresis reducida suelen ser mejor valoradas por los consumidores, en contraste con muestras más semilíquidas. Por ello, se sugiere aumentar la concentración de almidón ($\geq 1.5\%$), ya que esto puede potenciar esta característica de calidad (Wong *et al.*, 2020). Estos aspectos resultan cruciales en productos como las BLF, si se tiene en cuenta que la percepción de consistencia no solo influye en la experiencia sensorial, sino también en la sensación de calidad y saciedad que ofrece el producto.

Conclusión

Se desarrolló una BLF tipo yogur, a la cual se le dio valor agregado a partir de la utilización del lactosuero dulce, coproducto de la industria quesera, y también con la adición de HSA, PA y AMM. La HSA contribuyó al perfil funcional del producto al aportar fibra y ácidos grasos esenciales. La PA, en términos de color, proporcionó tonos amarillo-naranja, característicos de la pigmentación propia de los carotenoides. El AMM favoreció los valores de sinéresis y potencial zeta, posicionando la bebida láctea fermentada como un alimento estable fisicoquímicamente. Finalmente, la BLF presentó características de calidad que concuerdan con los requisitos fisicoquímicos establecidos por la legislación nacional, además presentó una aceptabilidad sensorial del 79 % de los panelistas, que le otorgaron la calificación en la categoría de "Me gusta".

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia y a la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, el apoyo financiero recibido para la realización de la presente investigación a través de la convocatoria 776 "Patrimonio autónomo del Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia y la Innovación - Francisco José de Caldas".

Referencias

- Amin, M.; Islam, T.; Uddin, M.; Rahman, M. y Satter, M. (2019). Comparative study on nutrient contents in the different parts of indigenous and hybrid varieties of pumpkin (*Cucurbita maxima* Linn.). *Heliyon*, 5(9), e02462. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02462>.

- Baïssisse, S. y Fahloul, D. (2018). Rheological behavior and electrokinetic properties of pectin extracted from pumpkin (*Cucurbita maxima*) pulp and peel using hydrochloric acid solution. *Chemical Papers*, 72, 2647-2658. <https://doi.org/10.1007/s11696-018-0500-0>.
- Bianchini, C.; Vieira, M.; Dias, C.; Seraglio, K.; Costa, A.; Komatsu, R. et al. (2020). Incorporation of uvaia (*Eugenia pyriformis Cambess*) pulp in yogurt: A promising application in lactose-free dairy product market. *Journal of Food Processing And Preservation*, 44(10), e14829. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14829>.
- Calvário-Palma, A.; Cruz-Hernández, J. y Barroso-Bravo, L. (2019). Nutritional and sensory characterization of a muicile based beverage that combines amaranto and berries. *Espamciencia*, 10(2), 52-57.
- Cardozo, C.; Hernández, D.; Caballero, B.; Velásquez, H.; Molina, D. y Londoño, G. (2021). Physical, physiological, physicochemical and nutritional characterization of pumpkin (*Cucurbita maxima*) in postharvest stage cultivated in Antioquia-Colombia. *Revista Facultad Nacional De Agronomía Medellín*, 74, 9735-9744. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n3.90820>.
- Cuco, R.; Cardozo-Filho, L. y da Silva, C. (2019). Simultaneous extraction of seed oil and active compounds from peel of pumpkin (*Cucurbita maxima*) using pressurized carbon dioxide as solvent. *The Journal of Supercritical Fluids*, 143, 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.08.002>.
- Díaz-Trujillo, M.; Villa-Fonseca, D.; Álvarez-Solano, O.; Lanea, V. y Hernández-Carrión, M. (2023). Formulación de un producto lácteo a partir de pitahaya amarilla y sus subproductos. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8, 697-707. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.91>.
- Gutiérrez-Álvarez, K.; Rosario, I.; de Jesus, R.; Maciel, L.; Santos, S.; O. de Souza, C.; Vieira, C.; Cavalheiro, C. y da Costa, M. (2023). Physicochemical, rheological, and nutritional quality of artisanal fermented mil beverages with cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) pulp and flour. *Foods*, 12, 2217. <https://doi.org/10.3390/foods12112217>.
- Imbachí-Narváez, P.; Sepúlveda-Valencia, J. y Rodríguez-Sandoval, E. (2019). Effect of modified cassava starch on the rheological and quality properties of a dairy beverage prepared with sweet whey. *Food Sci. Technol.*, 39(1), 134-142. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.28017>.
- Jaster, H.; Arend, G.; Rezzadori, K.; Chaves, V.; Reginatto, F. y Petrus, J. (2018). Enhancement of antioxidant activity and physicochemical properties of yogurt enriched with concentrated strawberry pulp obtained by block freeze concentration. *Food Research International*, 104, 119-125. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.006>.
- León-López, A.; Pérez-Marroquín, X.; Campos-Lozada, G.; Campos-Montiel, R. y Aguirre-Álvarez, G. (2020). Characterization of whey-based fermented beverages supplemented with hydrolyzed collagen: Antioxidant activity and bioavailability. *Foods*, 9(8), 1106. <https://doi.org/10.3390/foods9081106>.
- Leichtweis, M.; Molina, A.; Dias, M.; Calhelha, R.; Pires, T.; Pavli, O.; Oliveira, M.; Petropoulos, S.; Barros, L. y Pereira, C. (2023). Variability in chemical profile and bioactivities of the flesh of greek pumpkin landraces. *Horticulturae*, 9(11), 1232. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9111232>.
- Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. (2021). Resolución 810 de 2021. Reglamento técnico sobre los requisitos de etiquetado nutricional y frontal que deben cumplir los alimentos envasados o empacados para consumo humano. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%20810de%202021.pdf
- Öztürk, H.; Aydin, S.; Sözeri, D.; Demirci, T.; Sert, D. y Akin, N. (2018). Fortification of set-type yoghurts with *Elaeagnus angustifolia* L. flours: Effects on physicochemical, textural, and microstructural characteristics. *LWT*, 90, 620-626. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.012>.
- Pachekrepapol, U.; Kokhuenkhan, Y. y Ongsawat, J. (2021). Formulation of yogurt-like product from coconut milk and evaluation of physicochemical, rheological, and sensory properties. *International Journal of Gastronomy And Food Science*, 25, 100393. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100393>.
- Prommaban, A.; Kuanchoom, R.; Seepuan, N. y Chaiyana, W. (2021). Evaluation of fatty acid compositions, antioxidant, and pharmacological activities of pumpkin (*Cucurbita moschata*) seed oil from aqueous enzymatic extraction. *Plants (Basel)*, 10(8), 1582. <https://doi.org/10.3390/plants10081582>.
- Saeed, M.; Ali, S. y Ramzan, S. (2021). Physicochemical analysis of mango flavored yogurt supplemented with *Moringa oleifera* leaf powder. *Journal of Food and Science Technology*, 58(12), 4805-4814. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05146-w>.
- Senadeera, S.; Prasanna, P.; Jayawardana, N.; Gunasekara, D.; Senadeera, P. y Chandrasekara, A. (2018). Antioxidant, physicochemical, microbiological, and sensory properties of probiotic yoghurt incorporated with various *Annona* species pulp. *Heliyon*, 4(11), e00955. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00955>.
- Sun, W.; Yang, W.; Zheng, Y.; Zhang, H.; Fang, H.; Liu, D. et al. (2020). Effect of potato pulp pectic polysaccharide on the stability of acidified milk drinks. *Molecules*, 25(23), 5632. <https://doi.org/10.3390/molecules25235632>.
- Tsevdou, M.; Ouli-Rousmi, M.; Soukoulis, C. y Taoukis, P. (2020). Impact of high-pressure process on probiotics: Viability kinetics and evaluation of the quality characteristics of probiotic yoghurt. *Foods*, 9(3), 360. <https://doi.org/10.3390/foods9030360>.
- Wong, S.; Wicklund, R.; Bridges, J.; Whaley, J. y Koh, Y. (2020). Starch swelling behavior and texture development in stirred yogurt. *Food Hydrocoll*, 98, 105274. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105274>.