



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

Características físico-químicas y organolépticas del kéfir de
leche de cabra y lactosuero

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ganadería de Precisión

AUTOR/A: Giraldo Narcizo, Melanie Katherine

Tutor/a: Molina Pons, María Pilar

Cotutor/a: Beltrán Martínez, M^a Carmen

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
Y DEL MEDIO NATURAL

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ganadería de Precisión

Curso 2022-2023



Características fisicoquímicas y organolépticas del kéfir
de leche de cabra y lactosuero

AUTORA:

Melanie Katherine Giraldo Narcizo

TUTORAS ACADÉMICAS:

M^a Carmen Beltrán Martínez

M^a Pilar Molina Pons

Valencia, Septiembre 2023

RESUMEN

“Características fisicoquímicas y organolépticas del kéfir de leche de cabra y lactosuero”

El kéfir es un producto lácteo fermentado con beneficios para la salud que está experimentando un aumento de producción y consumo a nivel global. El objetivo de este trabajo ha sido evaluar el efecto de la inclusión de lactosuero sobre el proceso de elaboración y las características físico-químicas del kéfir de leche de cabra. Para ello, se realizaron tres fabricaciones de kéfir a partir de leche de cabra con distintas concentraciones de lactosuero (0, 10, 20 y 30%) utilizando un fermento comercial. Se estudiaron posibles modificaciones sobre el proceso de elaboración (curva de acidificación) y las características físico-químicas del kéfir (acidez, composición, viscosidad y color) a diferentes tiempos de almacenamiento refrigerado (1, 7, 14 y 21 días). También se realizó un análisis sensorial de los distintos tipos de kéfir tras siete días de almacenamiento.

La inclusión de lactosuero no tuvo ningún efecto significativo sobre el proceso de fermentación empleado en la elaboración del kéfir. Sin embargo, las características del kéfir sí que se vieron afectadas por la inclusión de este subproducto. Así, el kéfir con lactosuero presentó menores valores de acidez titulable ($p < 0,001$) y una menor concentración ($p < 0,001$) de nutrientes principales (grasa y proteína) sin llegar a afectar la viscosidad aparente de este producto ($p > 0,05$). También se encontraron alteraciones significativas del color a medida que se incrementaba la concentración de lactosuero, con menores valores de luminosidad (L^* , $p < 0,001$), índice de rojo (a^* , $p < 0,01$) e índice de amarillo (b^* , $p < 0,01$). La evolución de las características del kéfir con el tiempo de almacenamiento refrigerado fue similar en todos los casos, observando un incremento de la acidez titulable ($p < 0,001$) y de la componente b^* del color ($p < 0,01$) durante los primeros 14 días de almacenamiento.

En cuanto a las características organolépticas del kéfir, el análisis sensorial presentó diferencias significativas para los atributos sabor ácido ($p < 0,001$) y consistencia ($p < 0,01$) con menores puntuaciones a medida que se incrementaba la concentración de lactosuero en el kéfir. Sin embargo, estas diferencias no llegaron a afectar a la aceptación general del producto que fue similar ($p > 0,05$) en todos los casos.

Los resultados indican que el aprovechamiento del lactosuero para la elaboración de kéfir de leche de cabra podría ser una alternativa interesante en pequeñas y medianas queserías que permitiría diversificar su producción contribuyendo a incrementar la sostenibilidad y la economía circular de estas empresas.

Palabras clave: kéfir, lactosuero, leche de cabra

SUMMARY

“Physicochemical and organoleptic characteristics of kefir made from goat milk and whey”

Kefir is a fermented milk product with health benefits that is experiencing an increase in production and consumption globally. The objective of this work was to evaluate the effect of the inclusion of whey on the production process and the physical-chemical characteristics of goat milk kefir. For this purpose, three kefir preparations were made from goat milk with different whey concentrations (0, 10, 20 and 30%) using a commercial ferment. Possible modifications on the production process (acidification curve) and the physicochemical characteristics of kefir (acidity, composition, viscosity and color) were studied at different refrigerated storage times (1, 7, 14 and 21 days). Sensory analysis of the different types of kefir was also carried out after seven days of storage.

The inclusion of whey had no significant effect on the fermentation process used in the production of kefir. However, the characteristics of the kefir were affected by the inclusion of this by-product. Thus, kefir with whey presented lower titratable acidity values ($p < 0.001$) and a lower concentration ($p < 0.001$) of main nutrients (fat and protein) without affecting the apparent viscosity of this product ($p > 0.05$). Significant color alterations were also found as whey concentration increased, with lower values of lightness (L^* , $p < 0.001$), redness (a^* , $p < 0.01$) and yellowness (b^* , $p < 0.01$). The evolution of kefir characteristics along refrigerated storage time was similar in all cases, observing an increase in titratable acidity ($p < 0.001$) and the b^* color coordinate ($p < 0.01$) during the first 14 days of storage.

Regarding the organoleptic characteristics of the kefir, the sensory analysis presented significant differences for the attributes acidic taste ($p < 0.001$) and consistency ($p < 0.01$) with lower scores as the whey concentration in the kefir increased. However, these differences did not affect the overall acceptance of the product, which was similar ($p > 0.05$) in all cases.

Results indicate that the use of whey for the production of goat milk kefir could be an interesting alternative in small and medium-sized cheese factories that would allow diversifying their production, contributing to increasing the sustainability and circular economy of these companies.

Keywords: kefir, whey, goat milk

RESUM

“Característiques fisicoquímiques i organolèptiques del quefir de llet de cabra i lactosèrum”

El quefir és un producte lactic fermentat amb beneficis per a la salut que està experimentant un augment de producció i consum a nivell global. L'objectiu d'aquest treball ha sigut avaluar l'efecte de la inclusió de lactosèrum sobre el procés d'elaboració i les característiques fisicoquímiques del quefir de llet de cabra. Per això, es van realitzar tres fabricacions de quefir a partir de llet de cabra amb diferents concentracions de lactosèrum (0, 10, 20 i 30%) utilitzant un ferment comercial. Es van estudiar possibles modificacions sobre el procés d'elaboració (corba d'acidificació) i les característiques fisicoquímiques del quefir (acidesa, composició, viscositat i color) a diferents temps d'emmagatzematge refrigerat (1, 7, 14 i 21 dies). També es va fer una anàlisi sensorial dels diferents tipus de quefir després de set dies d'emmagatzematge.

La inclusió de lactosèrum no va tindre cap efecte significatiu sobre el procés de fermentació emprat en l'elaboració del quefir. No obstant això, les característiques del quefir sí que es van veure afectades per la inclusió d'aquest subproducte. Així, el quefir amb lactosèrum va presentar menors valors d'acidesa titulable ($p < 0,001$) i una concentració menor ($p < 0,001$) de nutrients principals (greix i proteïna) sense arribar a afectar la viscositat aparent d'aquest producte ($p > 0,05$). També es van trobar alteracions significatives del color a mesura que s'incrementava la concentració de lactosèrum, amb menors valors de lluminositat (L^* , $p < 0,001$), índex de roig (a^* , $p < 0,01$) i índex de groc (b^* , $p < 0,01$). L'evolució de les característiques del quefir amb el temps d'emmagatzematge refrigerat va ser semblant en tots els casos, observant un increment de l'acidesa titulable ($p < 0,001$) i de la component b^* del color ($p < 0,01$) durant els primers 14 dies d'emmagatzematge.

Quant a les característiques organolèptiques del quefir, l'anàlisi sensorial va presentar diferències significatives per als atributs sabor àcid ($p < 0,001$) i consistència ($p < 0,01$) amb menors puntuacions a mesura que s'incrementava la concentració de lactosèrum en el quefir. Tot i això, aquestes diferències no van arribar a afectar l'acceptació general del producte que va ser similar ($p > 0,05$) en tots els casos.

Els resultats indiquen que l'aprofitament del lactosèrum per a l'elaboració de quefir de llet de cabra podria ser una alternativa interessant en petites i mitjanes formatgeries que permetria diversificar la seua producció contribuint a incrementar la sostenibilitat i l'economia circular d'aquestes empreses.

Paraules clau: quefir, lactosèrum, llet de cabra

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis directoras del TFM, Dra. M^a Carmen Beltrán Martínez y Dra. M^a Pilar Molina Pons, por todo el apoyo y paciencia que han tenido conmigo, por enseñarme, facilitarme y ayudarme en todo lo que estaba en su mano para la realización de este trabajo. A Elena Escolar y Yolanda Hidalgo por su aportación, apoyo a mi persona y por su amistad.

En especial quiero agradecer a mi madre y a mis hermanas porque si he llegado hasta donde estoy ha sido por su apoyo constante.

También agradecer a todas aquellas personas con las que he podido compartir tiempo a lo largo del todo el trabajo, del curso académico y de esta pequeña etapa en la Universitat Politècnica de Valencia, y agradezco de corazón a todos aquellos que han colaborado conmigo para que este trabajo haya sido posible.

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	El kéfir	1
1.2.	La leche de cabra	4
1.3.	El lactosuero.....	5
2.	OBJETIVOS	8
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	9
3.1.	Diseño experimental.....	9
3.2.	Leche de cabra y lactosuero	9
3.3.	Proceso de elaboración de kéfir.....	10
3.4.	Análisis fisicoquímicos	11
3.4.1.	Composición.....	11
3.4.2.	Acidez	11
3.4.3.	Viscosidad	12
3.4.4.	Color	12
3.5.	Análisis sensorial	13
3.6.	Análisis estadístico	13
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4.1.	Características de la leche de cabra y del lactosuero	15
4.2.	Efecto de las diferentes concentraciones de lactosuero sobre el proceso de fermentación del kéfir de leche de cabra	15
4.3.	Características y composición del kéfir de leche de cabra con de diferentes concentraciones de lactosuero	17
4.3.1.	Acidez y composición química.....	17
4.3.2.	Viscosidad y color.....	19
4.4.	Análisis sensorial del kéfir.....	22
5.	CONCLUSIONES.....	25
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición del kéfir de leche de vaca y de cabra.....	2
Tabla 2. Composición de la leche de vaca, cabra y oveja.....	4
Tabla 3. Composición química del lactosuero procedente de la fabricación de queso de leche de vaca y leche de cabra.....	7
Tabla 4. Características de la leche de cabra y del lactosuero utilizados en la elaboración de los distintos lotes experimentales de kéfir.....	15
Tabla 5. Parámetros del proceso de fermentación del kéfir de leche de cabra con diferentes concentraciones de lactosuero.....	17
Tabla 6. Acidez y composición química del kéfir de leche de cabra según la concentración de lactosuero (L), el tiempo de almacenamiento (D) y su interacción (L x D).....	18
Tabla 7. Viscosidad y color del kéfir de leche de cabra según la concentración de lactosuero (L), el tiempo de almacenamiento (D) y su interacción (L x D).....	20
Tabla 8. Atributos que presentan diferencias significativas en el análisis sensorial del kéfir.	23
Tabla 9. Atributos que presentan diferencias significativas en el análisis sensorial del kéfir según el sexo de los catadores.....	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tendencia en el consumo de kéfir para el año 2028.....	2
Figura 2. Características y formas de aprovechamiento del lactosuero.	6
Figura 3. Cabras Murciano-Granadinas, sala de ordeño y tanque de refrigeración de la granja experimental de la Universitat Politècnica de Valencia.	9
Figura 4. Proceso de fermentación en la elaboración del kéfir.....	11
Figura 5. Determinación de la acidez valorable del kéfir según el método Dornic.....	12
Figura 6. Viscosímetro rotacional analógico Brookfield.....	12
Figura 7. Colorímetro triestímulo electrónico CR400.....	13
Figura 8. Curva de acidificación del kéfir de leche de cabra con diferentes concentraciones de lactosuero.....	16
Figura 9. Viscosidad aparente del kéfir de leche de cabra con diferentes concentraciones de lactosuero a diferentes velocidades de giro.....	21
Figura 10. Evaluación sensorial del kéfir de leche de cabra con diferentes concentraciones de lactosuero.....	23

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El kéfir

El kéfir es un producto lácteo fermentado originario de la región del Cáucaso, conocido como kefir, kéfir, kiaphur, knapon, kepi o kippi, que presenta forma espesa pero líquida (Yanos et al., 2017). El kéfir es elaborado a partir de leche a través de un proceso de fermentación mixta, tanto láctica como alcohólica, que lo convierte en un producto fácilmente digerible y de alto valor nutricional (Almeida et al., 2011), aunque también se puede elaborar a partir de agua, té o de zumo de frutas. En el caso del kéfir de leche presenta un color blanquecino, sabor ácido y sabor a levadura, así como una sensación chispeante en la boca (Arslan, 2015).

La demanda de kéfir ha ido aumentando en todo el mundo debido a su alto valor nutritivo y a sus propiedades beneficiosas para la salud, entre las que se encuentra su efecto antimicrobiano, reducción del colesterol, estimulante del sistema inmunológico, antitumoral y probiótico natural (Haenlein, 2017; Schwan et al., 2022). Todos estos beneficios se ven relacionados con los componentes activos existentes en el kéfir tras el proceso de fermentación (Ahmed et al., 2013). Además, los fermentos del kéfir inhiben el crecimiento de coliformes y otros patógenos, por lo que contribuyen a la seguridad alimentaria (Glibowski et al., 2012).

El kéfir ha sido mayormente consumido en las zonas de Asia Central y Rusia (Sarkar, 2008) aunque también es bastante popular en los países del este de Europa. Según un estudio económico y de consumo (Mordor Intelligence, 2022) las previsiones en el mercado mundial de consumo de kéfir señalan una tasa de crecimiento del 5,6% durante el período 2023-2028.

En la Figura 1 se presenta la tendencia de consumo del kéfir para el año 2028 a nivel mundial, en donde se observa que muchos países, sobre todo en Europa, van a presentar un mayor aumento, debido en gran parte a la creciente conciencia sobre la salud y al aumento del poder adquisitivo que impulsa la compra de alimentos beneficiosos, como es el kéfir, incluso en zonas como Asia-Pacífico y América Latina. Además, existe un mayor consumo entre las personas intolerantes a la lactosa por la casi ausencia de esta en el kéfir.



Figura 1. Tendencia en el consumo de kéfir para el año 2028.

Fuente: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/kefir-market>

Por otra parte, la composición final del kéfir va a depender del tipo de leche utilizada, las condiciones de fermentación, la procedencia y la composición del cultivo, ya sean granos de kéfir o fermentos comerciales utilizados (Salazar et al., 2019). Tradicionalmente, el kéfir se ha elaborado principalmente a partir de leche de vaca, aunque también se puede encontrar kéfir fabricado con leche de cabra u otras especies, obteniendo así, bebidas fermentadas con diferentes concentraciones de grasa, proteína, lactosa y materia seca, presentando el kéfir elaborado con leche de vaca menos cantidad de componentes en comparación con el de leche de cabra (Tabla 1). A su vez, los valores del pH del kéfir se encuentran entre 4,2 - 4,6 (Otlés y Cagindi, 2003).

Tabla 1. Composición del kéfir de leche de vaca y de cabra.

Componente (g/100g)	Kéfir de vaca	Kéfir de cabra
Grasa	3,37	3,79
Proteína	3,57	4
Ácido láctico	0,690	0,710
Materia seca	11,33	12,09

Fuente: Satir y Guzel-Seydim (2016).

El kéfir se produce tradicionalmente inoculando a la leche pasteurizada los granos de kéfir, los cuales producen una fermentación prolongada, entre 18 a 24 horas a temperatura ambiente (20-25°C), posteriormente la mezcla se filtra para separar el fermento (granos de kéfir) del producto final que se almacena a 4°C mientras que el fermento se conserva también en refrigeración para ser reutilizado (Guzel-Seydim et al., 2021).

Los granos de kéfir son pequeños, con forma irregular, duros, de aspecto gelatinoso y de color blanco-amarillento. En la actualidad, a nivel comercial e industrial, existen fermentos para la fabricación de kéfir en forma de producto liofilizado que se aplican directamente sobre la leche y no requieren de una manipulación posterior. Ambos tipos de fermentos contienen, en forma genérica, bacterias ácido-lácticas: *Lactobacillus*, *Lactococci* y *Streptococci*, en un 83-90%, diferentes tipos de levaduras en un 10-17% como *Saccharomyces*, *Candida*, *Pichia f.*, y *Torulospora*, y el resto de bacterias ácido acéticas y mohos, *Acetobacteriaceae* y *Bifidobacterium* (Martin, 2018; Salazar et al., 2019).

Toda la microbiota del kéfir se encuentra en simbiosis favoreciendo el crecimiento y la supervivencia mutua (Martin, 2018). Los *Lactobacillus* tienen gran velocidad de crecimiento y generan un ambiente idóneo para el crecimiento de las levaduras al hidrolizar la lactosa (Tamime, 2008). Las levaduras asimilan el ácido láctico producido, elevan el pH y producen nutrientes esenciales como aminoácidos y vitaminas, estimulando así el crecimiento de las bacterias, y también permiten la producción de péptidos que ayudan a las bacterias al aumentar la biodisponibilidad del nitrógeno como fuente de energía (Arslan, 2015). Además, las *Acetobacter* producen vitamina B, favoreciendo el crecimiento del resto de microorganismos presentes en los granos de kéfir (Tamime, 2008).

Hay que señalar que los fermentos comerciales no contienen la misma proporción de microorganismos que los granos de kéfir, por eso, las características obtenidas (terapéuticas y sensoriales) diferirá entre los diferentes tipos de fabricación. Es importante la selección del cultivo para la obtención de un determinado tipo de kéfir, por ejemplo, más o menos espeso, o más o menos suave (Beshkova et al., 2003). El tiempo y temperatura de fermentación puede variar, encontrando fermentaciones cortas a 35°C durante 9-10 horas y fermentaciones largas a 22-25°C durante 16-24 horas que potencian la textura o el aroma respectivamente (Barukčić et al., 2017). La ventaja de los fermentos comerciales es que al conocer la cantidad específica de sus componentes se obtiene más fácilmente una bebida estandarizada y con menor manipulación a lo largo del proceso de fabricación.

Por otro lado, durante el proceso de refrigeración y almacenamiento del kéfir pueden existir diferencias entre métodos de fabricación en lo referente a la vida útil del producto, donde mediante el método tradicional (uso de granos), el kéfir puede durar hasta 12 días y de forma industrial hasta 28 días en refrigeración (Leite et al., 2013). También dependiendo del tiempo de refrigeración se pueden observar cambios fisicoquímicos que afecten a la aceptación del consumidor, Choi y Regenstein (2000) indican que el kéfir es mayormente aceptado en el séptimo día de refrigeración independientemente del cultivo o fermento que se utilice.

1.2. La leche de cabra

La leche de cabra ha sido tradicionalmente utilizada como base para la elaboración de diversos productos fermentados en todo el mundo. La aptitud de la leche para su transformación en kéfir depende en gran medida de su composición: contenido en grasa, proteína, lactosa y materia seca (Tabla 2). Es importante tener en cuenta que la composición de la leche puede variar según diversos factores, como la especie, la raza, la alimentación y la etapa de lactancia de los animales (WingChing-Jones y Mora, 2019). En general, la leche de cabra presenta un contenido más alto de proteínas y grasas en comparación con la leche de vaca, aunque resulta menor que la leche de oveja.

Tabla 2. Composición de la leche de vaca, cabra y oveja.

Componente (%)	Vaca	Cabra	Oveja
Grasa	3,6	4,2	7,9
Proteína	3,2	3,5	6,2
Lactosa	4,7	4,2	4,9
Materia seca	12,6	13,8	16,8

Fuente: Park et al. (2007).

Además, la leche de cabra presenta un perfil lipídico diferente, con un tamaño de los glóbulos de grasa más pequeño y una mayor proporción de ácidos grasos de cadena media, lo que puede influir en su digestibilidad y en la liberación de compuestos bioactivos durante la fermentación (Hertzler y Clancy, 2003). También hay que señalar que la leche de cabra puede ser una opción viable para las personas con alergias o sensibilidades a la proteína de la leche de vaca, ya que la composición proteica de la leche de cabra es diferente, especialmente por una menor cantidad de αS_1 caseína (Tamime y Robinson, 2007; Almedia, 2011).

La leche, de diferentes especies, es uno de los alimentos básicos más consumidos a nivel mundial, por eso es una prioridad para la industria láctea y la salud pública mantener unos adecuados niveles de calidad higiénico-sanitaria que garanticen su inocuidad y su seguridad. A lo largo de las fases de ordeño, almacenamiento, transporte y transformación, la leche se ve sometida a un elevado número de riesgos, como la contaminación química, microbiana o la introducción de impurezas que alteren el color, el olor o incluso el gusto propio del producto (Valdivia et al., 2021). La legislación europea realiza una valoración de la calidad

higiénica de la leche cruda destinada a la alimentación humana en base a su contenido en gérmenes totales, células somáticas y residuos de antibióticos; para la leche de cabra cruda está estipulado un máximo de 500.000 ufc/ml o de 1.500.000 ufc/ml (con tratamiento térmico) de gérmenes totales. En el caso de las células somáticas no hay un límite establecido para la leche de cabra y oveja. Sin embargo, para todos los tipos de leche se debe garantizar la ausencia de residuos de antibióticos (Reglamentos CE nº 852, 853 y 854/2004).

En cuanto a la producción mundial de leche de cabra se registraron, en 2021, 20,7 millones de toneladas en todo el mundo, de las cuales 2,5 millones de toneladas se produjeron en la Unión Europea siendo España el segundo país más productor con 519 toneladas ese mismo año (FAOSTAT, 2022).

La producción de leche de cabra en España se destina principalmente (97%) a su transformación en productos derivados, especialmente queso, de los cuales 6 tipos de quesos con Denominación de Origen Protegida (DOP) son fabricados únicamente con leche de cabra, también existen 5 quesos más con DOP fabricados con mezcla con leche de cabra con otras especies. Sin embargo, en los últimos años la producción de productos fermentados ha ido en aumento, tanto de yogur como de kéfir (MAPA, 2023).

1.3. El lactosuero

El lactosuero, también conocido como suero de leche, es un subproducto líquido resultante de las etapas de coagulación o cuajado de la leche y posterior desuerado durante la producción de quesos y otros productos lácteos. Durante mucho tiempo, el lactosuero se consideró un subproducto de la industria láctea y se descartaba (Kosikowski, 1979). Sin embargo, en los últimos años, se ha reconocido el valor y los beneficios del lactosuero, convirtiéndolo en un subproducto valioso y versátil con un gran potencial en diferentes sectores (Rodríguez-Estévez y Mata, 2007; Ramírez-Navas, 2015).

La correcta gestión del lactosuero como residuo es muy importante, ya que el vertido incontrolado podría llegar a ser altamente perjudicial para el medio ambiente, la sanidad animal y la salud pública (Guerra et al., 2007; Parra, 2009). Considerando las propiedades del lactosuero se han desarrollado diferentes formas de utilizar este subproducto lácteo que se presentan en la Figura 2.

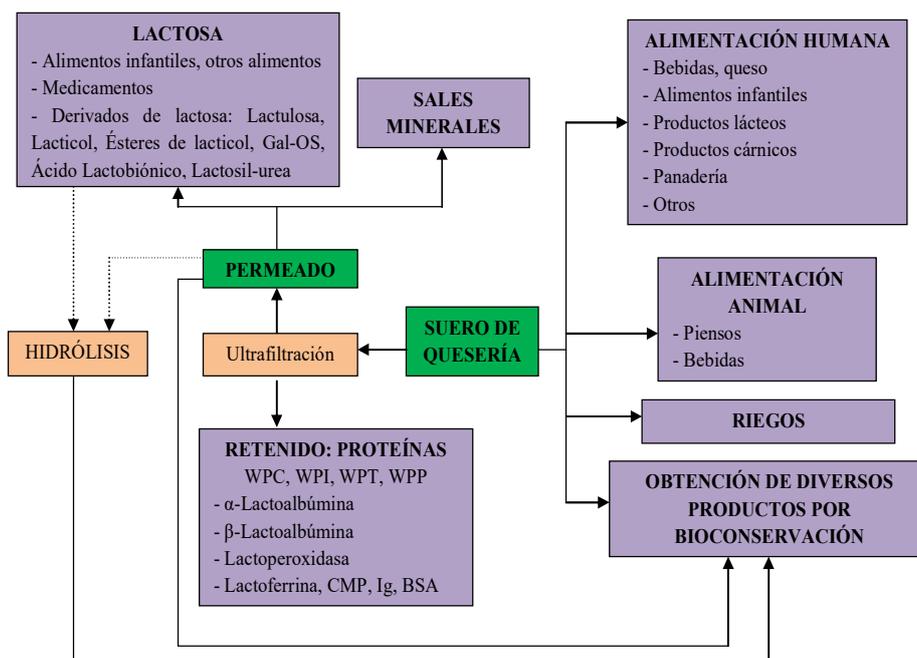


Figura 2. Características y formas de aprovechamiento del lactosuero.
Fuente: Berruga (2003)

Dentro de las diferentes formas de aprovechamiento del lactosuero destaca su utilización en alimentación animal ya sea en aplicación directa o como aditivo (Plata et al., 2013). Funciona como fuente de aminoácidos esenciales que mejoran el funcionamiento del aparato digestivo de los rumiantes, se optimiza la absorción de nutrientes y aumenta tanto la cantidad como la calidad de la producción de leche (Casado y Garcia, 2015). También en la agricultura se puede utilizar en el sistema de riego como fertilizante líquido para el acondicionamiento de suelos con previo tratamiento. En los últimos años destaca su uso como medio de cultivo para mohos, levaduras y bacterias para la obtención de metano y etanol mediante procesos de bioconservación o fermentación del suero (Guerra et al. 2007; Valencia y Ramírez, 2009).

Tradicionalmente uno de los usos más importantes del lactosuero ha sido en alimentación humana. Hay que destacar su aplicación como ingrediente en la industria láctea, principalmente de los quesos de suero (requesón, ricota). Además, se emplea como aditivo en embutidos, en la fabricación de bebidas, en panadería, alimentos infantiles o en la elaboración de suero en polvo (Berruga, 2003).

La calidad del lactosuero vendrá determinada por sus características organolépticas, composición, características fisicoquímicas e higiénicas. En la Tabla 3 se presenta la composición del lactosuero con un pH entre 6-6,5, donde la concentración de grasa y proteína es ligeramente mayor en el lactosuero a partir de leche de cabra que de vaca, aunque en el caso de la lactosa es menor. En general, el lactosuero presenta entre un 93-94% de agua, un

5% de lactosa y menos de un 1% de proteínas. Además, contiene vitaminas hidrosolubles de la leche, la más importante la riboflavina, y es una fuente de minerales de calcio, potasio y fósforo (Plata et al., 2013).

Tabla 3. Composición química del lactosuero procedente de la fabricación de queso de leche de vaca y leche de cabra.

Parámetros	Lactosuero de vaca¹	Lactosuero de cabra²
pH	6,1	6,38
Grasa (%)	0,6	1,07
Proteína (%)	0,72	0,79
Lactosa (%)	4,53	4,25
Materia seca (%)	6,34	7,04

Fuente: ¹Henriques et al. (2013), ²Plata et al. (2012).

La lactosa es el principal azúcar presente en el lactosuero y puede tener aplicaciones en la industria alimentaria como edulcorante o como sustrato para la producción de ácido láctico y otros productos fermentados. Las proteínas de suero, como la lactoalbúmina y la lactoglobulina, son de alto valor nutricional y tienen propiedades funcionales, como la capacidad de formar geles y emulsiones, lo que las hace útiles en la producción de alimentos y suplementos nutricionales (Baptista y Gigante, 2021).

El lactosuero también contiene diversos compuestos, como péptidos bioactivos y componentes antioxidantes, ofreciendo efectos beneficiosos para la salud humana mediante la regulación de la presión arterial, la mejora de la función inmunológica y la promoción de la salud digestiva. Así mismo, el lactosuero contribuye a la salud ósea y el equilibrio mineral del organismo (Korhonen y Pihlanto, 2006).

Por todas las características mencionadas sobre el lactosuero, se puede decir que es un producto con gran potencial para ser transformado dentro de la industria alimentaria, contribuyendo a la creación de nuevos productos, aportando mejoras en la textura, el sabor e incluso el valor nutricional de yogures, bebidas lácteas u otros derivados lácteos. El lactosuero representa un recurso sostenible que ofrece oportunidades para la innovación y la mejora nutricional dentro de esta industria.

2. OBJETIVOS

Dada la creciente preocupación en la industria alimentaria por la reducción de costes sin la pérdida de calidad de sus productos y la constante búsqueda de subproductos alternativos a las materias primas convencionales, en el sector lácteo se está invirtiendo fuertemente en actividades de I+D para crear productos probióticos que puedan satisfacer las distintas necesidades de los consumidores. Por ello, es importante conocer los procesos de elaboración de los diferentes productos lácteos, sus características tecnológicas y fisicoquímicas, así como posibles alternativas de fabricación más sostenibles.

Por otro lado, el lactosuero es un subproducto de la elaboración quesera que es necesario gestionar y que resulta de gran interés desde el punto de vista nutricional y como probiótico. Por ello, el objetivo general de este trabajo ha sido la caracterización fisicoquímica y sensorial del kéfir fabricado a partir de leche de cabra con diferentes concentraciones de lactosuero.

Los objetivos específicos planteados han sido:

- Determinar las características fisicoquímicas (composición, viscosidad y color) de cada tipo de kéfir producido.
- Analizar los efectos de la introducción de lactosuero en el proceso de elaboración del kéfir de cabra, así como la influencia del tiempo de conservación sobre las características finales del producto.
- Realizar la evaluación sensorial de los diferentes tipos de kéfir elaborados y su grado de aceptación por el consumidor.

Con todo ello se pretende aportar una mayor información sobre el aprovechamiento del lactosuero en la elaboración de productos lácteos, como es el caso del kéfir, a fin de aumentar la sostenibilidad en este proceso, así como contribuir a una mejora de la economía circular.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Diseño experimental

Para el desarrollo de este estudio se realizaron 3 fabricaciones de kéfir de leche de cabra. En cada una de ellas se elaboraron 4 lotes correspondientes a las concentraciones de lactosuero añadidas (control, 10%, 20% y 30% de lactosuero). Cada lote estaba formado por 20 kéfires, por lo que se elaboraron un total de 240 kéfires.

Durante el proceso de elaboración se controló el pH cada 15 minutos, para establecer la curva de acidificación y el tiempo final de fermentación del kéfir antes de pasarlo a refrigeración a 4°C.

Los análisis fisicoquímicos se realizaron a diferentes tiempos de conservación (1, 7, 14 y 21 días) a temperatura ambiente. A los 7 días de cada fabricación también se realizó el análisis sensorial de cada lote.

3.2. Leche de cabra y lactosuero

Las cabras productoras de leche empleadas en este estudio fueron de raza Murciano-Granadina de la granja experimental del Departamento de Ciencia Animal de la Universitat Politècnica de Valencia (Figura 3).

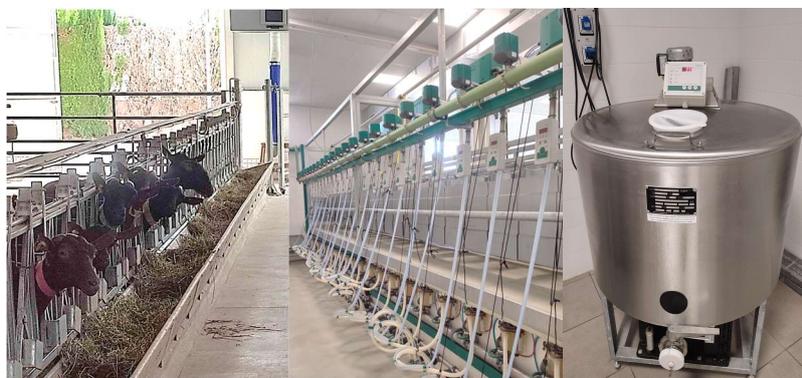


Figura 3. Cabras Murciano-Granadinas, sala de ordeño y tanque de refrigeración de la granja experimental de la Universitat Politècnica de Valencia.

Las cabras fueron alimentadas con una ración a base de concentrados (cebada y maíz), soja, pulpa de naranja y alfalfa, cumpliendo con las necesidades de lactación. Desde el momento del parto los animales se ordeñaron una vez al día en una sala de ordeño de línea alta (GEA Westfalia Surge, Alemania) y la leche se almacenaba en un tanque de refrigeración a $3\pm 1^{\circ}\text{C}$.

La leche de cabra se recogió del tanque de refrigeración el mismo día de la elaboración del kéfir. El lactosuero se obtuvo de la fabricación de queso fresco de leche de cabra

pasteurizada a 72-74°C durante 20 segundos mediante coagulación enzimática con cuajo animal 1:10.000 (Laboratorios Arroyo, Santander, España) a 32-34°C. El lactosuero se conservó en refrigeración hasta su uso. Las fabricaciones de kéfir y queso fresco se realizaron en la Planta Piloto del Departamento de Ciencia Animal de la UPV.

Tanto la leche como el lactosuero se analizaron en el LICOVAL (Laboratorio Interprofesional de la Comunidad Valenciana), para determinar su composición.

3.3. Proceso de elaboración de kéfir

Para garantizar la calidad microbiológica en la elaboración del kéfir la leche se pasteurizó a 90°C durante 10 min, mientras que el lactosuero a 75°C durante 20 segundos) para evitar la precipitación de las proteínas del suero, empleando en ambos casos una Thermomix TM6 (Vorwerk, Alemania). Una vez realizada la pasteurización se llevaron a cabo las mezclas de leche de cabra, en 4 envases diferentes (2 litros), con diferentes concentraciones de lactosuero: 0% (control), 10, 20 y 30%, que se homogeneizaban y se enfriaban a temperatura ambiente (22-25°C) para proseguir con la inoculación del fermento.

El fermento comercial que se utilizó fue CHOOZIT Kefir DG (Dairy Connection, Madison, EEUU), que produce un kéfir ligeramente burbujeante de sabor suave, textura homogénea y de espesor medio a grueso. Este fermento consta de: microflora de granos de kéfir, levaduras del kéfir, *Lactococcus* subsp., *Leuconostoc* sp, *Lactobacillus* sp y *Streptococcus thermophilus*. Para la aplicación del fermento se pasteurizó 1 litro de leche de cabra, a 90°C durante 10 min, en la que se disolvió un sobre entero del fermento comercial. Dado que la concentración recomendada por el fabricante es de 1 sobre por cada 1000 litros de leche y que el volumen empleado para la elaboración era muy reducido, se consideró adecuado inocular en cada mezcla como dosis de fermento 2 ml/L.

En la Figura 4 se observa el control del pH del kéfir, que se realizó de manera continua con pH metros Hanna modelo HI522 de canal doble (Hanna instruments, Eibar, España) previamente calibrados, que registraban el pH cada 15 minutos. La fermentación se llevó a cabo a temperatura ambiente (22-25°C) y se consideró finalizada al llegar a un pH \leq 4,6. Una vez alcanzado este pH los envases de kéfir se refrigeraron a 4°C.



Figura 4. Proceso de fermentación en la elaboración del kéfir.

3.4. Análisis fisicoquímicos

3.4.1. Composición

El análisis de la composición se realizó empleando una dilución 1:1 de kéfir en agua destilada, mediante un equipo automático basado en la espectrofotometría de infrarrojo (MilkoScan FT+, Foss, HillerØd, Dinamarca), el cual previamente había sido calibrado para leche de cabra en cuanto al contenido de grasa, proteína, lactosa y materia seca.

3.4.2. Acidez

La acidez del kéfir se midió sobre el producto final (día 1, 7, 14 y 21 de refrigeración) mediante la medida del pH con el equipo portátil Sension+ pH1 (Hach, Iowa, EEUU) previamente calibrado. También se determinó la acidez valorable según el método Dornic (Casado, 1991) empleando una dilución de la muestra 1:1 del kéfir con agua destilada.

Para la medida de la acidez Dornic se toman 10 ml de la dilución en un vaso de precipitados y se le añaden 4 ó 5 gotas de fenolftaleína al 1% (ITW Panreac, Barcelona, España) como indicador, valorando la mezcla con sosa Dornic 0,111 mol/l (ITW Panreac, Barcelona, España) hasta conseguir una tonalidad rosa pálido permanente (Figura 5). Los grados Dornic se calculan a partir del volumen consumido en la neutralización teniendo en cuenta que 0,1 ml de sosa Dornic equivale a un grado Dornic (°D) y multiplicando por el factor de dilución.



Figura 5. Determinación de la acidez valorable del kéfir según el método Dornic.

3.4.3. Viscosidad

El estudio de la viscosidad del kéfir se realizó mediante un viscosímetro rotacional analógico Brookfield LVF (Brookfield Engineering Laboratories, Inc. Stoughton, Massachusetts) con el husillo número 2 (Figura 6), a temperatura ambiente (22-25 °C). Para el estudio de la viscosidad se seleccionaron 2 botes de kéfir de cada lote, se mezclaron en un vaso de precipitados hasta alcanzar 200 ml de kéfir en cada uno de ellos y se dejaron reposar 3 minutos. Para cada lote se midió la temperatura y se introdujo el husillo a mitad de altura del vaso y se tomaron dos medidas para cada velocidad de giro (6, 12, 30 y 60 rpm).



Figura 6. Viscosímetro rotacional analógico Brookfield.

3.4.4. Color

La caracterización objetiva del color del kéfir se ha realizado considerando las coordenadas colorimétricas del espacio CIELAB (L^* , a^* y b^*), siendo L^* la luminosidad, a^* la desviación hacia el rojo (+) y el verde (-), y b^* la desviación hacia el amarillo (+) y el azul (-). Para ello se utilizó un colorímetro triestímulo electrónico CR 400D (Konica Minolta, Chiyoda, Japón) (Figura 9).

Las lecturas se realizaron a temperatura ambiente a través de placas Petri de cristal donde se colocaba el kéfir de cada lote. Se realizaron 2 mediciones por placa.



Figura 7. Colorímetro tristímulo electrónico CR400.

3.5. Análisis sensorial

El análisis sensorial de las muestras de kéfir de leche de cabra con distintas concentraciones de lactosuero se llevó a cabo por un panel sensorial formado por 10 catadores, 5 hombres y 5 mujeres, con edades entre 26 y 61 años, miembros del Departamento de Ciencia Animal de la UPV, con experiencia previa en el análisis sensorial de productos lácteos fermentados.

La evaluación sensorial de las muestras de kéfir se realizó tras un periodo de almacenamiento refrigerado de siete días. Las muestras se codificaron aleatoriamente con un número de tres dígitos y se presentaron a los catadores a temperatura ambiente en el envase original cerrado herméticamente.

Se realizaron tres sesiones de cata, una para cada fabricación, en las que cada catador analizaba, simultáneamente, muestras de los distintos lotes experimentales (control, 10, 20 y 30 % de lactosuero). Los atributos evaluados en las muestras fueron color blanco, olor a fermentado, olor a cabra, sabor ácido, sabor a kéfir, consistencia y aceptación general.

Los catadores puntuaron la intensidad de cada atributo sobre una escala no estructurada de 10 cm a partir de la que se obtuvieron las valoraciones numéricas para el tratamiento de los datos (0 = no presente y 10 = muy intenso).

3.6. Análisis estadístico

El análisis de los datos se llevó a cabo con el software R-Studio (Posit Software, Boston, Massachusetts, EEUU), mediante el análisis descriptivo de los valores del estudio y de su evolución a lo largo del periodo de almacenamiento.

Se realizó un ANOVA a una vía para evaluar el efecto de la concentración de lactosuero (0, 10, 20 y 30%) sobre el proceso de fabricación del kéfir de leche de cabra.

También se aplicó un ANOVA multifactorial para estudiar el efecto de la concentración de lactosuero (L = 0, 10, 20 y 30%) y del tiempo de almacenamiento (D = 1, 7, 14 y 21 días), así como de la interacción de estos dos factores (L x D), sobre las características fisicoquímicas del kéfir de leche de cabra. Para el análisis sensorial se realizó un ANOVA considerando el efecto de la concentración de lactosuero y del sexo de los catadores sobre las valoraciones de cada uno de los atributos considerados.

La comparación de medias se llevó a cabo con el test de Tukey HSD con objeto de determinar diferencias estadísticamente significativas al 95 % ($p < 0,05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características de la leche de cabra y del lactosuero

Las características de la leche de cabra y del lactosuero con los que se elaboraron los distintos lotes experimentales de kéfir se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Características de la leche de cabra y del lactosuero utilizados en la elaboración de los distintos lotes experimentales de kéfir.

Parámetros	Leche de cabra			Lactosuero		
	Media \pm SD	Mínimo	Máximo	Media \pm SD	Mínimo	Máximo
pH	6,69 \pm 0,044	6,66	6,74	6,48 \pm 0,057	6,44	6,52
Grasa (%)	4,37 \pm 0,240	4,16	4,63	1,02 \pm 0,346	0,62	1,22
Proteína (%)	3,35 \pm 0,046	3,30	3,39	0,89 \pm 0,023	0,86	0,90
Lactosa (%)	4,60 \pm 0,011	4,59	4,61	4,90 \pm 0,110	4,77	4,96
ESM (%)	8,73 \pm 0,021	8,71	8,75	6,36 \pm 0,133	6,21	6,44
MS (%)	13,09 \pm 0,242	12,87	13,35	7,38 \pm 0,479	6,83	7,66

ESM: Extracto Seco Magro; MS: Materia Seca.

La leche de cabra presentó una composición química característica de esta especie, con valores similares a los indicados por otros autores en leche de cabras de la misma raza, Murciano-Granadina (Beltrán et al., 2014).

El lactosuero procedente de la fabricación de queso fresco de leche de cabra por coagulación enzimática también presentó unas características similares a las indicadas por Plata et al. (2012) y Serrano et al. (2013), en sus estudios sobre el lactosuero caprino.

4.2. Efecto de las diferentes concentraciones de lactosuero sobre el proceso de fermentación del kéfir de leche de cabra

Para determinar el tiempo de fermentación del kéfir de leche de cabra con diferentes concentraciones de lactosuero (0, 10, 20 y 30 %) se midió el valor de pH en cada uno de los lotes experimentales, cada 15 minutos, hasta alcanzar un pH final igual o inferior a 4,6.

La evolución del pH a lo largo del proceso de elaboración de los diferentes tipos de kéfir se presenta en la Figura 8 donde se puede observar que la leche de cabra con diferentes concentraciones de lactosuero presentó una curva de acidificación característica del proceso de elaboración de kéfir, con un periodo de latencia de aproximadamente 6 horas, en el que apenas se modificó el valor del pH. Tras este periodo se presenta una etapa de descenso de pH más notable provocada por la actividad metabólica de los fermentos que resulta más evidente y acusada a partir de las 7 horas de incubación.

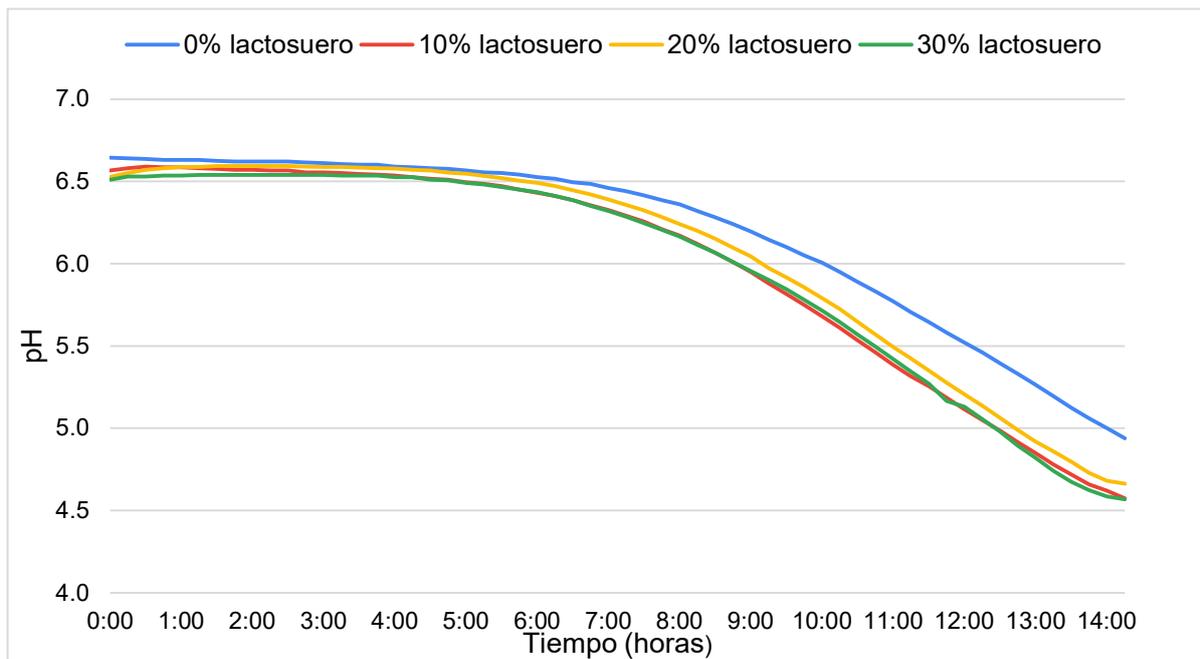


Figura 8. Curva de acidificación del kéfir de leche de cabra con diferentes concentraciones de lactosuero.

Resultados similares fueron encontrados por Yaman et al. (2010) al estudiar los cambios de pH y acidez durante la fermentación del kéfir a 25°C durante 21 horas a partir de leche de vaca y de cabra donde se observó que el kéfir a base de leche de vaca o de cabra no variaba su pH de forma muy acusada durante las 6 primeras horas de incubación. Además, en este estudio el pH del kéfir de vaca disminuía ligeramente más rápido que el pH del kéfir a base de leche de cabra con unos valores de 4,81 y 5,3 a las 15 horas de fermentación, aunque la acidez titulable aumentaba más rápidamente en el kéfir de cabra en las primeras 18 horas.

En la curva de acidificación (Figura 8) se aprecian diferencias entre la cinética de los kéfires que contenían lactosuero y el kéfir del lote control. En general, se observa una reducción del tiempo necesario para completar el proceso de acidificación a medida que se incrementa la concentración de lactosuero (Tabla 5), lo que podría estar relacionado con el menor contenido en materia seca de la mezcla resultante, dada la menor concentración de nutrientes y conforme la cantidad de lactosuero es más elevado. Según Kristo et al. (2003) y

Acevedo et al. (2010) al estudiar el efecto de las variables de proceso de fermentación sobre la cinética de acidificación, la viabilidad y la sinéresis de distintas leches fermentadas, la velocidad máxima de acidificación aumenta considerablemente con la disminución de la concentración de sólidos totales en el sustrato y aumenta levemente a mayor temperatura.

Tabla 5. Parámetros del proceso de fermentación del kéfir de leche de cabra con diferentes concentraciones de lactosuero.

Parámetros	Concentración de Lactosuero (%)					Media	SE
	0	10	20	30	SE		
pH inicial	6,63	6,58	6,53	6,53	0,049	6,57	0,026
pH final	4,59	4,57	4,56	4,56	0,016	4,57	0,009
Tiempo (min)	940	905	885	835	27,319	891,25	16,968

En cualquier caso, las diferencias encontradas en este trabajo entre los distintos lotes de kéfir no llegaron a ser estadísticamente significativas ($p > 0,05$), obteniendo un tiempo de elaboración promedio de 891 ± 25 minutos (aproximadamente 15 horas), a 22-25°C. La acidificación de la leche de cabra ha resultado más rápida que la señalada en trabajos donde se emplean fermentos tradicionales de granos de kéfir que, en general, requieren un proceso de elaboración más largo (Yilmaz et al., 2018).

4.3. Características y composición del kéfir de leche de cabra con de diferentes concentraciones de lactosuero

4.3.1. Acidez y composición química

En la Tabla 6 se presentan los resultados del análisis de varianza realizado para estudiar el efecto de la concentración de lactosuero y del tiempo de almacenamiento sobre la acidez y la composición química del kéfir de leche de cabra.

Tabla 6. Acidez y composición química del kéfir de leche de cabra según la concentración de lactosuero (L), el tiempo de almacenamiento D) y su interacción (L x D).

Parámetros	Concentración de Lactosuero (%)					Tiempo de Almacenamiento (días)					ANOVA		
	0	10	20	30	SE	1	7	14	21	SE	L	D	L x D
pH	4,49	4,51	4,52	4,53	0,018	4,46 ^a	4,55 ^b	4,51 ^b	4,53 ^b	0,017	ns	*	ns
Dornic (°D)	77 ^d	70,25 ^c	64,58 ^b	58,92 ^a	0,816	66,42 ^a	69,67 ^{ab}	69,67 ^c	68,42 ^{bc}	2,119	***	***	ns
Grasa (%)	4,31 ^c	3,84 ^b	3,66 ^{ab}	3,37 ^a	0,085	3,64	3,86	3,85	3,78	0,130	***	ns	ns
Proteína (%)	4,11 ^d	3,89 ^c	3,61 ^b	3,35 ^a	0,044	3,73	3,81	3,73	3,69	0,094	***	ns	ns
Lactosa (%)	4,21 ^a	4,25 ^a	4,32 ^{ab}	4,42 ^b	0,031	4,31	4,28	4,33	4,29	0,080	**	ns	ns
Materia seca (%)	13,37 ^c	12,68 ^b	12,29 ^a	11,84 ^a	0,104	12,38	12,65	12,6	12,46	0,186	***	ns	ns

***, **, *, indica niveles de significación de p<0,001, p<0,010 y p<0,05 respectivamente; ns = no significativo; a, b, c, d, valores en la misma fila con diferente superíndice indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05).

La presencia de lactosuero no tuvo ningún efecto significativo sobre el valor del pH del kéfir de leche de cabra ($p > 0,05$), aunque sí que se observó una reducción de la acidez titulable ($p < 0,001$), a medida que se incrementa la concentración de lactosuero en la leche utilizada como sustrato.

Respecto a la composición química del kéfir, se observó una menor concentración de los principales nutrientes de la leche y, por tanto, de la materia seca ($p < 0,001$) a medida que aumenta la concentración de lactosuero, y una mayor concentración de lactosa ($p < 0,001$) en el kéfir con la concentración de lactosuero más elevada.

En cuanto al efecto del tiempo de almacenamiento sobre las características del kéfir de leche de cabra hay que destacar que, a pesar de que la acidez titulable (Dornic) del kéfir se incrementa significativamente durante los primeros 14 días de almacenamiento ($p < 0,001$), la acidez desarrollada en este periodo no llega a afectar al valor de pH del kéfir que se mantiene constante ($p > 0,05$) entre los días 7 y 21, lo que indicaría una baja actividad del fermento durante este periodo. Tampoco se encuentran diferencias significativas en la composición química de los kéfirs experimentales que presentaron valores similares ($p > 0,05$) durante todo el periodo considerado.

Estos resultados coinciden con los encontrados por Irigoyen et al. (2005) en kéfir de leche de vaca inoculada con distintas proporciones de granos de kéfir. Estos autores tampoco encuentran cambios significativos en el valor de pH del kéfir ni en la concentración de lactosa durante un periodo de conservación en frío de 28 días, aunque sí detectan menores concentraciones de grasa y materia seca a partir de los 14 días de almacenamiento lo que podría estar relacionado, según los autores, con el crecimiento de hongos, que son uno de los principales agentes lipolíticos de las leches fermentadas.

En cuanto a la interacción entre los factores de variación no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (L x D, $p > 0,05$) lo que indicaría que los distintos lotes de kéfir (0, 10, 20 y 30% lactosuero) evolucionaron de forma similar a lo largo del periodo de almacenamiento considerado.

4.3.2. Viscosidad y color

En la Tabla 7 se presentan los resultados del análisis de varianza realizado para estudiar el efecto de la concentración de lactosuero y del tiempo de almacenamiento refrigerado sobre la viscosidad y el color del kéfir de leche de cabra con diferentes cantidades de lactosuero.

Tabla 7. Viscosidad y color del kéfir de leche de cabra según la concentración de lactosuero (L), el tiempo de almacenamiento (D) y su interacción (L x D).

Parámetros	Concentración de Lactosuero (%)				Tiempo de Almacenamiento (días)				ANOVA				
	0	10	20	30	SE	1	7	14	21	SE	L	D	L x D
Viscosidad (cPs)													
6 rpm	246,35	243,06	245,83	192,36	23,067	281,77	193,23	214,58	238,02	22,692	ns	ns	ns
12 rpm	160,94	153,56	157,12	120,14	13,976	178,99	127,08	136,20	149,48	13,924	ns	ns	ns
30 rpm	97,60	89,58	92,95	70,59	8,473	108,23	75,21	80,62	86,67	8,229	ns	ns	ns
60 rpm	68,38	61,81	66,42	50,92	6,098	78,42	54,22	55,73	59,17	5,650	ns	ns	ns
Color													
L	79,68 ^d	79,31 ^c	78,82 ^b	78,03 ^a	0,095	79,18	78,91	78,81	78,94	0,203	***	ns	ns
a*	-2,110 ^c	-2,179 ^{bc}	-2,250 ^{ab}	-2,300 ^a	0,026	-2,250	-2,190	-2,194	-2,204	0,033	**	ns	ns
b*	3,899 ^b	3,819 ^b	3,794 ^b	3,602 ^a	0,050	3,658 ^a	3,746 ^{ab}	3,799 ^{bc}	3,911 ^c	0,052	**	**	ns

***, **, indica niveles de significación de $p < 0,001$ y $p < 0,010$ respectivamente; ns = no significativo; a, b, c, d, valores en la misma fila con diferente superíndice indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Respecto a la viscosidad se observa que no hay diferencias significativas entre los distintos lotes debidas a la incorporación de lactosuero ($p > 0,05$).

El kéfir, al igual que otras leches fermentadas, puede clasificarse como un fluido no newtoniano pseudoplástico, ya que su viscosidad disminuye a medida que aumenta la velocidad de deformación (Aider-Kaci et al., 2023). En la Figura 9 se puede observar que la viscosidad de los kéfirs de leche de cabra con lactosuero disminuye a medida que se aumenta la velocidad de deformación por lo que la incorporación de hasta un 30% de lactosuero no afecta este comportamiento característico.

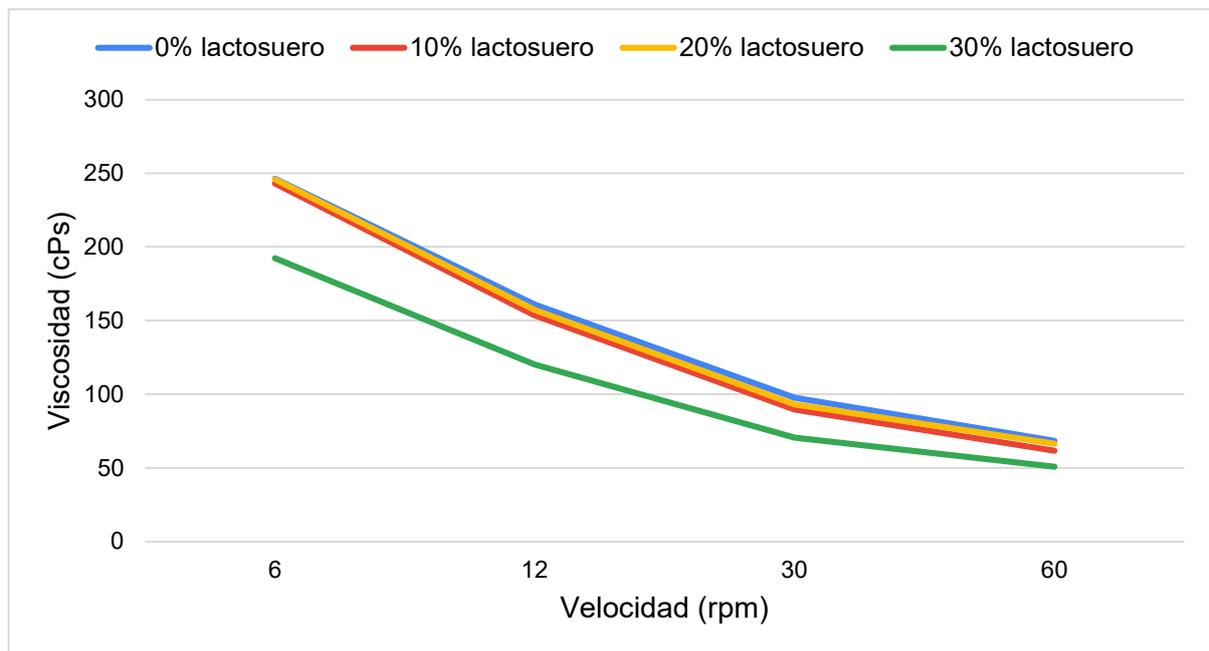


Figura 9. Viscosidad aparente del kéfir de leche de cabra con diferentes concentraciones de lactosuero a diferentes velocidades de giro.

En general, la viscosidad de los kéfirs experimentales ha sido bastante baja, entre 70,59 y 98,60 centipoises (cPs) para una velocidad de giro de 30 rpm, obteniendo un producto final bastante líquido, en comparación con los datos publicados por otros autores en kéfir de leche de cabra (Wang et al., 2017) y mezclas de leche de vaca y cabra (Temiz y Kezer, 2014) elaborados a partir de fermentos de kéfir comerciales, con valores comprendidos entre 321,67 y 438,70 cPs para la misma velocidad de giro (30 rpm).

La consistencia final del kéfir se ve muy influenciada por el tipo de fermento que se utilice y la temperatura alcanzada durante el proceso de fermentación ya que, los diferentes microorganismos que componen el fermento tendrán una mayor o menor actividad a diferentes temperaturas, afectando a las características finales del producto. Renard et al. (2006) estudiaron los mecanismos de gelificación de la leche y constataron que, durante la

fermentación, los polisacáridos sintetizados por las bacterias lácticas aumentan la viscosidad del producto. Bensmira et al. (2010) y Putri et al. (2020) en sus respectivos estudios sobre las propiedades del kéfir variando la temperatura y el tiempo de fermentación observaron que, a mayor tiempo y más temperatura se obtiene un kéfir con viscosidad más elevada.

Por otra parte, con lo que respecta a la evolución de la viscosidad con el tiempo de almacenamiento no se encontraron diferencias significativas durante el periodo considerado ($p > 0,05$). Estos resultados coinciden con lo observado por otros autores como Wang et al. (2017) y Cais-Sokolinska et al. (2011) quienes tampoco detectaron cambios significativos en la viscosidad del kéfir de leche de cabra inoculada con un fermento comercial, durante los primeros 21 días de refrigeración.

Respecto al color del kéfir, se encontraron menores valores de luminosidad ($p > 0,001$), índice de rojo ($p > 0,001$) e índice de amarillo ($p > 0,01$) en el elaborado con leche de cabra y la concentración de lactosuero más elevada en los que el blanco disminuye, el verde se acentúa y el amarillo se difumina. El tiempo de almacenamiento únicamente afectó a la coordenada b^* del color ($p < 0,001$), acentuándose el color amarillo a lo largo de todo el periodo de conservación, presentando su valor máximo a los 21 días de almacenamiento.

No se encontraron diferencias significativas en la interacción entre los dos factores considerados (L x D, $p > 0,05$) lo que indicaría que las propiedades físicas de los distintos lotes de kéfir evolucionan de forma similar a lo largo del periodo de almacenamiento considerado, independientemente de la concentración de lactosuero.

4.4. Análisis sensorial del kéfir

En la Figura 10 se presentan los resultados de la evaluación sensorial del kéfir de leche de cabra con distintas concentraciones de lactosuero (0, 10, 20 y 30 %), tras un periodo de refrigeración de 7 días. En ella se observa que las puntuaciones entre los distintos lotes de kéfir para los atributos color blanco, olor a fermentado y sabor a kéfir fueron muy parecidas ($p > 0,05$). Sin embargo, se encontraron diferencias significativas para los atributos sabor ácido ($p < 0,001$) y consistencia ($p < 0,01$), que presentaron menores puntuaciones a medida que se incrementaba la concentración de lactosuero en la leche (Tabla 8).

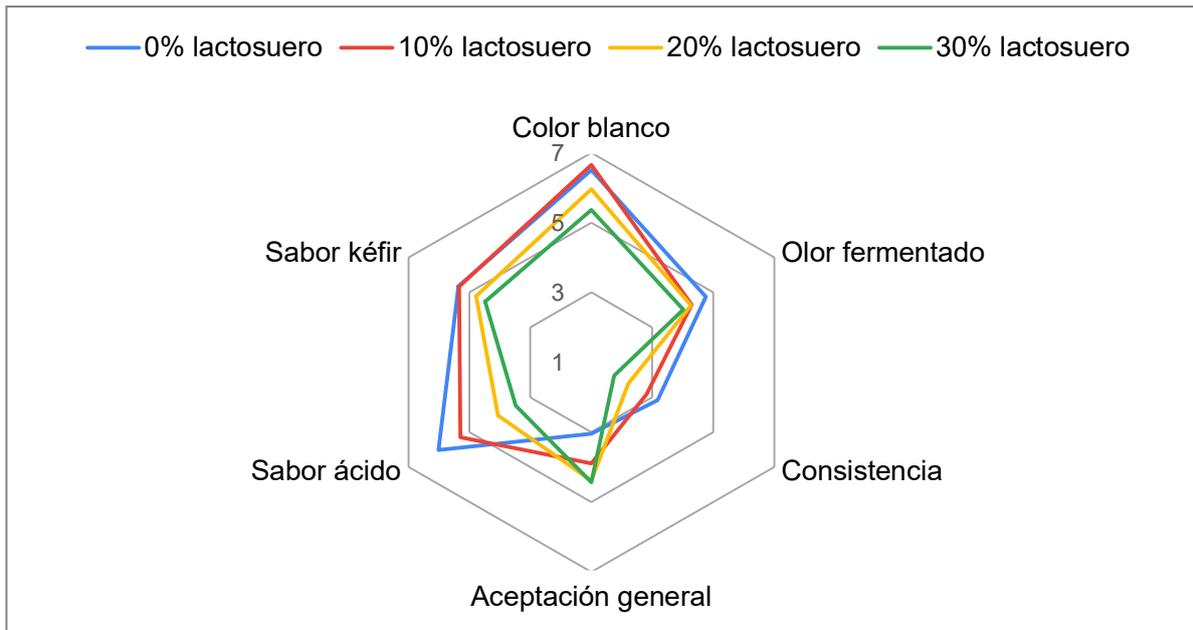


Figura 10. Evaluación sensorial del kéfir de leche de cabra con diferentes concentraciones de lactosuero.

Tabla 8. Atributos que presentan diferencias significativas en el análisis sensorial del kéfir.

Atributos	Concentración de Lactosuero (%)				p-value
	0	10	20	30	
Sabor ácido	6,02 ^a ±0,49	5,2 ^b ±0,52	4,06 ^c ±0,5	3,48 ^c ±0,38	0,0009
Consistencia	3,17 ^a ±0,36	2,82 ^a ±0,39	2,21 ^b ±0,22	1,76 ^c ±0,23	0,0081

a, b, c, valores en la misma fila con diferente superíndice indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Así, los catadores fueron capaces de apreciar las diferencias encontradas en el análisis de la acidez titulable del kéfir de leche de cabra en el laboratorio, cuyo valor disminuía significativamente a medida que se incrementa la concentración de lactosuero. En cuanto a la consistencia, aunque no se encontraron diferencias significativas en la determinación de la viscosidad aparente en el laboratorio, los catadores diferenciaron claramente la consistencia de los distintos lotes de kéfir que, en general, presentaron puntuaciones muy bajas (Tabla 8).

También se encontraron diferencias significativas en relación con el sexo de los catadores (Tabla 9) para los atributos color blanco, olor a fermentado y sabor a kéfir. En general, las mujeres otorgaron menores puntuaciones para el color blanco ($p < 0,001$) y el olor

a fermentado ($p < 0,001$) así como una mayor puntuación para el sabor característico a kéfir ($p < 0,05$).

Tabla 9. Atributos que presentan diferencias significativas en el análisis sensorial del kéfir según el sexo de los catadores.

Atributos	Sexo		
	Hombre	Mujer	p-value
Color blanco	7,22±0,270	5,02±0,270	<0,0001
Olor a fermentado	5,16±0,286	3,47±0,291	0,0001
Sabor kéfir	4,53±0,37	5,43±0,23	0,037

Aunque la aceptación general de los lotes experimentales de kéfir de leche de cabra tuvo una baja puntuación (< 5), con independencia de la presencia de lactosuero y del sexo de los catadores ($p > 0,05$), se observa que la valoración de este parámetro tiende a aumentar a medida que se incrementa la concentración de lactosuero, seguramente porque la adición de esta materia suaviza el sabor del kéfir dándole un toque más dulce y restando esa acidez característica del kéfir. En cualquier caso, las diferencias no llegaron a ser estadísticamente significativas presentando todos los tipos de kéfir una puntuación similar ($p > 0,05$).

5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo referentes a la elaboración de kéfir de leche de cabra con diferentes concentraciones de lactosuero se pueden extraer las conclusiones que se exponen seguidamente.

El proceso de elaboración del kéfir de leche de cabra no se ve afectado por la presencia de lactosuero, en las concentraciones utilizadas en este estudio. Sin embargo, la adición de este subproducto influye notablemente sobre la composición química del kéfir, obteniéndose productos con una menor concentración de nutrientes principales que no llega a tener efectos significativos sobre la viscosidad del producto, y también puede provocar alteraciones de color en las concentraciones de uso más elevadas.

Las características físico-químicas del kéfir con lactosuero evolucionan de forma similar a las del kéfir de leche de cabra durante un periodo de almacenamiento refrigerado de hasta 21 días, en los que la mayor parte de variables analizadas permanecieron estables.

En lo que respecta a las características organolépticas, el kéfir con lactosuero presenta una menor acidez y consistencia que el kéfir de leche de cabra sin que estas diferencias lleguen a afectar negativamente a la aceptación global del producto.

Por tanto, la incorporación de lactosuero en la elaboración de kéfir de leche de cabra podría ser una alternativa interesante en pequeñas y medianas queserías para diversificar su producción, ofreciendo productos alternativos que además contribuyen a la sostenibilidad y a la economía circular de estas empresas. Sin embargo, todavía hacen falta más estudios sobre el uso del lactosuero en la elaboración de productos lácteos, analizando sus características con mayor profundidad en especial las relacionadas con su uso como probiótico.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, D., Rodríguez, A., & Fernández, A. (2010). Efecto de las variables de proceso sobre la cinética de acidificación, la viabilidad y la sinéresis del suero costeño colombiano. *Información Tecnológica*, 21 (2): 29-36. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642010000200005>
- Ahmed, Z., Wang, Y., Ahmad, A., Khan, S. T., Nisa, M., Ahmad, H., & Afreen, A. (2013). Kefir and health: A contemporary perspective. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53 (5): 422-434. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.540360>
- Aider-Kaci, F. A., Aidarbekova, S., & Aider, M. (2023). Impact of electro-activated whey on growth, acid and bile resistance of *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG and *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356. *Heliyon*, 9 (1): e13154. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13154>
- Almeida, F. A., Angelo, F. F., da Silva, S. L., & da Silva, S. L. (2013). Análise sensorial e microbiológica de kefir artesanal produzido a partir de leite de cabra e de leite de vaca. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, 66 (378): 51-56. Disponible en: www.revistadoilct.com.br/rilct/article/view/155 (consultado 11 julio 2023)
- Arslan, S. (2015). A review: chemical, microbiological and nutritional characteristics of kefir. *CyTA - Journal of Food*, 13 (3): 340-345. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.981588>
- Baptista, D. P., & Gigante, M. L. (2021). Bioactive peptides in ripened cheeses: release during technological processes and resistance to the gastrointestinal tract. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101 (10): 4010-4017. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11143>
- Barukčić, I., Gracin, L., Jambrak, A. R., & Božanić, R. (2017). Comparison of chemical, rheological and sensory properties of kefir produced by kefir grains and commercial kefir starter. *Mljekarstvo*, 67 (3): 169-176. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2017.0301>
- Beltrán, M. C., Borràs, M., Nagel, O. G., Althaus, R., & Molina, M. P. (2014). Validation of receptor-binding assays to detect antibiotics in goat milk. *Journal of Food Protection*, 77 (2): 308-313. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-13-253>
- Bensmira, M., Nsabimana, C., & Jiang, B. (2010). Effects of fermentation conditions and homogenization pressure on the rheological properties of Kefir. *LWT - Food Science and Technology*, 43 (8): 1180-1184. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.04.005>

Berruga, M. I. (2003). *Desarrollo de procedimientos para el tratamiento de efluentes de quesería: tesis doctoral*. Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense. Madrid. <http://hdl.handle.net/20.500.14352/54900>

Beshkova, D. M., Simova, E. D., Frengova, G. I., Simov, Z. I., & Dimitrov, Z. P. (2003). Production of volatile aroma compounds by kefir starter cultures. *International Dairy Journal*, 13 (7): 529-535. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00058-X](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00058-X)

Cais-Sokolińska, D., Danków, R., Lasik, A., & Pikul, J. (2011). The fermentation dynamics of sheep milk with increased proportion of whey proteins. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria* 10 (2): 155-163. <https://www.food.actapol.net/volume10/issue2/abstract-2.html>

Callejas, J., Prieto, F., Reyes, V. E., Marmolejo, Y., & Méndez, M. A. (2012). Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo. *Acta Universitaria* 22 (1): 11-18 <https://doi.org/10.15174/au.2012.304>

Casado, P. (1991). *Guía para el análisis químico de la leche y derivados lácteos*. Ediciones Ayala, España.

Casado, P., & Garcia, J. A. (2015). La calidad higiénica de la leche. *Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. I.S.B.N.: 84-341-0334-6. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1983_14.pdf

Choi, S. S., & Regenstein, J. M. (2000). Physicochemical and sensory characteristics of fish gelatin. *Journal of Food Science*, 65 (2): 194–199. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb15978.x>

FAOSTAT (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (consultado 10 Agosto 2023).

Glibowski, P., & Kowalska, A. (2012). Rheological, texture and sensory properties of kefir with high performance and native inulin. *Journal of Food Engineering*, 111 (2): 299-304. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.019>

Guzel-Seydim, Z. B., Gökırmaklı, Ç., & Greene, A. K. (2021). A comparison of milk kefir and water kefir: Physical, chemical, microbiological and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 113: 42-53. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.041>

Haenlein, G. F. W. (2017). Why does goat milk matter? - A review. *Nutrition & Food Science International Journal*, 2 (4): 555594. <https://doi.org/10.19080/NFSIJ.2017.02.555594>

Henriques, M. H. F., Gomes, D. M. G. S., Pereira, C. J. D., & Gil, M. H. M. (2013). Effects of liquid whey protein concentrate on functional and sensorial properties of set yogurts and fresh cheese. *Food and Bioprocess Technology*, 6 (4): 952-963. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0778-9>

Hertzler, S. R., & Clancy, S. M. (2003). Kefir improves lactose digestion and tolerance in adults with lactose maldigestion. *Journal of the American Dietetic Association*, 103 (5): 582-587. <https://doi.org/10.1053/jada.2003.50111>

Irigoyen, A., Arana I., Castiella M., Torre P., & Ibáñez F. C. (2005). Microbiological, physicochemical, and sensory characteristics of kefir during storage. *Food Chemistry*, 90 (4): 613-620. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.021>

Korhonen, H., & Pihlanto, A. (2006). Bioactive peptides: Production and functionality. *International Dairy Journal*, 16 (9): 945-960. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.10.012>

Kosikowski, F. V. (1979). Whey utilization and whey products. *Journal of Dairy Science*, 62 (7): 1149-1160. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(79\)83389-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(79)83389-5)

Kristo, E., Biliaderis, C. G., & Tzanetakis, N. (2003). Modelling of the acidification process and rheological properties of milk fermented with a yogurt starter culture using response surface methodology. *Food Chemistry*, 83 (3): 437-446. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00126-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00126-2)

Leite, A. M. de O., Miguel, M. A. L., Peixoto, R. S., Rosado, A. S., Silva, J. T., & Paschoalin, V. M. F. (2013). Microbiological, technological and therapeutic properties of kefir: a natural probiotic beverage. *Brazilian Journal of Microbiology*, 44 (2): 341-349. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822013000200001>

MAPA (2023). Denominaciones de origen e indicaciones geográficas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-diferenciada/dop-igp/Default.aspx>. (consultado 31 agosto 2023)

Martin, M. L. (2018). Utilización biotecnológica de los microorganismos en la elaboración de productos alimentarios. Trabajo fin de grado. Universidad de Zaragoza. <https://zaguan.unizar.es/record/77936>

Mordor Intelligence (2022). Mercado de kéfir: crecimiento, tendencias, impacto de covid-19 y pronósticos (2023-2028). Disponible en: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/kefir-market> (consultado: 11 julio 2023)

Otles, S., & Cagindi O. (2003). Kefir: A probiotic dairy-composition, nutritional and therapeutic aspects. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2 (2): 54-59. <https://doi.org/10.3923/pjn.2003.54.59>

Park, Y. W., Juárez, M., Ramos, M., & Haenlein, G. F. W. (2007). Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68 (1-2): 88-113. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.013>

Parra, R. A. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62 (1): 4967-4982.

Plata, A., Ramírez, S. M., & Riaño, C. E. (2012). Composición química y enriquecimiento del lactosuero de leche de caprino para la producción de ácido láctico con *Lactobacillus helveticus*. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3 (2): 63-71. <https://doi.org/10.22490/21456453.954>

Plata, A., Ramírez, S. M., & Riaño, C. E. (2013). Valor agregado para el lacto suero de caprino proveniente de agroindustrias lácteas: ácido láctico como alternativa de descontaminación. *Nova*, 11 (19): 33. <https://doi.org/10.22490/24629448.1023>

Ramírez-Navas, J. S. (2015). Diseño de procesos en Industria Láctea: Transformación de lactosuero. *Investigación aplicada a la Ingeniería de Procesos*, :55-63.

Renard, D., Van de Velde, F., & Visschers, R. W. (2006). The gap between food gel structure, texture and perception. *Food Hydrocolloids*, 20 (4): 423-431. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.10.014>

Rodríguez-Estévez, V. & Mata, C. (2007). El suero de quesería, recurso ganadero. *Revista de agricultura ecológica*, 31: 12-15. www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Ferti%2FFerti_2007_31_12_15.pdf

Salazar, E. J., Sánchez, J. D., & Londoño, L. M. (2019.). Características y beneficios del Kéfir como probiótico: Una revisión para el mejoramiento de la salud. *Universidad Libre*. 8: 132-147. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/microciencia/article/view/7407>

Sarkar, S. (2008). Biotechnological innovations in kefir production: a review. *British Food Journal*, 110 (3): 283-295. <https://doi.org/10.1108/00070700810858691>

Satir, G., & Guzel-Seydim, Z. B. (2016). How kefir fermentation can affect product composition? *Small Ruminant Research*, 134: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.10.022>

Schwan, R. F., Magalhães-Guedes, K. T., & Dias, D. R. (2022). Innovations in preservation and improving functional properties of kefir. In *Advances in Dairy Microbial Products*. 225–234. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85793-2.00024-2>

Serrano, G., Pece, N., Avila, A. M., & Frau, F. (2013). Utilización de fermentos lácticos comerciales para obtener una bebida láctea a base de lactosuero caprino. *Universidad Nacional del Litoral y de Santiago del Estero*. <https://www.unse.edu.ar/index.php/repositorio-unse>

Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007). *Tamime and Robinson's Yoghurt: Science and Technology*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781845692612>

Tamime, A. Y. (2008). Fermented milks: Production of kefir, koumiss and other related products. *Society of Dairy Technology*. Blackwell Publishing. (8): 175-198. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xKAu9IYnK2wC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Fermented+milks.+Society+of+Dairy+Technology&ots=YidhLhJYPn&sig=GHIK_x8u-g9D_2PfqJVj8lgIV5Q#v=onepage&q=Fermented%20milks.%20Society%20of%20Dairy%20Technology&f=false (consultado 23 Agosto 2023)

Temiz H. & Kezer, G. (2014). Effects of Fat Replacers on Physicochemical, Microbial and Sensorial Properties of Kefir Made Using Mixture of Cow and Goat's Milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39 (6): 1421-1430. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12361>

Valdivia, A., Rubio, Y., & Beruvides, A. (2021). Hygienic and sanitary quality of milk, a priority for farmers. *Revista Producción Animal-Universidad de Matanzas*, 33 (2): 351-360. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/cuadernos/article/view/2609>

Valencia, E. & Ramírez, M. (2009). La industria de la leche y la contaminación del agua. *Ciencia y Cultura, Elementos*, 73 (16): 27-31.

Yaman, H., Elmali, M., & Kamber, U. (2010) Observation of lactic acid bacteria and yeast populations during fermentation and cold storage in cow's, ewe's and goat's milk kefirs. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi*, 16: 113-118

Yanos, V., Palma, O., Rocío Mendoza, L., & Ruiz, V. (2017). Beneficios del kéfir para la salud. *Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 1 (4): 296-311. Disponible en: <https://dialnetunirioja.es/servlet/articulo?codigo=7983595> (consultado 11 Julio 2023)

Yilmaz, L., Ozcan, T., Akpinar, A. & Sahin, S. (2018). Comparison of antioxidant capacity of cow and ewe milk kefirs. *Journal of Dairy Science*, 101 (5): 3788-3798. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13871>.

Wang, H., Wang, C., Wang, M. & Guo, M. (2017). Chemical, physiochemical, and microstructural properties, and probiotic survivability of fermented goat milk using polymerized whey protein and starter culture kefir. *Journal of Food Science*, 82 (11): 2650-2658 <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13935>

WingChing-Jones, R., & Mora, E. (2019). Efecto de agregar agua sobre el punto crioscópico y componentes de la leche cruda de vacas Jersey y Holstein. *UNED Research Journal*, 11 (3): 2609. <https://doi.org/10.22458/urj.v11i3.2609>