



Artículo científico

Características fisicoquímicas y sensoriales del kéfir bovino y caprino con sabor a fresa¹

Leandro José Campos-Trigueros², María Lourdes Pineda-Castro³, Alejandro Chacón-Villalobos⁴

RESUMEN

Este estudio, llevado a cabo en San Pedro, Montes de Oca, Costa Rica, tuvo como objetivo evaluar el impacto de diferentes proporciones de leche caprina y bovina sobre las características del kéfir de fresa, mediante análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales. Se utilizaron cinco combinaciones de leche para analizar sus propiedades en el producto final. Con mediciones en el primer y séptimo día, se evaluó el impacto de las diferentes proporciones en las características del producto. También se analizaron variables como pH, acidez total, viscosidad, porcentaje de sinéresis, porcentaje de alcohol, color, coliformes termotolerantes (CT) y levaduras. Se realizó una prueba sensorial con 104 participantes que calificaron las cinco formulaciones propuestas y una muestra de kéfir comercial. Las variables de porcentaje de alcohol, viscosidad y color mostraron los resultados más altos para el kéfir elaborado únicamente con leche bovina. La mayor sinéresis se dio en el kéfir elaborado exclusivamente con leche caprina. Las levaduras se mantuvieron dentro de los límites aceptables en todas las

¹Este trabajo formó parte del proyecto de investigación: "Reingeniería de procesos para la mejora técnica de sistemas de producción secundarios de la leche de cabra, y de su vínculo comercial con el productor primario." VI-737-B4-221.

²Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Escuela de Tecnología de Alimentos. San José, Costa Rica. Correo electrónico: leandrocamos96@hotmail.com (<https://orcid.org/0009-0009-8580-2873>).

³Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Escuela de Tecnología de Alimentos. San José, Costa Rica. Correo electrónico: maria.pinedacastro@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-4841-2955>).

⁴Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia. San Pedro, San José, Costa Rica. Estación Experimental Alfredo Volio Mata. La Unión, Cartago, Costa Rica. Autor de correspondencia: alejandro.chacon@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-8454-9505>).

Recibido: 13 agosto 2024 Aceptado: 24 noviembre 2025

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0.



formulaciones, en tanto que la presencia de CT fue mínima. Se observaron interacciones entre las formulaciones y el tiempo de almacenamiento para el pH, el índice de ATECAL y la viscosidad. La prueba sensorial mostró que el kéfir comercial tuvo menor aceptación. De las formulaciones propuestas, el kéfir a base de leche caprina fue el de menor agrado, mientras que el que contenía 25% de la misma fue el de mayor agrado. En particular, el kéfir sabor fresa con 25% de leche de cabra fue seleccionado por presentar las mejores características sensoriales y mostró el segundo mejor desempeño en el análisis fisicoquímico, únicamente superado por la formulación a base de leche bovina. Por lo tanto, la inclusión de leche caprina permite obtener un producto con propiedades fisicoquímicas y sensoriales adecuadas.

Palabras clave: Lácteos fermentados, leche bovina, leche caprina, análisis sensorial, formulación, control de calidad.

ABSTRACT

Physicochemical and sensory characteristics of bovine and goat kefir with strawberry flavor. This study, conducted in San Pedro, Montes de Oca, Costa Rica, aimed to evaluate the impact of different proportions of goat and bovine milk on the characteristics of strawberry kefir through physicochemical, microbiological, and sensory analyses. Five milk combinations were tested to assess their influence on the final product. Measurements were taken on days 1 and 7 to determine the effect of the different proportions over storage time. Variables such as pH, total acidity, viscosity, syneresis percentage, alcohol content, color, thermotolerant coliforms (TC), and yeasts were analyzed. A sensory test was carried out with 104 participants who evaluated the five proposed formulations and a commercial kefir sample. The highest alcohol content, viscosity, and color values were obtained in the kefir made exclusively with bovine milk, while the greatest syneresis occurred in the kefir produced only with goat milk.

Yeast counts remained within acceptable limits in all formulations, and TC presence was minimal. Interactions between formulations and storage time were observed for pH, titratable acidity, and viscosity. The sensory evaluation showed that the commercial kefir received the lowest acceptance. Among the proposed formulations, the kefir made with 100% goat milk was the least preferred, while the formulation containing 25% goat milk had the highest acceptance. Specifically, the strawberry-flavored kefir with 25% goat milk was selected due to its superior sensory characteristics and showed the second-best physicochemical performance, surpassed only by the bovine milk formulation. Therefore, the inclusion of goat milk allows the production of kefir with acceptable physicochemical and sensory properties.

Keywords: Fermented dairy products, bovine milk, goat milk, sensory analysis, formulation, quality control.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la mayoría de los productos lácteos se elaboran con leche de vaca; esta se clasifica como el tipo de leche más común y consumida, de manera general, en el mundo. Sin embargo, la leche de otros animales, aunque en menor medida, especialmente de cabra, oveja y búfala, también se utilizan en la elaboración de productos lácteos y sus derivados (Parrales, 2014).

Se prevé que, de 2021 a 2030, la producción mundial de leche aumente un 1,7% anual, alcanzando aproximadamente 1020 millones de toneladas. Esta tasa de crecimiento estimada es superior a la de la mayoría de los productos agrícolas (OECD-FAO, 2022). Asimismo, en los últimos años se ha observado un incremento notable en la producción de leche de cabra, con un aumento del 62% entre 1993 al 2013 y del 17% del 2007 al 2017 (Miller y Lu, 2019).

Los caprinos presentan características que los convierten en animales valiosos para países en vías de desarrollo, en comparación con los bovinos. Entre estas destacan su menor tamaño, facilidad de manejo, mayor resistencia a enfermedades, rusticidad, fertilidad y menores requerimientos por unidad animal (Chacón-Villalobos y Mora-Valverde, 2017).

Diversos estudios también señalan y enfatizan los beneficios nutricionales que la leche caprina proporciona, entre ellos, una mayor digestibilidad en el tracto gastrointestinal en comparación con la leche de vaca. Esto se debe, por una parte, al menor tamaño de los glóbulos grasos, que favorece una emulsión más fina y uniforme; y por otra, a la presencia de ácidos grasos de cadena corta y media, que hacen la grasa más susceptible a la acción de las lipasas (Bidot, 2017).

Asimismo, se ha observado que la leche caprina provoca con menor frecuencia reacciones alérgicas en comparación con la leche bovina. En esta última, la mayoría de los casos de alergia se atribuyen a la fracción proteica α -s₁-caseína, la cual no es predominante en la leche de cabra, donde prevalecen las fracciones α -s₂-caseína y β -caseína (Neerven y Savelkoul, 2019). Además, se relaciona con menor frecuencia con casos de intolerancia, debido a su menor contenido de lactosa (Parrales, 2014).

La búsqueda de productos innovadores que respondan a las necesidades del mercado implica evaluar y mejorar los productos existentes. En este contexto, se han desarrollado técnicas que combinan leche bovina y caprina, con el fin de generar productos de alto valor agregado y aumentar la aceptación de materias primas poco comunes entre los consumidores, como es el caso de la leche caprina. Esta combinación ofrece ventajas al producto final, como lo es un perfil nutricional más completo y mejores propiedades fisicoquímicas (Cabrera-Beltrán et al., 2022).

Un producto en el cual esta combinación resulta especialmente prometedora es el kéfir, una leche fermentada, comúnmente elaborada con leche de vaca o de cabra, pero para

el cual no es común el uso de una combinación de ambas (Giraldo, 2023). El kéfir se obtiene mediante la inoculación de leche fresca con gránulos compuestos por bacterias acidolácticas y levaduras, sometidos a condiciones específicas de temperatura y tiempo (Costa de Almeida et al., 2022).

Desde una perspectiva nutricional, el kéfir aporta nutrientes esenciales como minerales, vitaminas y aminoácidos de fácil digestión; además, es considerado un probiótico, ya que aporta microorganismos benéficos que se establecen en el tracto digestivo, mejorando su funcionamiento (Alvarado, 2018). Diversas investigaciones señalan efectos beneficiosos asociados a su consumo, como reducción de colesterol, actividad antiinflamatoria, antioxidante, antimicrobiana, antifúngica, e incluso, una posible actividad anticancerígena (Hatmal et al., 2018; Kim et al., 2019; Yilmaz-Ersan et al., 2018).

El kéfir se clasifica como un lácteo fermentado, siendo parte de la familia de otros productos más conocidos como el yogurt; sin embargo, estos se diferencian según el tipo de fermentación involucrada. El yogurt se elabora mediante fermentación láctica (la lactosa se transforma en ácido láctico) llevada a cabo por dos bacterias: *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*, mientras que el kéfir se obtiene mediante una doble fermentación: ácido-láctica y alcohólica. En la primera, la coagulación de las proteínas lácticas y la acción de las bacterias generan acidez; en la segunda, las levaduras convierten parte de la lactosa en etanol y dióxido de carbono (Plaza, 2019).

Tanto la composición como las características nutricionales del kéfir pueden variar según el origen y almacenamiento del gránulo de kéfir (o del cultivo iniciador), el tipo de leche utilizada, el tiempo y la temperatura de fermentación (Alvarado, 2018). Por ello, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes proporciones de leche caprina y bovina en un kéfir sabor fresa, mediante la aplicación de diversos análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se llevó a cabo entre enero y diciembre del 2023. La elaboración del kéfir se realizó en la Planta Piloto del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), ubicada en el campus Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, en San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Los análisis microbiológicos se efectuaron en el laboratorio de microbiología del mismo centro. Por su parte, los análisis fisicoquímicos se realizaron en el laboratorio de Química de la Escuela de Tecnología de Alimentos, mientras que las evaluaciones sensoriales se llevaron a cabo en el laboratorio de Análisis Sensorial de dicha Escuela. Tanto los laboratorios como la planta piloto mencionados pertenecen a la Universidad de Costa Rica y se encuentran ubicados en el mismo campus académico.

Elaboración de los kéfires

Se formularon cinco tipos de kéfir utilizando diferentes proporciones de leche bovina (V) y/o caprina (C): 100% y 0%, 75% y 25%, 50% y 50%, 25% y 75% y 0% y 100% (identificados como 100 V/0 C, 75 V/25 C, 50 V/50 C, 25 V/75 C y 0 V/100 C, respectivamente). Se prepararon 2 L de cada mezcla empleando leche bovina entera UHT al 3% de grasa (Dos Pinos, Costa Rica) y leche caprina entera pasteurizada al 3% de grasa (Bell Caprina, Costa Rica), según correspondiera. Las mezclas se calentaron a 30 °C para la inoculación del cultivo microbiano Lyofast MT 036 LX (Sacco System, Italia), aplicado de forma directa siguiendo la metodología descrita por Bakhshandeh et al. (2011). Posteriormente, las formulaciones se trasladaron a una cámara de fermentación.

Se utilizó una temperatura de incubación de 30 °C y un tiempo de fermentación de 17 h, parámetros seleccionados por presentar la menor variabilidad en el valor de pH entre las formulaciones. Para la formulación del kéfir con sabor a fresa, se utilizó 83,9% de leche (bovina y/o caprina); 12% de pulpa de fresa; 3% de edulcorante (mezcla de sacarosa y extracto de Stevia); 1% de estabilizante comercial (mezcla de almidón, gelatina, pectina y goma guar); y 0,1% de preservante (sorbato de potasio).

Los kéfirs se envasaron en botellas PET de 250 mL y se almacenaron en una cámara de refrigeración a 4-5 °C por un periodo máximo de 7 días.

Evaluación fisicoquímica del kéfir de leche con sabor a fresa

Se empleó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial de dos factores (5 x 2): cinco niveles para la proporción usada de leche bovina y/o caprina y dos niveles para el tiempo de almacenamiento (1 y 7 días), lo que dio como resultado un total de diez tratamientos.

Para los análisis fisicoquímicos, se evaluaron las variables de pH, acidez titulable, viscosidad aparente, sinéresis, contenido de alcohol y color. El diseño se repitió tres veces, correspondiendo cada repetición a un lote distinto de kéfir.

Determinación de pH

El valor de pH se determinó según el método 981.12 de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International (2023) en dos ocasiones: primero, durante la elaboración de kéfir, con el fin de verificar el pH al finalizar la fermentación; y posteriormente, en los días 1 y 7 del periodo de almacenamiento. Se utilizó un pH metro marca Oakton (modelo pH 700) previamente calibrado, introduciendo los electrodos en 20 mL de muestra del kéfir para cada medición.

Acidez titulable

Esta se determinó mediante el método de titulación con NaOH 0,1 M descrito por Trujillo (2019), que expresa los resultados como porcentaje de ácido láctico (ATECAL).

Determinación de la viscosidad

La viscosidad del kéfir se determinó con un viscosímetro rotacional tipo Brookfield, marca Ametek (modelo DV2TLVTJ0), el cual mide la viscosidad aparente. Para las mediciones se empleó el husillo LV-2 (62) a 4 rpm como la velocidad para las pruebas finales. Las muestras se evaluaron a 5 °C, correspondiente a la temperatura de almacenamiento del kéfir.

Porcentaje de sinéresis

La sinéresis del kéfir, expresada como el volumen de suero desprendido durante el almacenamiento, se determinó usando el método descrito por Rojas (2005). Este se define como el volumen de suero desprendido sobre el volumen total de la muestra (Fórmula 1). La cantidad de suero desprendido, y, por lo tanto, el grado de sinéresis, se determinaron trasvasando el líquido sobrenadante a una probeta de 50 mL.

$$\% \text{ de sinéresis} = \frac{\text{Volumen de suero desprendido (mL)}}{\text{Volumen de la muestra de kéfir (mL)}} \times 100 \quad (1)$$

Porcentaje de alcohol

El porcentaje de alcohol del kéfir se determinó mediante el método de permanganometría, siguiendo lo propuesto por Pretell y Urraca (2012) y Wong y Escalante (2014), utilizando 200 mL de la muestra. Para la determinación del contenido etílico en el destilado, se utilizó permanganato de potasio como agente oxidante e indicador, ácido sulfúrico como medio ácido y ácido oxálico como valorante.

Evaluación de color

El color del kéfir se evaluó utilizando un colorímetro ColorFlex EZ, que determinó las coordenadas cromáticas de rojo y verde (a^*), las coordenadas de amarillo y azul (b^*), y la intensidad de luminosidad (L^*), utilizando la escala CIELab. Se utilizó el tipo de luz D65, un ángulo de apertura de 10° y una geometría $45^\circ/0^\circ$. El equipo fue previamente calibrado mediante una medición de estándares negro y blanco. Además, se calcularon los parámetros de croma (C^*) y tono (h°) de la escala CIELch.

Evaluación microbiológica del kéfir de leche con sabor a fresa

Se evaluaron los recuentos de coliformes totales, termotolerantes, *Escherichia coli*, mohos y levaduras, aplicando el mismo diseño utilizado para las variables fisicoquímicas.

Recuento de mohos y levaduras

El recuento de mohos y levaduras se realizó según el procedimiento establecido por Salfinger y Tortorello (2015), con las modificaciones incorporadas por el Laboratorio de Microbiología del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) P-SA-MM-007. Se colocó la cantidad correspondiente de cada dilución en placas Petri con agar papa dextrosa acidificado a pH 3,5 mediante esparcimiento. Las placas se incubaron a 23°C por 5 días y se contabilizaron las unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de muestra.

Recuento de coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*

El recuento de coliformes totales, termotolerantes y *E. coli* se realizó según el método del número más probable (NMP), descrito por Camacho et al. (2009) y basado en el procedimiento de la AOAC International (2023). Los tubos positivos, con presencia presuntiva de coliformes, se transfirieron a tubos con caldo bilis verde brillante (BVB), que se incubaron a 37 °C y en un baño maría a 44,5 °C, en ambos casos durante 48 horas. Posteriormente, de registrarse tubos positivos para *E. coli*, estos se confirman mediante la prueba IMViC.

Evaluación sensorial del kéfir de leche con sabor a fresa

Se utilizó un diseño irrestricto aleatorio con arreglo unifactorial, donde la variable independiente seleccionada fue la proporción de leche bovina y/o caprina utilizada en cada una de las cinco formulaciones. Se incluyó un nivel de medición adicional consistente en un kéfir comercial, de manera que cada panelista evaluó un total de seis muestras. La variable respuesta correspondió al nivel de agrado por parte de los consumidores.

El análisis sensorial consistió en una prueba de agrado general, mediante la cual se presentó una hoja de evaluación con la escala hedónica híbrida descrita por Lim (2011), asignando valores de 0 a 10 para el nivel de agrado general de cada muestra. La prueba se realizó un día después de la elaboración del kéfir, con el fin de garantizar la frescura de las muestras. Se contó con 104 panelistas, ubicados en cubículos individuales con iluminación de luz blanca, y se les presentaron las muestras numeradas con códigos de tres dígitos aleatorizados. Además, se registró la frecuencia de consumo de productos de origen caprino y de kéfir en general, con el fin de segmentar a los participantes en cuatro conglomerados mediante el análisis Jerárquico de Conglomerados (AJC), utilizando el método de Ward (Flores-Ayala et al., 2024).

El kéfir comercial evaluado por los panelistas se incluyó como referencia, siendo un producto elaborado con 100% de leche bovina ya establecido en el mercado. Se seleccionó un kéfir con sabor a fresa-chía (*Salvia hispanica*), debido a la limitada disponibilidad de productos de sabor exclusivamente a fresa en el mercado costarricense.

Análisis estadístico

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANDEVA), utilizando el software JMP (versión 17; SAS Institute Inc., 2009). Se aplicó un nivel de confianza del 95% para determinar el efecto simple de cada factor y las interacciones entre factores en cada una de las variables respuesta. Cuando se encontraron diferencias significativas para el factor formulación, se realizó una comparación de medias Tukey y las interacciones halladas se demostraron mediante gráficos de barras.

Se propuso un modelo lineal general univariante con el siguiente modelo:

$$Y_{ijl} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \rho_l + \varepsilon_{ijl}$$

Donde:

μ es la media general.

τ_i es el efecto del i -ésimo nivel de formulación (proporción bovina/caprino; 5 niveles).

β_j es el efecto del j -ésimo tiempo de almacenamiento (1 y 7 días; 2 niveles).

$(\tau\beta)_{ij}$ es la interacción formulación*tiempo.

ρ_l es el efecto del l -ésimo lote de elaboración (3 lotes).

ε_{ijl} es el error aleatorio experimental.

Con los resultados de la prueba sensorial, se realizó un análisis de conglomerados con el programa XLSTAT (versión 2022; Vidal et al., 2020), con el objetivo de identificar subgrupos de panelistas con niveles de agrado similares para las distintas formulaciones de kéfir. Posteriormente, se realizó un ANDEVA para cada subgrupo, aplicando una prueba LSD en el caso de encontrar diferencias significativas entre los tratamientos.

RESULTADOS

Evaluación fisicoquímica del kéfir de leche con sabor a fresa

Al evaluar, por medio de un análisis de varianza, los datos de las variables respuesta correspondientes a los diferentes tratamientos de formulación de kéfir (proporción de leche de vaca/leche de cabra), se evidenciaron diferencias significativas entre las medias para la viscosidad ($p < 0.0001$), porcentaje de sinéresis ($p < 0.0001$), porcentaje de alcohol ($p < 0.0001$) y en los parámetros de color L^* ($p = 0.001$), b^* ($p < 0.001$) y C^* ($p < 0.01$). Además, al considerar el efecto del tiempo de almacenamiento, se observaron diferencias significativas para todas las variables, excepto para las variables de color b^* ($p > 0.05$) y C^* ($p > 0.05$), las demás variables evaluadas presentaron diferencias significativas según el tiempo de almacenamiento ($p < 0.01$, en todos los casos).

En cuanto a las interacciones, se observó un efecto significativo entre la formulación y el tiempo de almacenamiento para el pH, el índice de ATECAL, el porcentaje de sinéresis y la viscosidad ($p < 0.0001$, en todos los casos). Finalmente, se identificó un efecto del lote sobre el pH, el índice de ATECAL, el porcentaje de sinéresis, el porcentaje de alcohol y los parámetros de color a^* y h° ($p < 0.001$, en todos los casos).

Acidez titulable y pH

Se observó que, durante el periodo de fermentación, el pH disminuyó con mayor rapidez en las formulaciones con mayor proporción de leche bovina. No obstante, durante el almacenamiento, la disminución del pH fue más pronunciada en los kéfirs con mayor inclusión de leche caprina. Esto indica que el efecto del tiempo sobre el pH depende de la formulación, lo cual explica la interacción entre ambos factores.

En la Figura 1 (A) se presenta la variación del pH en los días 1 y 7 de almacenamiento, encontrándose valores finales entre 4,2 y 4,3, para todas las formulaciones. De manera similar, la acidez titulable aumentó durante el almacenamiento en todas las muestras. El kéfir elaborado con leche caprina mostró el mayor incremento en la acidez al finalizar el periodo, a pesar de presentar el valor inicial más bajo. Por el contrario, el kéfir elaborado con leche bovina presentó el menor incremento, aun cuando su acidez inicial fue la más alta (Figura 1 (B)). Estos resultados evidencian la interacción formulación*tiempo.

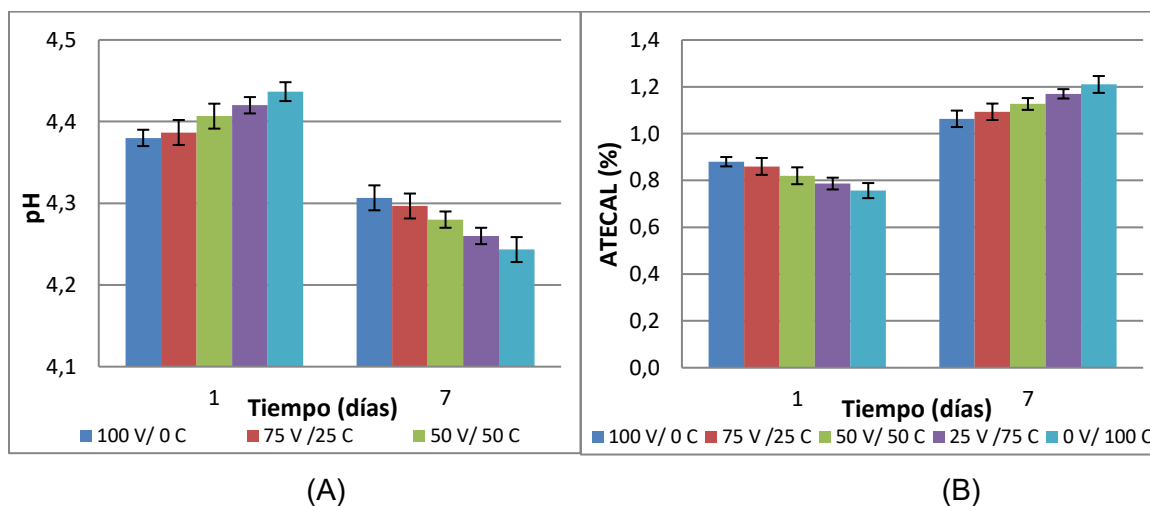


Figura 1. Comportamiento del pH (A) y de la acidez titulable (B) en los días 1 y 7 del periodo de almacenamiento del kéfir elaborado con diferentes inclusiones de leche bovina y/o caprina.

Viscosidad, porcentaje de sinéresis y porcentaje de alcohol

Los resultados correspondientes a la viscosidad y el porcentaje de sinéresis se pueden observar en la Figura 2. En el caso de la viscosidad, se observó que, a medida que aumentó la proporción de leche caprina en la formulación, la viscosidad disminuyó; mientras que, conforme avanzó el tiempo de almacenamiento, la viscosidad aumentó (Figura 2 (A)). El efecto del tiempo sobre este parámetro fue más marcado en la formulación 50 V/50 C, lo que explica la interacción formulación*tiempo, identificada para la viscosidad. Además, en la Figura 2 (A) se aprecia que la disminución de la viscosidad asociada a la inclusión de leche de vaca alcanza un punto de estabilización, de modo que incrementar la proporción de leche caprina por encima del 50% no causó variaciones adicionales relevantes en este parámetro.

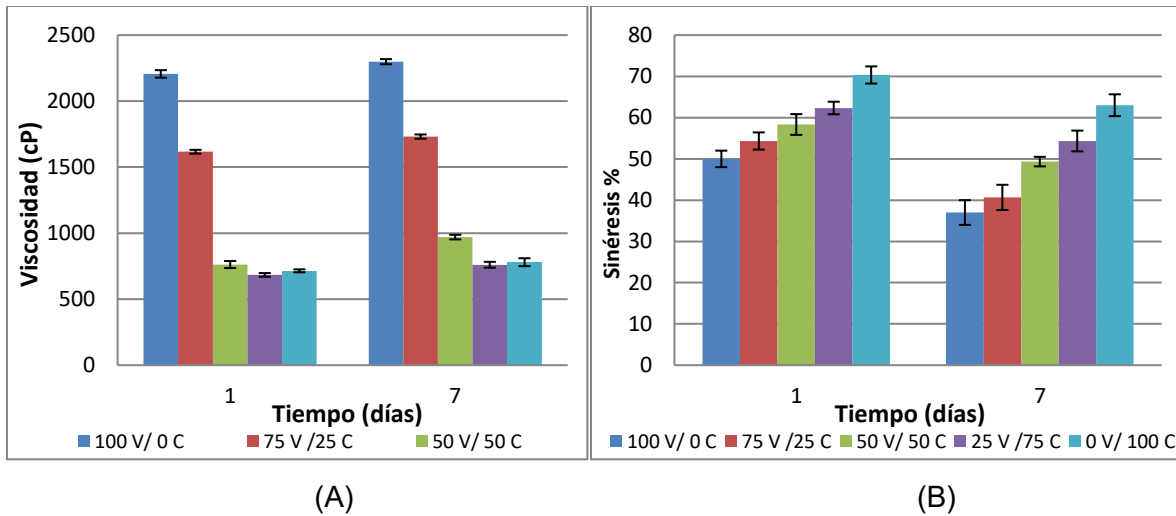


Figura 2. Comportamiento de la viscosidad (A) y del porcentaje de sinéresis (B) en los días 1 y 7 del periodo de almacenamiento del kéfir elaborado con diferentes inclusiones de leche bovina y/o caprina.

En el caso de la sinéresis (Figura 2 (B)), se observó que el porcentaje de este aumentó conforme se incrementó la proporción de leche caprina, de modo que la formulación 0 V/100 C presentó la mayor separación de suero, mientras que la formulación 100 V/0 C mostró la menor. Por otra parte, el tiempo de almacenamiento generó una disminución de la sinéresis en todas las formulaciones. Este efecto fue más marcado en las formulaciones 100 V/0 C y 75 V/25 C, lo que explica la interacción formulación*tiempo que fue encontrada para este parámetro.

Los resultados del porcentaje de alcohol se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Porcentaje de alcohol del kéfir según formulación (porcentaje de inclusión de leche bovina y/o caprina utilizada).

Formulación	Porcentaje de alcohol (% v/v) *
0 V/100 C	0,71 ^e ± 0,03
25 V/75 C	0,76 ^d ± 0,02
50 V/50 C	0,81 ^c ± 0,02
75 V/25 C	0,87 ^b ± 0,03
100 V/0 C	0,93 ^a ± 0,02

*Promedios reportados con letras distintas presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) basadas en la prueba de medias HSD de Tukey.

La comparación de valores medios obtenidos para el porcentaje de alcohol en las diferentes formulaciones de kéfir, según la inclusión de leche bovina, correspondió a un mayor contenido alcohólico; en consecuencia, la formulación 100 V/0 C presentó el valor más alto ($p \leq 0.05$). Por otra parte, el contenido promedio de alcohol aumentó ligeramente durante el almacenamiento, pasando de $0,80 \pm 0,08\%$ en el día 1 a $0,83 \pm 0,08\%$ en el día 7.

Evaluación de color

En el Cuadro 2 se presentan los valores medios de los parámetros de color para las distintas formulaciones de kéfir en los dos momentos de medición . Se observó una disminución en los valores de L*, b* y C*, conforme aumentó el porcentaje de inclusión de leche caprina en la formulación.

Cuadro 2. Promedio de los parámetros de color del kéfir L* (luminosidad), a* (rojo y verde), b* (amarillo y azul), C* (intensidad de luminosidad) y h° (tono), según formulación (porcentaje de inclusión de leche bovina y/o caprina utilizada) y tiempo de medición.

Formulación	Parámetro de color*				
	L*	a*	b*	C*	h°
Día 1					
0 V/100 C	84,2 ^c ± 3,1		7,2 ^b ± 0,7	7,8 ^b ± 1,0	
25 V/75 C	85,3 ^{bc} ± 2,2		9,3 ^a ± 1,4	9,8 ^{ab} ± 1,3	
50 V/50 C	85,7 ^{abc} ± 2,1	4,1 ± 1,5	9,5 ^a ± 1,6	10,0 ^{ab} ± 1,7	65,8 ± 7,3
75 V/25 C	87,6 ^{ab} ± 1,4		10,3 ^a ± 0,9	10,8 ^a ± 0,8	
100 V/0 C	87,7 ^a ± 1,3		10,7 ^a ± 0,8	11,2 ^a ± 0,9	
Día 7					
0 V/100 C			7,5 ^b ± 0,6	7,6 ^b ± 0,6	
25 V/75 C			9,8 ^{ab} ± 1,8	9,8 ^{ab} ± 1,8	
50 V/50 C	87,6 ± 1,7	1,2 ± 0,6	10,0 ^{ab} ± 1,4	10,1 ^{ab} ± 1,4	83,0 ± 3,8
75 V/25 C			10,7 ^{ab} ± 1,0	10,8 ^{ab} ± 1,0	
100 V/0 C			11,0 ^a ± 1,0	11,1 ^a ± 1,0	

*Promedios reportados con letras distintas en cada columna presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) basadas en la prueba de medias HSD de Tukey. Valores únicos en cada columna representan la media general de los tratamientos al no existir diferencias significativas ($p > 0.05$).

Evaluación microbiológica del kéfir de leche con sabor a fresa

En el análisis microbiológico, únicamente se evidenció crecimiento de levaduras, sin presencia de mohos. El logaritmo del recuento de levaduras estuvo influenciado por la formulación del kéfir ($p = 0.0004$), el tiempo de almacenamiento ($p < 0.0001$) y el lote ($p < 0.0001$). En el Cuadro 3 se presentan los valores promedio por formulación, donde se observa que la formulación 100 V/0 C presentó los mayores recuentos y fue la única que difirió significativamente de las demás. Además, entre los días 1 y 7, la población promedio de levaduras aumentó de $5,54 \pm 0,46$ a $5,86 \pm 0,40$, respectivamente.

En el caso de los coliformes termotolerantes, no se encontró presencia en ninguna de las formulaciones (< 3 NMP/g), de modo que no fue necesario realizar la prueba confirmatoria para *E. Coli*, considerándose su ausencia en todos los casos.

Cuadro 3. Promedio del logaritmo del recuento de levaduras según formulación (porcentaje de inclusión de leche bovina y/o caprina utilizada).

Formulación	Recuento de levaduras (log UFC/g) *
0 V/100 C	$5,57^b \pm 0,51$
25 V/75 C	$5,64^b \pm 0,57$
50 V/50 C	$5,66^b \pm 0,43$
75 V/25 C	$5,61^b \pm 0,35$
100 V/0 C	$6,00^a \pm 0,41$

*Promedios reportados con letras distintas presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) basadas en la prueba de medias HSD de Tukey.

Evaluación sensorial del kéfir de leche con sabor a fresa

Los datos de agrado permitieron la clasificación de los panelistas en cuatro conglomerados mediante el análisis de CAJ, empleando el método de Ward. Los resultados del CAJ se muestran en el Cuadro 4, así como la cantidad y el porcentaje de panelistas de cada

conglomerado. La distribución de participantes entre los cuatro grupos fue homogénea, siendo el conglomerado 2 el de mayor tamaño, con un 30% del total de panelistas.

Cuadro 4. Distribución de panelistas por conglomerado según el análisis de CAJ.

Conglomerado	Número de panelistas	Porcentaje de panelistas (%)
1	29	28
2	31	30
3	21	20
4	23	22
Total	104	100

Los datos obtenidos en las encuestas indicaron que la mayoría de los entrevistados nunca había consumido leche de cabra y/o kéfir, seguidos por quienes los habían consumido únicamente una vez y, en menor proporción, aquellos que los consumían de forma esporádica. Solo se registró un caso de consumo frecuente de ambos productos.

El análisis de varianza aplicado a los valores de agrado dentro de cada conglomerado reveló diferencias significativas en la aceptación general según la formulación ($p < 0.001$). Esto confirma que, dentro de un mismo grupo, el nivel de preferencia varía en función de la proporción de leche bovina y caprina utilizada en el kéfir. Además, el factor panelista resultó significativo en todos los conglomerados ($p < 0.01$), excepto en el número 4, lo que sugiere que la respuesta sensorial de los panelistas no fue homogénea en la mayoría de los casos.

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de agrado general para cada conglomerado, así como la comparación de medias LSD de Fisher. En el 1, las formulaciones 75 V/25 C y 100 V/0 C tuvieron los niveles de aceptación más altos, sin diferencias significativas entre sí. En

contraste, la formulación 0 V/100 C y el producto comercial fueron los menos aceptados, ubicándose en la zona de desagrado de la escala, también sin diferencias entre sí. Las formulaciones restantes obtuvieron niveles de aceptación intermedios bajos, diferenciándose tanto entre ellas como respecto a las muestras.

Cuadro 5. Comparación de medias estadísticas bajo el método LSD de Fisher para el agrado general para las diferentes formulaciones experimentales (proporción de leche de vaca/leche de cabra %).

Formulación	Promedio de agrado general*			
	Conglomerado 1	Conglomerado 2	Conglomerado 3	Conglomerado 4
0 V/100 C	2,1 ^d ± 1,4	6,7 ^b ± 1,3	1,2 ^c ± 1,3	4,8 ^{a,b} ± 1,6
25 V/75 C	3,3 ^c ± 2,6	6,3 ^b ± 2,3	1,6 ^c ± 1,6	5,1 ^{a,b} ± 2,4
50 V/50 C	5,1 ^b ± 2,7	8,1 ^a ± 1,4	2,9 ^b ± 2,3	5,6 ^a ± 1,7
75 V/25 C	7,6 ^a ± 1,9	8,6 ^a ± 1,0	5,7 ^a ± 2,8	5,7 ^a ± 2,0
100 V/0 C	7,2 ^a ± 1,6	7,9 ^a ± 1,3	2,1 ^{b,c} ± 1,6	4,2 ^b ± 1,7
Comercial	1,8 ^d ± 2,6	3,5 ^c ± 3,0	2,2 ^{b,c} ± 1,8	2,9 ^c ± 1,7
Valor LSD	1,05	0,87	1,09	1,12

*Promedios reportados con letras distintas en una misma columna presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) basadas en la prueba de medias LSD de Fisher.

En el conglomerado 2 se obtuvieron las valoraciones más altas entre todos los grupos. Las formulaciones 75 V/25 C, 50 V/50 C y 100 V/0 C no presentaron diferencias significativas entre sí y fueron las mejor aceptadas por los panelistas. En contraste, la muestra comercial obtuvo las calificaciones más bajas de los grupos. Las demás formulaciones recibieron valoraciones intermedias altas, diferenciándose significativamente del resto de los tratamientos, pero no entre ellas.

Con respecto al conglomerado 3, este presentó los niveles de agrado más bajos entre los grupos evaluados. Únicamente la formulación 75 V/25 C alcanzó la zona de indiferencia (valor promedio ligeramente superior a 5 puntos), diferenciándose significativamente de todas las demás. El resto de las formulaciones obtuvieron calificaciones inferiores a 3 puntos, siendo las menos aceptadas 0 V/100 C y 25 V/75 C, que solo se diferenciaron significativamente de 75 V/25 C y de 50 V/50 C.

En el conglomerado 4 se observó la menor variabilidad, ubicándose todas las formulaciones experimentales cerca de la zona de indiferencia. El producto mejor valorado fue 75 V/25 C, el cual solo se diferenció del 100 V/0 C y del kéfir comercial. Este último presentó una calificación muy baja, en la zona de desagrado, y resultó significativamente distinta de todas las demás muestras.

Contrastando los grupos encontrados, únicamente en el 1 y 2, los consumidores otorgaron valoraciones de agrado altas a algunos de los kéfires, siendo los mejores valorados el 75 V/25 C y el 100 V/0 C. Por su parte, la muestra comercial se ubicó entre las peor calificadas en todos los conglomerados. Las formulaciones 0 V/100 C y la 25 V/75 C fueron, en general, las menos aceptadas. Finalmente, mientras que en el conglomerado 4 predominó la indiferencia por los kéfires evaluados, en el conglomerado 3 prevaleció el desagrado. No obstante, en ambos casos el producto mejor valorado en estos dos grupos fue el kéfir 75 V/25 C, al igual que en los conglomerados 1 y 2.

DISCUSIÓN

El aumento del pH y la consecuente disminución de la acidez titulable observados en el día 1 en las formulaciones con mayor contenido de leche de cabra pueden asociarse a la mayor capacidad amortiguadora (buffer) de este tipo de leche en comparación con la leche bovina. Una mayor capacidad buffer implica que se requiere una mayor cantidad de ácido para generar cambios apreciables en el pH y en la acidez titulable del producto (Sarica y Coşkun, 2021). En contraste, Baniyadi et al. (2021) no observaron diferencias significativas entre el pH o la acidez titulable del kéfir elaborado con leche de vaca o con la de cabra. Por su parte, Januário et al. (2016), trabajando con granos de kéfir y leche bovina, reportaron valores ligeramente superiores de pH y acidez titulable con respecto a los obtenidos en el presente estudio, luego de 24 horas de fermentación.

Durante el almacenamiento se observó una disminución progresiva del pH acompañada de un aumento en la acidez titulable de todas las formulaciones. Como señalan Setiawati et al. (2021), existe una relación inversa entre el pH y la acidez titulable; valores bajos de pH reflejan una mayor presencia de ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico, los cuales se cuantifican mediante la valoración con hidróxido de sodio (NaOH), resultando en valores mayores de acidez titulable conforme el producto se acidifica.

La acidificación del kéfir se logra por un proceso de fermentación realizado con un cultivo mixto y complejo de bacterias acidolácticas (BAL), bacterias ácido-acéticas y levaduras que conlleva la hidrólisis de la lactosa y la formación de ácido láctico, aunque también se produce carbonatación suave y pequeñas cantidades de alcohol (Januário et al., 2016; Rosa et al., 2017; Ajam y Koohsari, 2021).

Sin embargo, durante el almacenamiento también se observó una mayor acidificación y descenso del pH conforme aumentó el contenido de leche de cabra en el kéfir, lo cual obedece a varios factores. Por un lado, Dimitrellou et al. (2019) explican que el uso de diferentes tipos de leche puede afectar la tasa de acidificación de las BAL presentes en el

cultivo; aspecto importante que se debe considerar en esta investigación, ya que se utilizó un componente lácteo proveniente de dos especies animales.

Se ha visto que la actividad de BAL puede ser mayor en leche caprina, mientras que su crecimiento puede ser mayor en leche bovina. Adicionalmente, es importante recalcar que la actividad de las bacterias que prefieren desarrollarse en leche bovina se puede ver afectada negativamente por la refrigeración (Mega et al., 2020). Por otro lado, la presencia de enzimas lipasas en la leche, tanto endógenas como exógenas (estas últimas de origen microbiano), conlleva la hidrólisis de los triacilglicéridos con la consecuente liberación de ácidos grasos, relacionándose con la aparición de sabores desagradables (Deeth, 2006; Ray et al., 2013). La leche de cabra es más sensible a la acción de las lipasas (Bidot, 2017), por lo que el contenido de grasa se ha relacionado con la acidez de la leche de cabra en estudios como el de Strzałkowska et al. (2010).

Según las indicaciones comerciales y la ficha técnica del producto utilizado para la elaboración del kéfir, el valor de pH esperado ronda los 4,3 (SACCO, 2010); sin embargo, Januário et al. (2016) recomiendan valores de pH próximos a 4,5 para leche fermentada, ya que valores inferiores pueden llevar al rechazo de los productos por parte de los consumidores.

Según el Reglamento Técnico de Costa Rica para Leches Fermentadas, el kéfir debe presentar una acidez titulable mínima de 0,6% (SCIJ, 2008). De acuerdo con los resultados encontrados, ambas mediciones durante el periodo de almacenamiento cumplen con el porcentaje de acidez requerido en cada formulación de kéfir, lo que confirma un proceso de fermentación exitoso y conforme a la normativa vigente. Por su parte, Januário et al. (2016) recomiendan valores de acidez titulable cercanos a 0,9% de ácido láctico para bebidas kéfir, ya que estos niveles contribuyen a un sabor fresco y ligeramente ácido; concentraciones mayores generan una sensación ácida desagradable. Los mismos autores sugieren tiempos de fermentación de 24 horas a 25 °C, mientras que en el presente estudio se utilizaron 17 h a 30 °C, condiciones que, según los resultados obtenidos, son equivalentes

para alcanzar la acidez deseada y comparables a las aplicadas por Januário et al. (2016).

En cuanto a la viscosidad, es importante considerar que la leche bovina utilizada fue previamente homogeneizada, mientras que la leche caprina comercial comúnmente no lo es. Esto se debe a características propias del producto, como el menor tamaño de sus glóbulos grasos, y a limitaciones propias de los productores caprinos. Mercan et al. (2018) mencionan que la homogeneización incrementa la viscosidad de la leche, lo cual explica por qué el kéfir elaborado exclusivamente con leche bovina (100 V/0 C) presentó la mayor viscosidad, disminuyendo a medida que se incrementó la proporción de leche caprina.

No obstante, los resultados en el presente estudio concuerdan con lo reportado por Darnay et al. (2021), donde a partir de una investigación de leches fermentadas se menciona que factores propios de la leche bovina, como una mayor cantidad de sólidos totales o el tipo de proteínas, pueden provocar un incremento en la viscosidad en comparación con la caprina. Adicionalmente, las propiedades físicas del gel formado por la leche caprina pueden verse afectadas por su inestabilidad al calor, ya que se pueden dar pérdidas importantes de proteínas por precipitación durante el tratamiento térmico, lo cual afecta directamente la capacidad de formación de geles. De igual forma, se ha visto que las caseínas en leche caprina alcanzan su punto isoeléctrico a valores de pH bajos, rondando los 4,2 en comparación con la leche bovina que lo hace a pH de 4,6, por lo que, en las muestras de kéfir con leche caprina, los valores de pH logrados aún no son suficientemente bajos para alcanzar el pico más alto en el desarrollo de la estructura del gel (Baniyadi et al., 2021).

Aun así, el aumento de la viscosidad del kéfir en el tiempo de almacenamiento puede aplicarse a otras leches fermentadas, pero se asocia con dos factores principalmente relacionados con el yogurt (Putri et al., 2020). El primer factor corresponde al cambio en la consistencia debido a la refrigeración, dado que la estructura del gel tiende a solidificarse, mejorando su consistencia. Este efecto también fue observado por Putri et al. (2020) en

kéfir, quienes reportaron un aumento de la viscosidad entre los días 2 y 7 de almacenamiento en refrigeración, seguido de una disminución en días posteriores.

La presencia de pectinas provenientes de la fresa es el segundo factor, ya que estas impactan directamente la consistencia del producto, principalmente en los primeros 10 días de almacenamiento a causa de la hidratación del medio (Harmankaya et al., 2019). Otros estudios donde se realizaron mediciones de viscosidad, reportaron valores constantes a lo largo del periodo experimental; sin embargo, en estos no se adicionó ningún tipo de pulpa de fruta o ingredientes saborizantes adicionales (Alves et al, 2021), lo cual podría asociarse con los bajos valores de viscosidad obtenidos (24-32 cP), en comparación con las fórmulas propuestas en el presente estudio, donde se obtuvieron viscosidades superiores a los 500 cP; y se dio además la adición de estabilizantes.

En términos del porcentaje de sinéresis, investigaciones como la de Darnay et al. (2021) concuerdan con el efecto en el incremento del contenido de leche caprina y reportan un porcentaje de pérdida de suero cercano al 40% para el kéfir de leche bovina y uno superior al 70% para el kéfir de leche caprina. Asimismo, Sarica y Coşkun (2021) reportaron una relación inversa entre las variables del porcentaje de sinéresis y la viscosidad, característica que se considera deseable en la elaboración de kéfir, ya que, usualmente, una alta viscosidad y un bajo porcentaje de sinéresis se asocian con una buena consistencia. Este mismo efecto se observó en las formulaciones del presente estudio donde las fórmulas de mayor viscosidad fueron las de menor pérdida de suero.

Según la literatura, los aditivos como los estabilizantes en el kéfir juegan un papel muy importante, debido a que tienen la función de ligar el agua insertada en la estructura del gel (Chadha et al., 2025) y, a su vez, mejorar la hidratación de las proteínas presentes, aumentando así la capacidad de retención de agua. Además, estos pueden ser particularmente útiles, ya que se ha visto que el porcentaje de sinéresis tiende a disminuir conforme pasa el tiempo de almacenamiento cuando se implementan como parte de la fórmula (Darnay et al., 2021). Asimismo, estos aditivos forman conexiones con las moléculas

de caseína, lo cual disminuye el porcentaje de sinéresis y mejora la viscosidad y consistencia del producto final (Rafiq et al., 2020). Otros autores, como dos Santos et al. (2019) y Temiz y Dağyıldız (2017), también observaron un efecto positivo ante el uso de estabilizantes en kéfir, confirmando una disminución del porcentaje de sinéresis durante el periodo de almacenamiento.

Por otra parte, en términos del porcentaje del alcohol, según la regulación nacional establecida por el Reglamento Técnico de Costa Rica para Leches Fermentadas, no se define un límite específico para kéfir (SCIJ, 2008); no obstante, en diversos países la normativa existente establece que el kéfir suave debe presentar un mínimo de 0,5% y un máximo de 1,5% de alcohol, mientras el kéfir fuerte puede exhibir un máximo de 3% (Trujillo, 2019). Utilizando esta regulación, los valores reportados se encuentran dentro del margen esperado para un kéfir suave, explicados en el uso de un tipo de fermentación intermedia (temperatura inferior al máximo de 37 °C y tiempo muy por debajo de las 24 horas).

Según Abou-Ayana y Saber (2016), el porcentaje de alcohol del kéfir puede verse afectado principalmente por tres factores: el tipo de leche, la cantidad de cultivo añadido y la temperatura del proceso. En el caso del presente estudio, tanto la cantidad de cultivo como la temperatura se mantuvieron constantes a lo largo del periodo experimental; por lo tanto, es posible afirmar que las diferentes combinaciones de leche de cabra y vaca tienen un efecto importante en la cantidad de alcohol generado en el kéfir. El que fue elaborado exclusivamente con leche bovina presentó un mayor porcentaje de alcohol, contribuyendo a un mayor contenido de lactosa en este tipo de leche, ya que este nutriente es utilizado como único recurso para la producción de etanol en el kéfir (Parrales, 2014).

Si bien la refrigeración disminuye drásticamente la actividad enzimática de los cultivos lácteos del kéfir, no es posible detenerla por completo, y es por ello por lo que se da un aumento en el contenido de etanol con el paso del tiempo (Temiz y Dagyldiz, 2017), siendo progresiva hasta el agotamiento de la lactosa en el medio. Aunque otra alternativa para

evitar la producción alcohólica, según Setiawati et al. (2021), es la congelación del producto. En cuanto a los parámetros de color, se observó una disminución en el valor de L^* conforme aumentó la proporción de leche caprina, lo que difiere de lo reportado por Giraldo (2023), quien encontró valores más altos de L^* en la leche caprina entera respecto a la bovina. Según la literatura, se esperaría que un mayor contenido de leche de cabra incrementara la luminosidad del producto, dada la tonalidad más blanca que caracteriza este tipo de leche, en contraste con la coloración amarillenta de la leche bovina, asociada a la presencia de carotenoides (Sarica y Coşkun, 2020). Este comportamiento se relaciona con la conversión de dichos pigmentos en vitamina A, de tonalidad incolora, proceso que ocurre por la acción de la enzima 15,15'-dioxigenasa, responsable de catalizar esta reacción (Baquero, 2020; Mora y Shimada, 2020).

Otros investigadores, como Baquero (2020), no encontraron diferencias significativas entre los valores de L^* en leche saborizada de vaca ni de cabra; sin embargo, esto se debe a la adición de colorantes que ocultan las diferencias de color esperadas. Asimismo, Sanmiguel y Villa (2021) utilizaron diferentes "toppings" de frutas en helado, incluyendo el de fresa, pero no hallaron diferencias significativas de luminosidad entre ellas; no obstante, en esa investigación se determinó que la presencia de trozos de fresa provoca una alteración en la relación entre la luz reflejada y la absorbida, causando tonalidades más oscuras en comparación con el producto sin colorante. No obstante, como se observa en el Cuadro 2, los valores de L^* aumentaron con el paso del tiempo debido a la pérdida de color de la pulpa de fresa, lo que incrementó la luminosidad del kéfir y le hizo adquirir un tono más blanco.

Tal como señalan Álvarez-Figueroa et al. (2022), la escala de color amarillo-azul se representa mediante el parámetro b^* de la escala CIELab, donde valores positivos indican una tendencia hacia el amarillo y valores negativos hacia el azul. En este estudio se observó una disminución en los valores de b^* conforme aumentó la proporción de leche caprina en el kéfir, lo cual puede atribuirse al color amarillento característico de la leche bovina.

Además, este parámetro también pudo verse influenciado por la adición de pulpa de fresa, efecto previamente reportado por otros autores (Chacón-Villalobos et al., 2016).

Por su parte, Álvarez-Figueroa et al. (2022) mencionan que la escala de color rojo-verde se expresa mediante el parámetro a^* , donde valores positivos corresponden al eje rojo. De acuerdo con Baquero (2020), el único factor que modificó la tonalidad rojiza en leches saborizadas elaboradas con distintas proporciones de leche bovina y caprina fue la adición de colorante en la formulación. Este hallazgo coincide con los resultados del presente estudio, en el cual no se observaron diferencias significativas en los valores de color entre las diferentes proporciones de leche utilizadas.

Además, se observó una disminución del parámetro a^* durante el periodo de almacenamiento, lo cual se relaciona principalmente con la pérdida de coloración aportada por la pulpa de fresa. Este ingrediente contiene antocianinas, las cuales pueden degradarse durante el procesamiento y la conservación debido a factores como la temperatura, el pH, el oxígeno, la intensidad lumínica, la concentración o la actividad enzimática. Esto convierte a dichos compuestos en un factor limitante para la estabilidad del color en los alimentos (Flores-Aguilar y Flores-Rivera, 2018; Arrazola et al., 2014).

Diversos autores han documentado la pérdida progresiva de coloración en alimentos debido a la degradación de antocianinas, fenómeno especialmente evidente en jugos y bebidas elaboradas con ingredientes como arándano y berenjena. Aunque la fresa no sea uno de los frutos más estudiados en este contexto, la presencia de antocianinas en su composición la hace susceptible al mismo proceso (Flores-Aguilar y Flores-Rivera, 2018; Arrazola et al., 2014; Zapata et al., 2016). Incluso se ha reportado que la refrigeración puede disminuir parcialmente la velocidad de decoloración; sin embargo, la degradación continúa siendo considerable (Zapata et al., 2016).

El tono del color se expresa mediante el parámetro h° , correspondiente al ángulo de tonalidad dentro del sistema del color. Este parámetro permite identificar de manera

práctica el color aproximado del alimento, donde el ángulo 0° representa el rojo, 90° el amarillo, 180° el verde y 270° el azul (Nielsen, 2014). En el presente estudio, el valor inicial de h° fue cercano a 65° y aumentó hasta aproximadamente 83° al final del almacenamiento, lo que indica una transición desde tonalidades anaranjadas hacia tonalidades más amarillas.

En relación con el recuento microbiológico, tanto el Reglamento Técnico Centroamericano como el Reglamento Técnico de Costa Rica para Leches Fermentadas establecen que el kéfir debe contener un mínimo de 10⁴ UFC/g (4 log UFC/g) de levaduras y un máximo de 3 NMP/g o 10 UFC/mL de *E. coli*, con el fin de garantizar la inocuidad y las características propias del producto (SCIJ, 2008; RTCA, 2017). En este estudio, todas las formulaciones elaboradas cumplieron con los valores mínimos requeridos de levaduras, registrándose recuentos entre 5,5 y 6 log UFC/g. El mayor crecimiento observado en la formulación 100 V/0 C puede deberse a características propias de la leche bovina o a factores asociados a su manejo; no obstante, aunque las diferencias fueron significativas, su magnitud fue reducida y no representa un efecto negativo sobre la calidad del producto.

Además, la ausencia de mohos en todas las formulaciones indica una adecuada simbiosis entre levaduras y bacterias, así como una correcta eficacia del preservante utilizado (Gonda et al., 2019; Zhimo et al., 2020). Por otra parte, se ha señalado que las variaciones en la composición microbiana, particularmente de BAL, se relacionan estrechamente con los cambios en el pH del producto. De este modo, conforme aumenta la acidez del kéfir, también tienden a incrementarse las poblaciones de levaduras (Trujillo, 2019). En concordancia con lo anterior, en el presente estudio se observó un aumento leve, pero significativo en el recuento de levaduras entre los días 1 y 7 de almacenamiento.

Asimismo, según los resultados obtenidos, el proceso de pasteurización aplicado tanto a la leche bovina como caprina puede considerarse correcto, ya que el recuento de bacterias termotolerantes en los kéfires no fue significativo. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Rodríguez y Del Campo (2014), quienes indican que este tipo de bacterias, presentes de manera habitual en el ambiente, pueden ocasionar contaminación posterior

si la pasteurización no se realiza correctamente, afectando de forma negativa la calidad del producto.

Por otra parte, el análisis sensorial evidenció que los kéfires elaborados en esta investigación, independientemente de la proporción de leche caprina, mostraron un nivel de agrado superior en comparación con la formulación comercial. Esta última, elaborada a base de leche bovina, se ubicó entre las muestras menos agradables en todos los conglomerados y fue la de menor agrado en dos de ellos. No obstante, es importante considerar que la mayoría de los panelistas no estaban familiarizados con el consumo de kéfir, pues su frecuencia de consumo no era regular. Un elemento para considerar que podría haber influido en la menor evaluación sensorial del kéfir comercial frente a las formulaciones desarrolladas en el presente estudio, es la diferencia en su composición y presentación. Destaca en el producto comercial la inclusión de semillas de chía, el empleo de leche descremada en lugar de leche entera, y la utilización de trozos de fresa en sustitución de pulpa homogénea. Si bien se mantuvo constante el tipo de edulcorante (Stevia), la cantidad incorporada fue inferior en el producto comercial, lo que podría haber incidido en la percepción organoléptica general por parte de los panelistas. Asimismo, se debe contemplar que tanto la formulación propuesta como el kéfir comercial fueron elaborados con diferentes factores de procesamiento como temperatura, tiempo de fermentación y cultivo utilizado. Aunque estos se desconozcan en el kéfir comercial, cuentan con una alta probabilidad de que difieran con los propuestos en este estudio, lo que incrementa la capacidad de elección en los panelistas.

El relativamente bajo nivel de agrado observado en los conglomerados 3 y 4 puede explicarse por el pH bajo de todas las formulaciones, ya que, como se mencionó anteriormente, valores inferiores a 4,5 en bebidas lácteas pueden generar rechazo sensorial (Januário et al., 2016).

La mezcla de leche que obtuvo la mayor aceptación en todos los conglomerados, y puntuaciones particularmente altas en dos de ellos, fue la formulación 75 V/25 C. Este

resultado coincide con investigaciones previas realizadas en otros productos lácteos, tales como yogurt (Rojas-Castro et al., 2007), dulce de leche (Chacón-Villalobos et al., 2013) y helados (Chacón-Villalobos et al., 2016), en las que la inclusión de leche de cabra produjo niveles de aceptación similares o incluso superiores a los de productos elaborados exclusivamente con leche bovina.

CONSIDERACIONES FINALES

La inclusión de leche caprina en la elaboración del kéfir provocó una disminución en el porcentaje de alcohol, la viscosidad y los parámetros de color, además de un aumento en el porcentaje de sinéresis. No obstante, esta variación en la composición no afectó los valores de pH ni de acidez titulable. Por su parte, el almacenamiento ejerció un efecto notable sobre las formulaciones, reflejado en el incremento de la acidez titulable, la viscosidad, el porcentaje de alcohol y el parámetro de color L^* , así como en la disminución del pH, el porcentaje de sinéresis y el parámetro de color a^* .

Ni la formulación ni el tiempo de almacenamiento generaron diferencias significativas en los resultados microbiológicos. Todas las formulaciones cumplieron con el valor mínimo requerido de levaduras y presentaron recuentos de coliformes termotolerantes por debajo del límite permitido, lo que confirma condiciones adecuadas de inocuidad y fermentación.

En cuanto al análisis sensorial, el agrado general fue mayor para los kéfires elaborados en este estudio en comparación con el kéfir comercial. Entre estas formulaciones, la mezcla con 75% de leche bovina y 25% de leche caprina obtuvo las puntuaciones más altas de preferencia, además de ubicarse dentro de las formulaciones con características fisicoquímicas más favorables. Por lo tanto, esta formulación se considera la más adecuada para la elaboración de kéfir con sabor a fresa.

AGRADECIMIENTOS

Se extiende un agradecimiento a la Escuela de Tecnología en Alimentos de la Universidad de Costa Rica por su apoyo y disposición y al Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica por el apoyo financiero brindado durante la ejecución de los análisis microbiológicos para esta investigación. Igualmente se agradece a la Estación Experimental Alfredo Volio Mata por el apoyo logístico.

LITERATURA CITADA

- Abou-Ayana, I., & Saber, W. (2016). Optimization of milk type and physical factors for reduction of alcohol content in kefir. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 7 (3), 161-166. doi: 10.21608/jfds.2016.42959
- Ajam, F., & Koohsari, H. (2021). The effect of some fermentation conditions on the production of kefir by kefir grains in fermented milk. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 9 (4), 399-410. doi: 10.22101/JRIFST.2021.259857.1205
- Alvarado, P. (2018). Desarrollo de un bioproceso para la obtención de una bebida funcional a partir de lactosuero en polvo y gránulos de kéfir. Tesis Lic., Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Imbabura, Ecuador. p. 76.
- Álvarez-Figueroa, M.L., Pineda-Castro, M.L., Chacón-Villalobos, A., & Cubero-Castillo, E. (2022). Características fisicoquímicas y sensoriales de leches caprina y bovina enteras, descremadas y deslactosadas. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2), 47039. doi: 10.15517/am.v33i2.47039
- Alves, E., Ntungwe, E., Gregorio, J., Rodrigues, L., Pereira, C., Caleja, C., Pereira, E., Barros, L., & Aguilar, M. (2021). Characterization of kefir produced in household conditions: Physicochemical and nutritional profile, and storage stability. *Foods*, 10 (5), 1057. doi: 10.3390/foods10051057
- AOAC International (Association of Official Analytical Chemists International). (2023). *Official Methods of Analysis*. 22nd Edition, The Association of Official Analytical Chemists,

Gaithersburg, MD, USA.

- Arrazola, G., Herazo, I. & Alvis, A. (2014). Obtención y evaluación de la estabilidad de antocianinas de berenjena (*Solanum melongena* L.) en bebidas. *Información Tecnológica*, 25 (3), 43-52. doi: 10.4067/S0718-07642014000300007
- Bakhshandeh, T., Pourmahd, R., Sharifan, A., & Moghimi, A. (2011). Evaluation of flavor and aroma compounds content in kefir. *Journal of Food Biosciences and Technology*, 1, 11-18.
- Baniasadi, M., Azizkhani, M., Saris, P. E. J., & Tooryan, F. (2021). Comparative antioxidant potential of kefir and yogurt of bovine and non-bovine origins. *Journal of Food Science and Technology*, 59 (4), 1307-1316. doi: 10.1007/s13197-021-05139-9
- Baquero, L. (2020). Evaluación del efecto de distintas proporciones de leche de vaca y cabra sobre las características físicas, químicas y sensoriales de leches saborizadas. Tesis Lic. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. p. 79.
- Bidot, A. (2017). Composición, cualidades y beneficios de la leche de cabra: revisión bibliográfica. *Revista Producción Animal*, 29 (2), 32-41.
- Cabrera-Beltrán, L.J., Guerrero M. J., Enriquez J. M., Lescano L. G. & López, S. G. (2022). Sustitución parcial de la leche bovina por caprina en la elaboración de helados cremosos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6 (5), 4033-4045. doi: 10.37811/cl_rcm.v6i5.3372
- Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B. & Velázquez, O. (2009). Técnicas para el análisis microbiológico de alimentos. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México.
- Chacón-Villalobos, A. & Mora-Valverde, D. (2017). Caracterización sectorial de la caprinocultura en Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*, 11 (2), 23-60. doi: 10.15517/nat.v11i2.31653
- Chacón-Villalobos, A., Pineda-Castro, M. L., & Jiménez-Goebel, C. (2016). Características fisicoquímicas y sensoriales de helados de leche caprina y bovina con grasa vegetal. *Agronomía Mesoamericana*, 27 (1), 19-36. doi: 10.15517/am.v27i1.21875
- Chacón-Villalobos, A., Pineda-Castro, M. L., & Méndez-Rojas, S. (2013). Efecto de la proporción de leche bovina y caprina en las características del dulce de leche. *Agronomía Mesoamericana*, 24 (1), 149-167. doi: 10.15517/am.v24i1.9792

- Chadha, M., Mishra, K., Kumar, S., & Shukla, R. (2025). Chemical and rheological characterization of functional kefir supplemented with basil seed mucilage extract. *Scope*, 15(3), 287-301. doi:10.3329/scope.v15i3.83861
- Costa de Almeida, T., Guiomar de Almeida Brasiel, P., & Potente Dutra Luquetti, S.C. (2022). Kefir de leite mantém a contagem microbiológica com atividade probiótica ao longo do cultivo com predominância dos gêneros *lactococcus* e *aspergillus*. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, 77 (2), 80-91. doi: 10.14295/2238-6416.v77i2.887
- Darnay, L., Toth, A., Csehi, B., Szepessy, A., Horváth, M., Pásztor-Huszár, K. & Laczay, P. (2021). The effect of microbial transglutaminase on the viscosity and protein network of kefir made from cow, goat, or donkey milk. *Fermentation*, 7 (4), 214. doi: 10.3390/fermentation7040214
- Deeth, H. C. (2006). Lipoprotein lipase and lipolysis in milk. *International Dairy Journal*, 16 (6), 555-562. doi: 10.1016/j.idairyj.2005.08.011
- Dimitrellou, D., Salamoura, C., Kontogianni, A., Katsipi, D., Kandyli, P., Zakyntinos, G., & Varzakas, T. (2019). Effect of milk type on the microbiological, physicochemical and sensory characteristics of probiotic fermented milk. *Microorganisms*, 7 (9), 274. doi: 10.3390/microorganisms7090274
- Dos Santos, D.C., Filho, J., Santana, A., De Freitas, B., Silva, F., Pereira, K. & Buranelo, M. (2019). Optimization of soymilk fermentation with kefir and the addition of inulin: Physicochemical, sensory and technological characteristics. *Food Science and Technology*, 104, 30-37. doi: 10.1016/j.lwt.2019.01.030
- Flores-Aguilar, E. & Flores-Rivera, E. (2018). Estabilidad de Antocianinas, Fenoles totales y Capacidad Antioxidante de Bebidas de Maíz Morado (*Zea mays L.*) y Uña de Gato (*Uncaria tomentosa sp.*). *Información tecnológica*, 29 (2), 175-184. doi: 10.4067/S0718-07642018000200175
- Flores-Ayala, K.M., Figueroa González, S.A., Mendoza Lemus, J.I., & Rodríguez Melgar, M.G. (2024). Análisis de Clúster (Conglomerados). Trabajo Investig., Universidad de El Salvador. <https://rpubs.com/Hanlezae/1135890>
- Giraldo, M. (2023). Características físico-químicas y organolépticas del kéfir de leche de cabra

- y lactosuero. Tesis Preg., Universitat Politècnica de València, València, Valencia, España
- Gonda, M., Garmendia, G., Rufo, C., Peláez, A., Wisnieski, M., Droby, S., & Vero, S. (2019). Biocontrol of *Aspergillus flavus* in ensiled sorghum by water kefir microorganisms. *Microorganisms*, 7 (8), 253. doi: 10.3390/microorganisms7080253
- Harmankaya, S., Gülbaz, G. & Kamber, U. (2019). Microbiological, Chemical and Sensory Characteristics of Kefir Prepared with Various Fruit Additives. *Van Veterinary Journal*, 30 (1), 13-18.
- Hatmal, M., Nuirat, A., Zihlif, M. & Taha, M. (2018). Exploring the influence of culture conditions on kefir's anticancer properties. *Journal of Dairy Science*, 101 (5), 3771–3777. doi: 10.3168/jds.2017-13539
- Januário, J. G. B., Lima, T. M., Portella, D. A. C., Januário, C. B., Klososki, S. J. & Pimentel, T. C. (2016). Desenvolvimento de bebidas kefir: padronização dos parâmetros de processo. *Brazilian Journal of Food Research*, 7 (2), 80-95. doi: 10.14685/rebrapa.v7n2.3630
- Kim, D., Jeong, D., Kim, H., & Seo, K. (2019). Modern perspectives on the health benefits of kefir in next generation sequencing era: Improvement of the host gut microbiota. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59 (11), 1782-1793. doi: 10.1080/10408398.2018.1428168
- Lim, J. (2011). Hedonic scaling: A review of methods and theory. *Food quality and preference*, 22 (8), 733-747. doi: 10.1016/j.foodqual.2011.05.008
- Mega, O., Putra Jahidin, J., Binti Sulaiman, N., Yusuf, M., Arifin, M. & Arief, I. (2020). Total count of lactic acid bacteria in goats and cows milk yoghurt using starter *S. thermophilus* RRAM-01, *L. bulgaricus* RRAM-01 and *L. acidophilus* IIA-2B4. *Buletin Peternakan*, 44 (1), 50-56. doi: 10.21059/buletinpeternak.v44i1.42311
- Mercan, E., Sert, D. & Akin, N. (2018). Effect of high-pressure homogenization on viscosity, particle size and microbiological characteristics of skim and whole milk concentrates. *International Dairy Journal*, 87, 93-99. doi: 10.1016/j.idairyj.2018.07.017
- Miller, B. & Lu, C. (2019). Current status of global dairy goat production: an overview. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 32 (8), 1219-1232. doi: 10.5713/ajas.19.0253

- Mora, O. & Shimada, A. (2020). Causas del color amarillo de la grasa de canales bovinos finalizados en pastoreo. *Veterinaria México*, 7 (3), 1-15. doi: 10.22201/fmvz.24486760e.2020.3.926.
- Neerven, J. & Savelkoul, H. (2019). The two faces of cow's milk and allergy: induction of cow's milk allergy vs. prevention of asthma. *Nutrients*, 11, 1945, in Neerven, J. y H. Savelkoul (Eds.) *Cow's Milk and Allergy Special Issue*. *Nutrients*. Editorial MBPI, Basel, Suiza. doi:10.3390/nu11081945
- Nielsen, S. (2014). *Food Analysis*. Editorial Springer, Cham, Switzerland. doi: 10.1007/978-3-031-50643-7
- OECD-FAO (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2022). Lácteos y sus productos. OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2021-2030. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/02b800e9es/index.html?itemId=/content/component/02b800e9-es#section-d1e26248> (Consultado 11 set, 2024)
- Parrales, L. (2014). Elaboración de yogurt batido a base de leche de cabra criolla (*Capra hircus*), endulzado con Stevia (*Stevia rebaudiana*) como alternativa para el consumo. Tesis Lic. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Plaza, C. (2019). Proceso de elaboración del kéfir y su aplicación gastronómica. Tesis Preg. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Pretell, A.M. & Urraca, E.M. (2012). Características fisicoquímicas y aceptabilidad general de un kéfir de leche de vaca (*Bos taurus*) y de cabra (*Capra hircus*). *Pueblo Continente*. 23 (1), 145-154.
- Putri, Y. D., Setiani, N. A. & Warya, S. (2020). The effect of temperature, incubation and storage time on lactic acid content, pH, and viscosity of goat milk kefir. *Current Research on Biosciences and Biotechnology*, 2 (1), 101-104. doi: 10.5614/crbb.2020.2.1/hpmq5042
- Rafiq, L., Zahoor, T., Sagheer, A., Khalid, N., Rahman, U., & Liaqat, A. (2020). Augmenting yogurt quality attributes through hydrocolloidal gums. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33 (2), 323-331. doi: 10.5713/ajas.18.0218

- Ray, P. R., Chatterjee, K., Chakraborty, C. & Ghatak, P. K. (2013). Lipolysis of milk: A review. *International Journal of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine*, 1 (1), 58-74.
- Rodríguez, A.I & Del Campo, J.M. (2014). Análisis microbiológico del yogur kéfir. https://investigacion.uaa.mx/seminario/memoria_abstracts/15seminario/ponencias/m_biom/ADAN_ISRAEL_RODRIGUEZ_HERNANDEZ.pdf (Consultado 12 set, 2024)
- Rojas, W. (2005). Características del yogurt batido de fresa derivadas de diferentes proporciones de leche de vaca y cabra. Tesis Lic. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Rojas-Castro, W. N., Chacón-Villalobos, A. & Pineda-Castro, M. L. (2007). Características del yogurt batido de fresa derivadas de diferentes proporciones de leche de vaca y cabra. *Agronomía Mesoamericana*, 18 (2), 221–237. doi:10.15517/AM.V18I2.5052
- Rosa, D. D., Dias, M. M., Grześkowiak, Ł. M., Reis, S. A., Conceição, L. L., & do Carmo, M. (2017). Milk kefir: nutritional, microbiological and health benefits. *Nutrition Research Reviews*, 30 (1), 82-96. doi: 10.1017/S0954422416000275
- RTCA (Reglamento Técnico Centro Americano). (2017). Alimentos. Criterios Microbiológicos para la Inocuidad de los Alimentos. Reglamento Técnico Centroamericano. RTCA 67.04.50:17. 1ra Revisión.
- SACCO. (2010). Lyofast MT 036 LX, Technical Data Sheet. Sacco System. https://www.greenlivingaustralia.com.au/assets/files/pdf/media/pdf/specs/MT036LV_kefir_culture-GLA.pdf (Consultado 12 set, 2024)
- Salfinger, I., & Tortorello, L. (2015). *Compendium of methods for microbiological examination of foods*. APHA Press, Washington D.C. , Estados Unidos de América. doi: 10.2105/MBEF.0222
- Sanmiguel, J., & Villa, D. (2021). Caracterización fisicoquímica y sensorial de un producto esferificado tipo topping para el sector de helados y refrescos. Tesis Preg., Universidad De Los Andes. <http://hdl.handle.net/1992/55358>

- Sarica, E., & Coşkun, H. (2020). Assessment of durability and characteristics of changes in kefir made from cow's and goat's milk. *Italian Journal of Food Science*, 32 (3), 498-516. doi: 10.14674/IJFS-1803
- Sarica, E. & Coşkun, H. (2021). Effect of frozen storage on some characteristics of kefir samples made from cow's and goat's milk. *Food Science and Technology International*, 28 (2), 157-168. doi: 10.1177/10820132211003710
- SAS (Statistical Analysis System) Institute Inc. (2009). *JMP® 8 Introductory Guide*, Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Setiawati, A., Sari, I., & Hasyat, N. (2021). Effect of temperature and time storage towards alcohol level in cow milk kefir. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 733 (1), 012108. doi: 10.1088/1755-1315/733/1/012108
- SCIJ (Sistema Costarricense de Información Jurídica). (2008). Reglamento Técnico RTCR 414:2008 Yogurt para Consumo Directo. Sistema Costarricense de Información Jurídica. MEIC-MAG.
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=65017&nValor3=95230&strTipM=TC
(Consultado 12 set,2024)
- Strzałkowska, N., Józwick, A., Bagnicka, E., Krzyżewski, J., Horbańczuk, K., Pyzel, B., & Horbańczuk, J. O. (2010). The concentration of free fatty acids in goat milk as related to the stage of lactation, age and somatic cell count. *Animal Science Papers and Reports*, 28 (4), 389-395.
- Temiz, H., & Dağyıldız, K. (2017). Effects of microbial transglutaminase on physicochemical, microbial and sensorial properties of kefir produced by using mixture cow's and soymilk. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37 (4), 606–616. doi: 10.5851/kosfa.2017.37.4.606
- Trujillo, E. (2019). Diseño de un proceso industrial para la elaboración de kéfir en la microempresa de lácteos Camilita. Tesis Preg. Escuela Politécnica Superior de Chimborazo, Riobamba, Chimborazo, Ecuador

- Vidal, N.P., Manful, C.F., Pham, T.H., Stewart, P., Keough, D., & Thomas, R.H. (2020). The use of XLSTAT in conducting principal component analysis (PCA) when evaluating the relationships between sensory and quality attributes in grilled foods. *MethodsX*, 7, 100835. doi: 10.1016/j.mex.2020.100835
- Wong, C. L. & Escalante, L. L. (2014). QM 110 Lab-7 Identificación de compuestos orgánicos. Alcoholes. <https://quimicaorganicaactiva.blogspot.com/2014/02/lab-7-identificacion-de-compuestos.html> (Consultado 12 set, 2024).
- Yilmaz-Ersan, L., Ozcan, T., Akpınar-Bayizit, A. & Sahin, S. (2018). Comparison of antioxidant capacity of cow and ewe milk kefir. *Journal of Dairy Science*, 101 (5), 3788–3798. doi: 10.3168/jds.2017-13871
- Zapata, L., Castagnini, J., Quinteros, C., Carlier, E., Jiménez, M. & Cabrera, C. (2016). Estabilidad de antocianinas durante el almacenamiento de jugos de arándanos. *Vitae Revista de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*, 23 (3), 173-183. doi: 10.17533/udea.vitae.v23n3a03
- Zhimo, V.Y., Biasi, A., Kumar, A., Feygenberg, O., Salim, S., Vero, S., Wisniewski, M. & Droby, S. (2020). Yeast and bacteria consortia from kefir grains are effective biocontrol agents of postharvest diseases of fruits. *Microorganisms*, 8 (3), 428. doi: 10.3390/microorganisms8030428