UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Efecto de la incorporación de pulpas vegetales, zapallo (*Cucurbita moschata*), remolacha (*Beta vulgaris*) y camote (*Ipomoea batatas*) sobre las propiedades tecnofuncionales y el perfil probiótico de un kéfir de leche

---

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Propuesta Tecnológica, previo a la obtención de Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autora: Evelin Elizabeth Alcaciega Moposita

Tutor: Dr. Carlos Santiago Moreno Miranda

Ambato – Ecuador

Junio - 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. Carlos Santiago Moreno Miranda

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Propuesta Tecnológica, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 04 de junio de 2026



Dr. Carlos Santiago Moreno Miranda

18XXXXXX42

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Evelin Elizabeth Alcaciega Moposita, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final, Opción Propuesta Tecnológica, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Alcaciega Moposita Evelin Elizabeth

18XXXXXX17

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Alcaciega Moposita Evelin Elizabeth

18XXXXXX17

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final, del Trabajo de Titulación, Opción Propuesta Tecnológica, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
MANUEL ISRAEL GUANOQUIZA RIVERA

Presidente del Tribunal

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
DANIEL ALFONSO CABRERA VALLE

Mg. Daniel Alfonso Cabrera Valle

C.I.18XXXXXX95

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
MANOELLA ALEJANDRA SANCHEZ GARNICA

Mg. Manoella Alejandra Sánchez Garnica

C.I. 06XXXXXX71

Ambato, 19 de junio de 2026

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a Dios, porque ha sido quien me ha guiado cada día de mi vida, cuidándome, bendiciéndome, dándome la sabiduría y las fuerzas necesarias para seguir adelante y llegar hasta este momento. Solo Él conoce cada preocupación, cada esfuerzo y cada lágrima derramada durante este proceso; momentos que muchas veces guardé en silencio para no preocupar a mis padres.

Dedico este logro a mis padres, quienes son las personas más importantes de mi vida y mi apoyo incondicional en cada etapa de este camino. Ellos han sido los pilares fundamentales que me sostuvieron con amor, esfuerzo y dedicación para poder alcanzar esta meta. A mi padre, por enseñarme siempre a ser una buena persona, por su ejemplo de responsabilidad, perseverancia y honestidad, y por cada palabra de aliento que me motivó día a día. Sus consejos y enseñanzas fueron una guía constante en mi formación personal y académica. A mi madre, por su amor infinito y por cada sacrificio realizado en silencio, por preocuparse de mí cada día, con su ejemplo de valentía y fortaleza me enseñó a enfrentar a cada reto de la vida. Este logro es tan de ustedes como mío, porque es el reflejo de una crianza llena de amor, valores y apoyo incondicional.

Dedico a todos mis amigos, quienes estuvieron a mi lado a lo largo de este camino, brindándome su apoyo y ayuda en aquellos momentos en los que muchas cosas parecían difíciles de entender. Gracias por acompañarme tanto en los buenos como en los malos momentos, por ser un apoyo mutuo cuando las calificaciones no eran las esperadas o cuando las pruebas no salían bien.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por permitirme alcanzar esta meta tan anhelada, un sueño que nació desde mi niñez y que hoy se hace realidad gracias a su amor y bendición. Gracias, Señor, por guiar cada uno de mis pasos y por darme fortaleza en los momentos de dificultad.

Agradezco a mis padres Francisco Alcaciega y Belgica Moposita, por darme la oportunidad de estudiar y por brindarme siempre su apoyo incondicional. Gracias por ser mi mayor motivación, por sus consejos, enseñanzas y palabras de aliento día a día, y por darme todo lo necesario incluso en los momentos en que quizá no tenían de dónde hacerlo. Gracias a ustedes hoy puedo cumplir esta meta tan importante en mi vida.

A mis abuelos, por sus consejos, sus buenos deseos y bendiciones. Y a toda mi familia, quienes estuvieron a mi lado durante todo este proceso, brindándome su cariño, apoyo y confianza para seguir adelante y no rendirme.

Agradezco a mi tutor Dr. Carlos Santiago Moreno Miranda, por haber confiado en mí y por brindarme las herramientas necesarias para desarrollar este trabajo. Gracias por su guía, paciencia y dedicación, por ayudarme y orientarme en aquellos momentos en los que muchas cosas parecían difíciles de comprender, y por hacer de este proceso menos difícil.

Gracias a todos mis amigos por el apoyo, por las palabras de ánimo, las risas y el compañerismo que hicieron de esta etapa una experiencia inolvidable. Cada momento vivido junto a ustedes dejó huellas importantes en este proceso académico y personal.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE TABLAS xi
ÍNDICE DE FIGURAS xii
ÍNDICE DE ANEXOS xii
RESUMEN EJECUTIVO xiii
ABSTRACT xiv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1
1.1 Antecedentes investigativos 1
1.2 Origen del kéfir 2
1.3 Composición microbiológica 3
1.3.1 Bacterias ácido lácticas 3
1.3.2 Bacterias ácido acéticas 4
1.3.3 Levaduras 4
1.4 Elaboración del kéfir 4
1.5 Valor nutricional y funcional del kéfir 5
1.6 Materias primas vegetales de interés y beneficios nutricionales 5
1.6.1 Zapallo (*Cucurbita moschata*) 6
1.6.2 Remolacha *(Beta vulgaris)* 7
1.6.3 Camote (*Ipomoea batatas*) 8
1.7 Objetivos 9

1.7.1 Objetivo general 9
1.7.2 Objetivos específicos 9
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 10
2.1 Materiales 10
2.1.1 Materia prima 10
2.1.2 Materiales 10
2.1.3 Material de laboratorio 11
2.1.4 Reactivos 11
2.1.5 Equipos 12
2.2 Métodos 12
2.2.1 Selección de la materia prima 12
2.2.1.1 Zapallo 12
2.2.1.2 Remolacha 13
2.2.1.3 Camote 13
2.2.2 Obtención de la pulpa 13
2.2.3 Preparación del Kéfir 15
2.2.4 Cinética de fermentación 17
2.2.5 Acidez titulable 18
2.2.6 °Brix 19
2.2.7 Viscosidad 19
2.2.8 Sinéresis 19
2.2.9 Capacidad de retención del agua 20
2.2.10 Análisis sensorial 20
2.2.11 Determinación del contenido de fibra dietética 21
2.2.12 Determinación de Proteína 21
2.2.13 Determinación de Grasa 22
2.2.14 Recuento de bacterias ácido lácticas 22

2.2.15 Recuento de levaduras y mohos 23
2.2.16 Recuento de *E. coli* y coliformes totales 23
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 25
3.1 Análisis de los parámetros fisicoquímicos y tecnofuncionales de cada tratamiento 25
3.1.1 Cinética de fermentación del kéfir de leche con pulpa de zapallo 25
3.1.2 Cinética de fermentación del kéfir de leche con pulpa de remolacha 34
3.1.3 Cinética de fermentación del kéfir con pulpa de camote 43
3.2 Análisis sensorial 52
3.2.1 Análisis sensorial del kéfir con pulpa de zapallo 52
3.2.2 Análisis sensorial del kéfir con pulpa de remolacha 54
3.2.3 Análisis sensorial del kéfir con pulpa de camote 57
3.3 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos 59
3.3.1 Parámetros de composición nutricional 59
3.3.2 Viabilidad de microorganismos probióticos 61
3.3.3 Calidad y seguridad microbiológica 62
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 65
4.1 Conclusiones 65
4.2 Recomendaciones 66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 68
ANEXOS 76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Materia prima utilizada para realizar los tratamientos de kéfir de leche con pulpas vegetales.....10
Tabla 2 Materiales utilizados para la elaboración de los tratamientos 10
Tabla 3 Materiales de laboratorio usados en la preparación y control de los tratamientos 11
Tabla 4 Reactivos usados para el control y análisis de los tratamientos.....11
Tabla 5 Equipos usados para la elaboración, control y análisis de los tratamientos.....12
Tabla 6 Diseño factorial de 3^2+1 16
Tabla 7 Tratamientos del diseño factorial y el tratamiento control 16
Tabla 8 Parámetros de control durante la fermentación del kéfir de leche con pulpa de zapallo 27
Tabla 9 Sinéresis y capacidad de retención de agua del kéfir de leche con pulpa de zapallo durante el almacenamiento 32
Tabla 10 Parámetros de control durante la fermentación del kéfir de leche con pulpa de remolacha.....36
Tabla 11 Sinéresis y capacidad de retención de agua del kéfir de leche con pulpa de remolacha durante el almacenamiento 41
Tabla 12 Parámetros de control durante la fermentación del kéfir de leche con pulpa de camote 45
Tabla 13 Sinéresis y capacidad de retención de agua del kéfir de leche con pulpa de camote durante el almacenamiento 50
Tabla 14 Comparaciones múltiples de los atributos sensoriales del kéfir de leche con pulpa de zapallo mediante la prueba de Wilcoxon. 52
Tabla 15 Comparaciones múltiples de los atributos sensoriales del kéfir de leche con pulpa de remolacha mediante la prueba de Wilcoxon. 55
Tabla 16 Comparaciones múltiples de los atributos sensoriales del kéfir de leche con pulpa de camote mediante la prueba de Wilcoxon. 57
Tabla 17 Composición nutricional del kéfir de leche con 15% de pulpa de zapallo 60
Tabla 18 Viabilidad de microorganismos probióticos del kéfir de leche con 15 % de pulpa de zapallo 61
Tabla 19 Análisis microbiológicos de calidad y seguridad del kéfir de leche con 15% de pulpa de zapallo 63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Flujograma elaboración de pulpa 13
Figura 2 Flujograma inoculación del kéfir 15
Figura 3 Cinética de consumo de sólidos solubles (°Brix) en kéfir de leche con pulpa de zapallo durante la fermentación. 25
Figura 4 Cinética de producción de acidez titulable en kéfir de leche con pulpa de zapallo durante la fermentación.....30
Figura 5 Cinética de consumo de sólidos solubles (°Brix) en kéfir de leche con pulpa de remolacha durante la fermentación 34
Figura 6 Cinética de producción de acidez titulable en kéfir de leche con pulpa de remolacha durante la fermentación.....39
Figura 7 Cinética de consumo de sólidos solubles (°Brix) en kéfir de leche con pulpa de camote durante la fermentación 43
Figura 8 Cinética de producción de acidez titulable en kéfir de leche con pulpa de camote durante la fermentación.....48

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Aplicación de tratamiento térmico a las materias primas. 76
Anexo 2. Obtención de la pulpa. 76
Anexo 3. Elaboración de los tratamientos. 76
Anexo 4. Análisis de los parámetros fisicoquímicos. 76
Anexo 5. Análisis de °Brix 76
Anexo 6. Análisis de viscosidad aparente. 76
Anexo 7. Muestras centrifugadas. 76
Anexo 8. Aplicación de análisis sensorial. 76
Anexo 9. Producto con mayor aceptación global. 76
Anexo 10. Autoclavado de materiales para la siembra microbiológica. 77
Anexo 11. Siembra de microorganismos. 77
Anexo 12. Conteo de BAL 77
Anexo 13. Certificado de Laboratorio 77

RESUMEN EJECUTIVO

El kéfir de leche es una bebida fermentada con reconocidas propiedades probióticas. Su funcionalidad, puede potenciarse mediante la incorporación de ingredientes vegetales ricos en fibra, antioxidantes y compuestos bioactivos. El uso de pulpas de zapallo *(Cucurbita moschata),* remolacha *(Beta vulgaris)* y camote *(Ipomoea batatas)* es una estrategia prometedora para el desarrollo de productos lácteos fermentados con valor nutricional y funcional agregado. Se formularon tratamientos con 5, 10 y 15 por ciento de cada pulpa vegetal, junto a un control sin adición de pulpa. Durante la fermentación se monitorearon sólidos solubles, pH, acidez titulable y viscosidad. Una vez finalizada la fermentación, se determinaron sinéresis, capacidad de retención de agua y aceptabilidad sensorial mediante los atributos de aroma, color, sabor, textura y aceptación global. Las pulpas modificaron la cinética fermentativa, con descenso de sólidos solubles y pH, y aumento de la acidez, evidenciando la actividad metabólica de los microorganismos del kéfir. El tratamiento con 5 por ciento de zapallo destacó por su mayor estabilidad física, menor sinéresis y superior capacidad de retención de agua. Sensorialmente, el kéfir con 15 por ciento de zapallo alcanzó la mayor aceptación global. La formulación con 15 por ciento de pulpa de zapallo presentó 3,06 por ciento de proteína, 2,59 por ciento de grasa y 3,05 por ciento de fibra dietética, alta viabilidad de bacterias ácido lácticas durante el almacenamiento y cumplimiento de criterios microbiológicos, constituyéndose como una opción viable desde el punto de vista sensorial, nutricional y microbiológico.

Palabras clave: kéfir de leche, zapallo, pulpas vegetales, probióticos, fibra dietética.

ABSTRACT

Milk kefir is a fermented beverage with well-known probiotic properties. Its functionality can be enhanced by incorporating plant-based ingredients rich in fiber, antioxidants, and bioactive compounds. The use of pumpkin (*Cucurbita moschata*), beet (*Beta vulgaris*), and sweet potato (*Ipomoea batatas*) pulps is a promising strategy for developing fermented dairy products with added nutritional and functional value. Treatments were formulated with 5, 10, and 15 percent of each plant pulp, along with a control without added pulp. Soluble solids, pH, titratable acidity, and viscosity were monitored during fermentation. Once fermentation was complete, syneresis, water-holding capacity, and sensory acceptability were determined by assessing aroma, color, flavor, texture, and overall acceptability. The pulps modified the fermentation kinetics, decreasing soluble solids and pH, and increasing acidity, thus demonstrating the metabolic activity of the kefir microorganisms. The treatment with 5 percent pumpkin stood out for its greater physical stability, lower syneresis, and superior water retention capacity. Sensory-wise, the kefir with 15 percent pumpkin achieved the highest overall acceptance. The formulation with 15 percent pumpkin pulp presented 3.06 percent protein, 2.59 percent fat, and 3.05 percent dietary fiber, high viability of lactic acid bacteria during storage, and compliance with microbiological criteria, making it a viable option from a sensory, nutritional, and microbiological perspective.

Keywords: milk kefir, pumpkin, vegetable pulps, probiotics, dietary fiber.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

El proceso de fermentación de alimentos es una de las actividades más antiguas practicadas por el ser humano y continúa vigente en distintas partes del mundo. Desde las culturas ancestrales, la fermentación se utilizó como una estrategia para conservar los alimentos, prolongar su vida útil y mejorar ciertas propiedades beneficiosas. Las bebidas fermentadas se caracterizan porque en su elaboración interviene el crecimiento y la actividad metabólica de diferentes microorganismos. Entre estos productos, el kéfir, el yogur y el miso han alcanzado gran aceptación y forman parte de la alimentación habitual de muchas familias alrededor del mundo (Robalino et al., 2023).

En la actualidad, la fermentación no solo permite conservar materias primas perecederas, sino que también contribuye a mejorar sus características nutricionales, sensoriales y funcionales. En el caso de la leche fermentada con kéfir, los componentes complejos, como la proteína y la lactosa, se transforman en compuestos más simples y digeribles por acción enzimática de consorcios microbianos conformados por bacterias y levaduras. Además, durante este proceso se generan compuestos volátiles que aportan el aroma y el sabor característico de las bebidas lácteas fermentadas (Vieira et al., 2021).

La tendencia mundial hacia el consumo de alimentos funcionales fermentados ha aumentado de manera considerable. Dentro de este contexto, el kéfir ha despertado interés por su complejidad microbiológica y por sus beneficios probióticos (Azizi et al., 2021). Sin embargo, gran parte de las investigaciones y de la industria láctea se ha enfocado en matrices lácteas tradicionales, con el uso de aditivos destinados a mejorar la estabilidad y el perfil sensorial del producto. Por esta razón, surge el interés de incorporar matrices vegetales poco convencionales, como el puré de zapallo *(Cucurbita moschata),* remolacha *(Beta vulgaris)* y *camote (Ipomoea batatas),* como sustratos complementarios en la fermentación del kéfir de leche (Justel et al., 2025). Esta alternativa permite diversificar la oferta de bebidas fermentadas, mejorar sus propiedades tecnofuncionales y potenciar su perfil nutricional para consumidores que buscan productos funcionales.

La literatura científica evidencia un vacío de conocimiento sobre la interacción entre la matriz láctea, los microorganismos del kéfir y los purés vegetales con alto contenido de almidón y fibra, como el zapallo, la remolacha y el camote. Estos ingredientes aportan compuestos

bioactivos, entre ellos betalaínas, carotenoides, antioxidantes naturales, fibra dietética y almidones que pueden actuar como sustratos prebióticos (Tsegay et al., 2024). La microbiota del kéfir tiene la capacidad de interactuar con estos polisacáridos vegetales, lo que podría mejorar la estabilidad del producto y potenciar el perfil probiótico de la matriz láctea final (Vieira et al., 2021).

1.2 Origen del kéfir

El kéfir es uno de los productos lácteos fermentados más reconocidos y tiene su origen en la región del Cáucaso, al norte de Asia Menor. En esta zona, las comunidades nómadas lo elaboraban de manera artesanal mediante la fermentación de leche en recipientes de piel o cerámica (Yilmaz et al., 2022). Los granos de kéfir eran reutilizados en múltiples fermentaciones, lo que favorecía la adaptación y estabilidad de su microbiota simbiótica. Con el paso del tiempo, el kéfir se extendió hacia Europa del Este y otras regiones, donde fue aceptado por los consumidores debido a su alta digestibilidad y a sus beneficios probióticos (Amorim et al., 2019).

El término kéfir proviene del turco keyif, cuyo significado se asocia con una sensación agradable. Esta bebida fermentada se obtiene mediante la acción conjunta de bacterias ácido lácticas y levaduras presentes en una matriz simbiótica conocida como grano de kéfir. Estos granos están formados por exopolisacáridos, principalmente kefirán, compuesto por glucosa y galactosa, además de proteínas y lípidos que conforman una estructura gelatinosa y viscosa (Justel et al., 2025). Los granos presentan forma irregular, consistencia semidura, color blanco con tendencia amarillenta y un tamaño que puede variar entre 0,3 y 4 cm de longitud (Kurniawan et al., 2026).

Los granos de kéfir actúan como un cultivo iniciador natural. Al ser añadidos a la leche, transforman la lactosa en ácido láctico, etanol y dióxido de carbono, lo que proporciona al producto un sabor ligeramente ácido, una textura viscosa y una leve efervescencia (Sorensen et al., 2022). Durante la fermentación también se generan compuestos secundarios, como diacetilo, acetaldehído y péptidos bioactivos, los cuales contribuyen al perfil sensorial y funcional de la bebida (Vieira et al., 2021).

1.3 Composición microbiológica

El kéfir de leche contiene un consorcio simbiótico conformado por bacterias ácido lácticas, levaduras y bacterias ácido acéticas. Los gránulos de kéfir están compuestos, en su mayoría, por bacterias de la familia Lactobacillaceae, que representan entre el 65 % y el 90 % de su microbiota, además de microorganismos pertenecientes a los géneros *Lactococcus, Streptococcus, Leuconostoc* y *Acetobacter*. Esta diversidad microbiana contribuye a la fermentación, conservación y estabilidad del producto final. Entre las especies predominantes se encuentran *Lacticaseibacillus paracasei, Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus, Lactiplantibacillus plantarum, Lactobacillus helveticus, Leuconostoc mesenteroides, Lactococcus lactis, Lactobacillus kefiri, Lentilactobacillus parakefiri* y *Lactobacillus kefiranofaciens* (González et al., 2022).

En cuanto a las levaduras, las especies más frecuentes en el kéfir son *Saccharomyces cerevisiae, Saccharomyces unisporus, Candida kefyr, Kluyveromyces marxianus* y *Kazachstania spp.* (Azizi et al., 2021). La composición de la microbiota del gránulo de kéfir puede variar según las condiciones climáticas, el tipo de sustrato utilizado, el tiempo de fermentación, la temperatura y la proporción de gránulos incorporados. Estos microorganismos son responsables de las características fisicoquímicas, sensoriales y biológicas de la matriz láctea fermentada.

1.3.1 Bacterias ácido lácticas

Las bacterias ácido lácticas son microorganismos Gram positivos y anaerobios facultativos que cumplen un papel fundamental en la fermentación del kéfir de leche. Estos microorganismos producen la enzima β-galactosidasa, la cual degrada la lactosa presente en la leche en glucosa y galactosa, permitiendo su fermentación y la formación de ácido láctico. Como resultado, se produce una disminución del pH hasta valores aproximados entre 4,0 y 4,6, rango característico de productos lácteos fermentados (Kurniawan et al., 2026).

Además de participar en la acidificación, las bacterias ácido lácticas producen exopolisacáridos como el kefirán, compuesto que influye en la textura, viscosidad y propiedades reológicas del kéfir. También pueden producir péptidos antimicrobianos sintetizados ribosomalmente, con actividad inhibitoria frente a microorganismos patógenos como *Listeria monocytogenes, Escherichia coli* y *Salmonella enterica.* En el kéfir de leche, algunas de las especies

predominantes son *Lactobacillus kefiranofaciens* y *Lactococcus lactis* (Kurniawan et al., 2026; Wang et al., 2021).

1.3.2 Bacterias ácido acéticas

Las bacterias ácido acéticas pertenecen a la familia Acetobacteraceae. Se caracterizan por ser microorganismos Gram negativos y aerobios, con capacidad para oxidar el etanol y transformarlo en ácido acético. Este proceso contribuye a la acidificación del medio y al desarrollo de compuestos aromáticos que intervienen en el perfil sensorial del kéfir (Hata et al., 2023). Aunque el género Acetobacter se encuentra en menor proporción en comparación con las bacterias ácido lácticas, cumple una función importante en la maduración del producto y en la complejidad del sabor final.

1.3.3 Levaduras

Las levaduras son hongos unicelulares que participan activamente en la fermentación del kéfir de leche. Estos microorganismos obtienen energía mediante la fermentación de azúcares, generando dióxido de carbono y etanol en concentraciones aproximadas de 0,5 % a 2,0 %. Estos compuestos aportan al kéfir una ligera efervescencia y un sabor levemente alcohólico, característico de esta bebida fermentada (Kurniawan et al., 2026).

Además, las levaduras influyen en la estabilidad de la fermentación y en la producción de compuestos aromáticos y vitaminas, lo que mejora las propiedades sensoriales y funcionales del kéfir. Entre las especies más frecuentes se encuentran *Saccharomyces cerevisiae* y *Kluyveromyces marxianus* (Kurniawan et al., 2026).

1.4 Elaboración del kéfir

El kéfir se obtiene mediante la fermentación de la lactosa de la leche por acción de las bacterias y levaduras presentes en los gránulos de kéfir. Para su elaboración, generalmente se añade entre 5 % y 10 % de cultivo iniciador, con un tiempo de fermentación aproximado de 24 a 72 horas a temperatura ambiente. La producción puede realizarse de forma artesanal o industrial, utilizando diferentes tipos de sustratos según las características deseadas en el producto final (Azizi et al., 2021).

En la producción artesanal, la leche de vaca pasteurizada es una de las más utilizadas debido a su contenido de proteína, caseína, grasa, lactosa y cenizas. Además, su pH cercano a la

neutralidad, entre 6,7 y 6,9, proporciona un medio adecuado para el crecimiento de las bacterias ácido lácticas, de acuerdo con lo establecido en la NTE INEN 10:2012. También se puede emplear leche pasteurizada de cabra u oveja, las cuales presentan menor cantidad de caseína αs1, lo que favorece la obtención de un kéfir más ligero y de mejor digestibilidad. En menor medida, se ha reportado el uso de leche de camella y burra para la elaboración de este producto (Polidori et al., 2021).

Al finalizar la fermentación, la bebida se separa de los gránulos de kéfir, los cuales pueden ser reutilizados en una nueva inoculación. En la producción industrial, por su parte, se emplean cultivos iniciadores estandarizados, que pueden ser liofilizados o congelados. Estos cultivos garantizan mayor homogeneidad en el producto final; sin embargo, suelen presentar menor diversidad microbiana que el kéfir artesanal, por lo que podrían no conservar las mismas propiedades probióticas (Katchieva et al., 2025).

1.5 Valor nutricional y funcional del kéfir

El kéfir es considerado un alimento funcional debido a su contenido de nutrientes y compuestos bioactivos. Entre sus componentes se encuentran proteínas de alto valor biológico, vitaminas del complejo B, como B1, B2 y B12, minerales esenciales como calcio, fósforo y magnesio, además de péptidos antimicrobianos, exopolisacáridos como el kefirán y antioxidantes naturales (Farag et al., 2020).

El consumo regular de kéfir se ha relacionado con beneficios para la salud, entre ellos la mejora de la digestión de la lactosa, la regulación de la microbiota intestinal, la estimulación del sistema inmunológico y la reducción de procesos inflamatorios a nivel intestinal. Estas propiedades han fortalecido el interés por su uso en el desarrollo de alimentos funcionales y bebidas fermentadas con valor agregado (Azizi et al., 2021).

1.6 Materias primas vegetales de interés y beneficios nutricionales

Las materias primas de origen vegetal representan una fuente importante de compuestos bioactivos esenciales para la salud humana. Entre estos componentes se encuentran vitaminas, minerales, fibra dietética y fitoquímicos. La fibra dietética actúa como sustrato prebiótico, favorece el crecimiento de la microbiota intestinal benéfica y contribuye a la regulación metabólica, especialmente en procesos relacionados con la absorción de glucosa y lípidos (Kumari et al., 2023).

Los fitoquímicos, como polifenoles, carotenoides y betalaínas, presentan actividad antioxidante y antiinflamatoria, por lo que pueden contribuir a la prevención de enfermedades crónicas, cardiovasculares, metabólicas y degenerativas. Estos compuestos también brindan protección frente al daño celular, ayudan a reducir el colesterol plasmático y se han asociado con la disminución del riesgo de ciertos tipos de cáncer (Dahiya & Nigam, 2022).

El uso de vegetales locales en el desarrollo de alimentos fermentados o funcionales, como el kéfir, permite mejorar el perfil nutricional del producto y potenciar su funcionalidad mediante la interacción entre compuestos prebióticos y microorganismos probióticos. Esta interacción puede favorecer la salud intestinal, mejorar la biodisponibilidad de nutrientes y generar metabolitos bioactivos adicionales durante la fermentación. Además, el aprovechamiento de materias primas vegetales promueve la sostenibilidad, reduce los desperdicios agrícolas y otorga valor agregado a productos agroindustriales de consumo local (Zhang et al., 2025).

Ecuador es un país reconocido por su alta biodiversidad y por su potencial productivo en el sector agrícola. Sus condiciones climáticas y la diversidad de suelos favorecen la producción de distintos cultivos durante todo el año. Sin embargo, varios productos como el camote, el zapallo y la remolacha presentan un limitado nivel de industrialización, ya que suelen comercializarse principalmente en estado fresco. Estos vegetales se encuentran disponibles en mercados locales, poseen bajo costo y tienen un elevado valor nutricional. Por ello, su aprovechamiento en el desarrollo de productos innovadores, como bebidas fermentadas tipo kéfir, representa una oportunidad para agregar valor y promover el uso sostenible de recursos agrícolas locales (Moreno et al., 2019).

1.6.1 Zapallo (*Cucurbita moschata*)

El zapallo *(Cucurbita moschata)* pertenece a la familia Cucurbitaceae. Sus frutos pueden presentar formas redondas, achatadas u ovaladas, con diversas estrías, y en algunos casos pueden alcanzar pesos de hasta 45 kg. Es una hortaliza originaria de América, cuya domesticación se ha relacionado con regiones de Canadá, Argentina y Chile. En Ecuador, es ampliamente cultivada, con presencia destacada en provincias como Tungurahua, Loja y Chimborazo. Su desarrollo se favorece en climas cálidos y templados, con temperaturas óptimas entre 18 °C y 27 °C (Hussain et al., 2022).

Desde el punto de vista nutricional, el zapallo aporta carbohidratos, β-caroteno, ácido ascórbico, minerales como calcio, hierro y fósforo, además de compuestos como tiamina y

niacina. También se considera un cultivo de alto rendimiento agrícola y bajo costo de producción (Borecka & Karaś, 2025). Su contenido de vitaminas A y C, compuestos fenólicos y fibra dietética lo convierte en una materia prima de interés para el desarrollo de alimentos funcionales. La composición del fruto incluye aproximadamente 78,69 % de pulpa, 17,95 % de cáscara y 3,63 % de semillas. La pulpa contiene entre 4,34 % de carbohidratos, 0,30 % a 1,89 % de proteína, 0,04 % a 0,13 % de lípidos, 0,74 % a 1,24 % de fibra, 0,70 % a 1,09 % de ceniza y 89,61 % a 94,23 % de humedad (Batool et al., 2022; Salehi et al., 2019).

El zapallo también es fuente de compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes, entre ellos triterpenoides, flavonoides y cumarinas. Su pulpa contiene pigmentos carotenoides que actúan como colorantes naturales y pueden mejorar el valor funcional y sensorial de bebidas fermentadas (Pinna et al., 2024). Además, aporta azúcares como sacarosa, glucosa y fructosa, los cuales pueden ser fermentados por bacterias ácido lácticas y levaduras, favoreciendo la actividad metabólica microbiana y la producción de ácidos orgánicos (Abbas et al., 2020).

1.6.2 Remolacha *(Beta vulgaris)*

La remolacha *(Beta vulgaris)* pertenece a la familia Amaranthaceae y tiene su origen en Oriente Medio. Algunas especies silvestres relacionadas con esta planta se desarrollaron en las Islas Canarias. Es una raíz comestible ampliamente utilizada en Ecuador y cultivada principalmente en zonas andinas de clima templado, como Cotopaxi, Bolívar y Tungurahua. Existen tres variedades principales: la remolacha roja o de huerto, que es la más consumida; la remolacha azucarera; y la remolacha forrajera (Rattin et al., 2022).

Su composición nutricional se caracteriza por un alto contenido de agua, aproximadamente 87,6 %, además de 9,6 % de carbohidratos, 1,6 % de proteína, 0,2 % de grasa y 1 % de fibra soluble. También contiene polifenoles, antocianinas, antioxidantes, potasio, fósforo, hierro, calcio y pequeñas cantidades de vitaminas C y del complejo B (Ceclu & Nistor, 2020; Mirmiran et al., 2020).

La remolacha se distingue por la presencia de betalaínas, pigmentos hidrosolubles responsables de su color rojo intenso. Estos compuestos presentan actividad antioxidante, antiinflamatoria, anticancerígena y energética. Además, esta raíz constituye una fuente importante de micronutrientes como ácido fólico, vitamina C, magnesio, potasio y hierro (Morales et al., 2024).

En cuanto a su aporte fermentativo, la remolacha contiene principalmente sacarosa como azúcar dominante, acompañada de glucosa y fructosa en menor proporción. Estos azúcares fermentables pueden favorecer la acidificación, la producción de ácidos orgánicos y la generación de compuestos aromáticos durante la fermentación. Asimismo, su fibra soluble puede actuar como sustrato prebiótico y estimular el crecimiento de microorganismos beneficiosos (Arias et al., 2024; Casciano et al., 2022).

1.6.3 Camote (*Ipomoea batatas*)

El camote *(Ipomoea batatas)* pertenece a la familia Convolvulaceae y es un tubérculo originario de América tropical. En Ecuador, su cultivo se desarrolla principalmente en provincias como Loja, Azuay, Cañar y Chimborazo, donde se adapta a climas tropicales y subtropicales, con temperaturas óptimas entre 21 °C y 26 °C (Armijos et al., 2020).

Este tubérculo es rico en compuestos bioactivos, entre los que destacan ácidos fenólicos, antocianinas, vitaminas, fibra dietética y almidón resistente. Las antocianinas son pigmentos solubles en agua responsables de la coloración de ciertas variedades de camote, especialmente las de pulpa morada. Estos compuestos presentan efectos beneficiosos asociados con actividad antiinflamatoria, antioxidante, antimicrobiana, antidiabética, hepatoprotectora y neuroprotectora. Existen variedades de camote con pulpa anaranjada, amarilla, blanca y morada; esta última suele ser valorada por su mayor contenido de antocianinas y actividad biológica (Amagloh et al., 2021).

La composición del camote por cada 100 g de peso fresco incluye aproximadamente 63,61 g de humedad. En base seca, aporta 79,10 g de carbohidratos, 2,33 g de proteína, 0,51 g de grasa y 15,8 g de fibra dietética. También contiene azúcares reductores como maltosa, sacarosa, glucosa y fructosa, en una proporción aproximada entre 1,01 y 5,94 g/100 g, los cuales forman parte de los carbohidratos totales (Rosell et al., 2024; Suhendy et al., 2023).

La incorporación de camote en el kéfir puede aportar azúcares fermentables que favorecen la actividad metabólica de los microorganismos presentes en la fermentación. De igual manera, su contenido de fibra soluble y almidón resistente puede actuar como sustrato prebiótico, lo que resulta relevante para el desarrollo de una bebida fermentada con mejores propiedades funcionales (Rosell et al., 2024; Suhendy et al., 2023).

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

- "Analizar el efecto de la incorporación de pulpas vegetales, zapallo (*Cucurbita moschata*), remolacha (*Beta vulgaris*) y camote (*Ipomoea batatas*) sobre las propiedades tecnofuncionales y el perfil probiótico de un kéfir de leche"

1.7.2 Objetivos específicos

- Determinar la cinética de fermentación y las propiedades tecnofuncionales del kéfir de leche en función de la concentración del puré vegetal incorporado.
- Evaluar las formulaciones de kéfir mediante la selección del tratamiento con mayor aceptabilidad sensorial, analizando el efecto de los purés sobre el perfil de atributos de sabor, color, aroma, textura y aceptación global.
- Evaluar la viabilidad de los microorganismos probióticos, y el contenido de la fibra en la mezcla final, verificando que el producto desarrollado cumpla con los estándares técnicos.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación de tipo experimental se desarrolló en los laboratorios académicos y los laboratorios de la UODIDE de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de La Universidad Técnica de Ambato. Se detallan la materia prima, materiales, equipos y reactivos utilizados.

2.1 Materiales

2.1.1 Materia prima

Tabla 1

Materia prima utilizada para realizar los tratamientos de kéfir de leche con pulpas vegetales

Materia prima	Cantidad
Leche pasteurizada	10 L
Zapallo	1000 g
Remolacha	1000 g
Camote	1000 g
Gránulos de kéfir de leche	420 g
Agua embotellada	3 L

Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Materiales

Tabla 2

Materiales utilizados para la elaboración de los tratamientos

Material	Cantidad
Frascos de vidrio 500 mL	30
Válvulas Airlocks	30
Alcohol	3 L
Fundas Ziploc	20 u
Rotulador	1 u
Ollas	3 u
Cuchillo	1 u

Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Material de laboratorio

Tabla 3

Materiales de laboratorio usados en la preparación y control de los tratamientos

Materiales de laboratorio	Cantidad
Probeta de vidrio 250 mL	1 u
Probeta de vidrio 10 mL	1 u
Vasos de precipitación	4 u
Bureta	14 u
Matraz 250 mL	2 u
Tubos de ensayo	14 u
Gradillas	1 u
Mechero	1 u
Puntas de micropipeta	50 u
Tubos de centrífuga	30 u

Fuente: Elaboración propia

2.1.4 Reactivos

Tabla 4

Reactivos usados para el control y análisis de los tratamientos

Reactivo /Medios de cultivo	Cantidad
Hidróxido de sodio (NaOH) 0,1N	1 L
Fenolftaleína	50 mL
Agua destilada	10 L
Agua Peptonada	500 mL
Bacterias ácido-lácticas	8 u
MicroFast MIZHENG	
E. coli / Coliforme	8 u
CompactDry Nissui Pharmaceuticals	
Levadura y Moho Rápido	8 u
CompactDry Nissui Pharmaceuticals	

Fuente: Elaboración propia

2.1.5 Equipos

Tabla 5

Equipos usados para la elaboración, control y análisis de los tratamientos.

Equipos	Cantidad
Incubadora Térmica	2
pH-metro digital	1
Refractómetro digital	1
Balanza analítica	1
Cabina de flujo laminar	1
Autoclave	1
Viscosímetro	1
Centrífuga	1
Refrigeradora	1
Termómetro	1
Cocina	1
Licuadora	1
Micropipeta	1
Contador de colonias	1

Fuente: Elaboración propia

2.2 Métodos

2.2.1 Selección de la materia prima

Se adquirió 1 kg de cada vegetal en mercados locales de la ciudad de Ambato. La selección se basó en el estado de madurez comercial, evaluando mediante análisis visual y táctil.

2.2.1.1 Zapallo

Para la selección del zapallo, los criterios de madurez que se tomaron en cuenta son la coloración amarilla intensa y dura de corteza, pulpa de tono naranja y semillas duras; asimismo, se verificó que no tuvieran daños mecánicos, zonas blandas, grietas o evidencia de desarrollo fúngico (Gavril et al., 2024). Características que indican una concentración elevada de carotenoides, como el β caroteno y propiedades antioxidantes. Se verificaron los sólidos solubles con un refractómetro, registrando un valor de 7°Brix, valor que favorece a la fermentación (Xu et al., 2024).

2.2.1.2 Remolacha

Se seleccionaron raíces con forma globosa regular, superficie lisa, y una coloración externa e interna de tono púrpura, que indica la concentración de betalaínas presentes en el tejido, betacianinas y betaxantinas pigmentos responsables de la coloración rojiza púrpura, también se registró °Brix de 7 (Carreón et al., 2022). Contribuyen a la estabilidad cromática y el perfil nutricional de las bebidas fermentadas. Se desecharon las raíces con zonas blandas, superficies deshidratadas, con presencia de moho y olores atípicos, condiciones que indican pérdida de sólidos solubles.

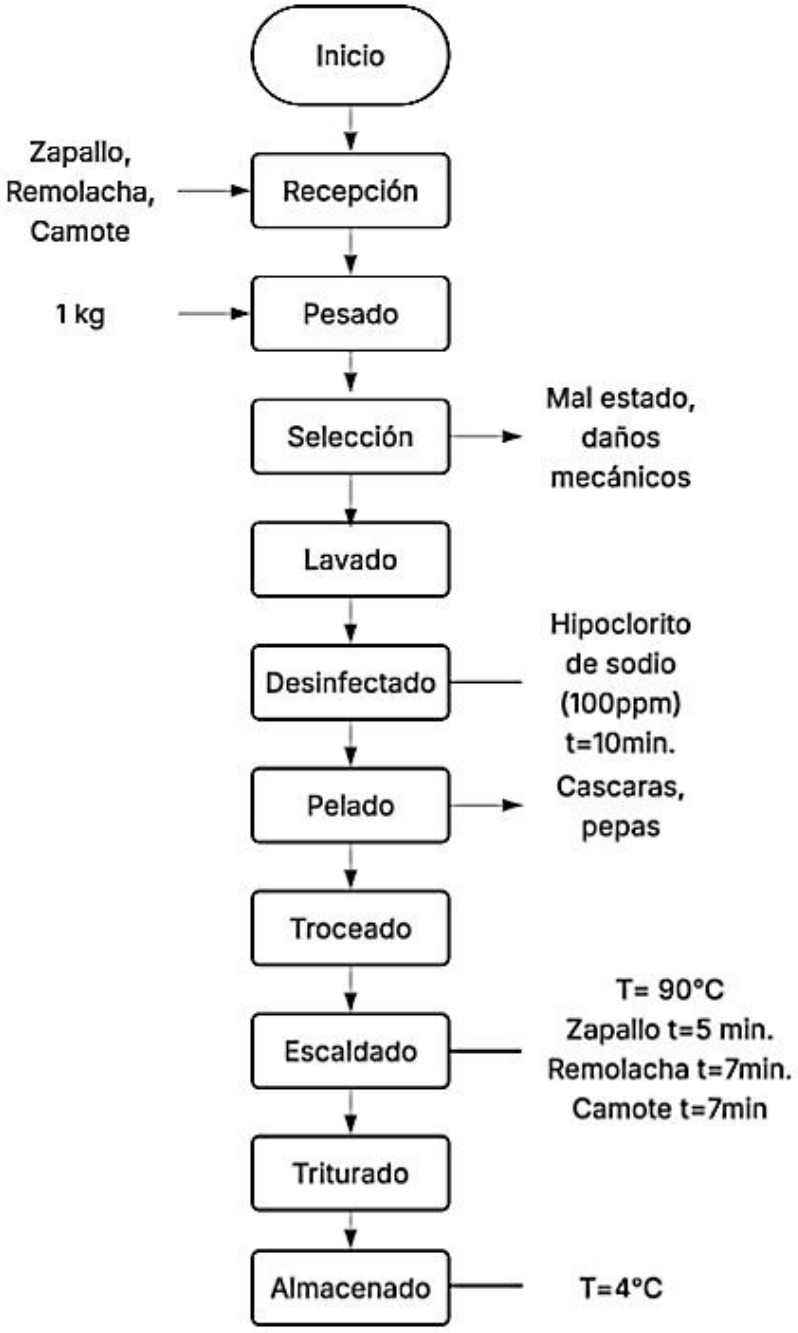
2.2.1.3 Camote

Con respecto al camote morado, se seleccionaron productos con corteza firme y piel bien adherida, asegurando que no exista desprendimiento al frotamiento manual, parámetros que señalan ausencia de deshidratación y se registró un valor de 6 °Brix. La coloración morada de la pulpa indica concentración de antocianinas, compuestos flavonoides con elevada actividad antioxidante y potencial prebiótico que puede influir de manera favorable en la fermentación del kéfir de leche (Hayati et al., 2019).

2.2.2 Obtención de la pulpa

Figura 1

Flujograma elaboración de pulpa



Fuente: Elaboración propia

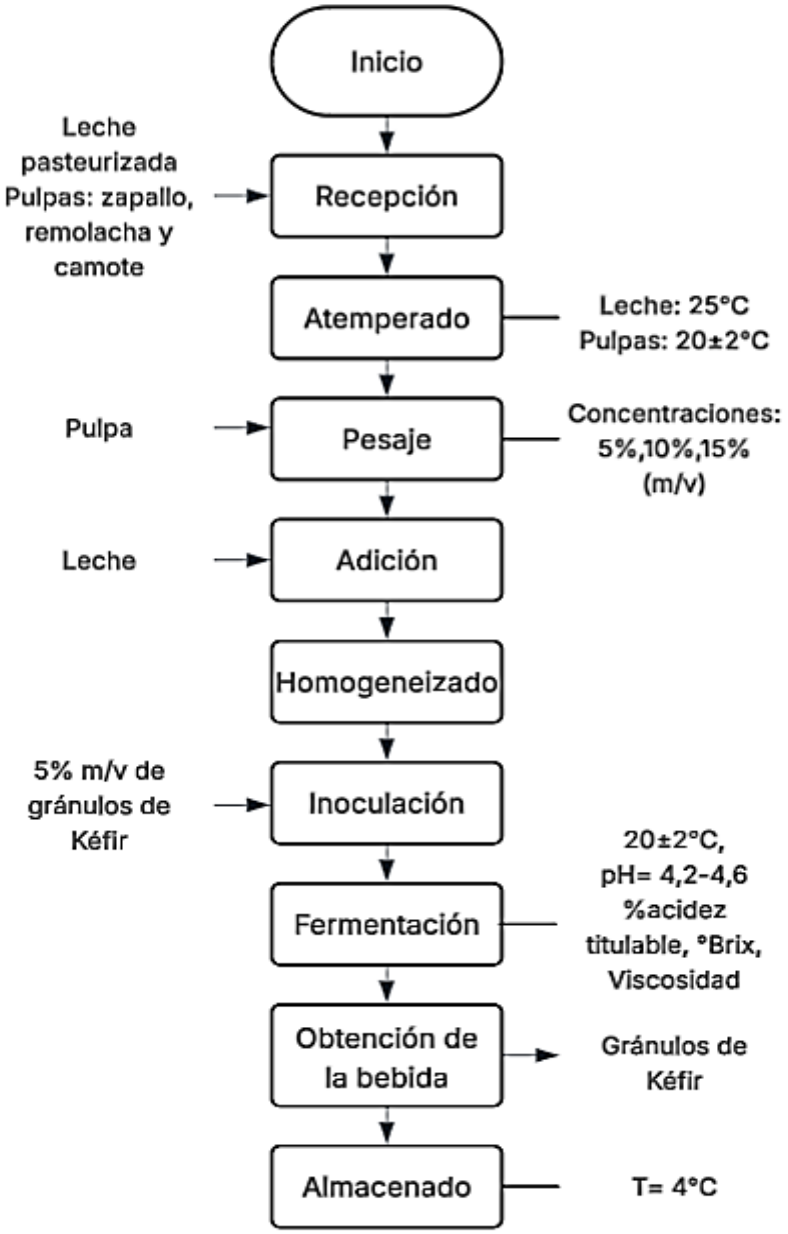
Primero se lavó la materia prima con agua potable, utilizando un cepillo para eliminar impurezas superficiales, restos de tierra, se desinfectó con una solución de hipoclorito de sodio al 100 ppm por un periodo de 10 minutos y finalmente se procedió a un enjuague (Paltrinieri et al., 1993). Se retiraron las cortezas y también las semillas del zapallo, posteriormente, los vegetales se trocearon en cubos de entre 1 y 2 cm para facilitar el tratamiento térmico; se realizó en agua a 90 °C durante un periodo de 5 minutos para el zapallo y 7 minutos para la remolacha

y el camote (Xiao et al., 2017). Inmediatamente después, se aplicó un choque térmico con agua fría; este proceso permite reducir la carga microbiana y estabilizar el producto para el licuado. Finalmente, se obtuvo la pulpa densa y homogénea; cuando la viscosidad dificultó el licuado se añadió hasta un 10 % de agua mineral por cada kilogramo de muestra (Bamidele et al., 2017).

2.2.3 Preparación del Kéfir

Figura 2

Flujograma inoculación del kéfir



Fuente: Elaboración propia

Para el desarrollo de cada tratamiento, se utilizó leche entera pasteurizada, la cual se atemperó a 25 °C previo a la inoculación. La incorporación de los purés vegetales se realizó siguiendo el diseño factorial 3^2+1 detallado en la Tabla 6 y en la Tabla 7. Se incorporaron las pulpas vegetales en concentraciones del 5 %, 10 % y 15 % (m/v), que se establecieron con base en estudios ya realizados de bebidas a base de kéfir con adición de frutas (Paredes et al., 2022). Cada puré se homogeneizó completamente con la leche antes de añadir el cultivo.

Se inocularon gránulos de kéfir en una proporción del 5 % (m/v). El proceso se llevó a cabo en recipientes de vidrio previamente esterilizados, se utilizaron válvulas airlock para permitir la salida de CO2 y evitar el ingreso de contaminantes. La fermentación se llevó a cabo a temperatura ambiente, hasta alcanzar un rango de pH entre 4,2 y 4,6, registrando el tiempo transcurrido. Una vez alcanzado el punto final, se filtraron los gránulos en condiciones asépticas y la bebida obtenida se almacenó en refrigeración a 4 °C para su conservación (Farag et al., 2020). Todos los tratamientos se realizaron por triplicado.

Tabla 6

Diseño factorial de 3^2+1

Factores de estudio	Niveles
Factor A : Pulpa de vegetal	A1: Zapallo A2: Camote A3: Remolacha
Factor B: Concentración de la pulpa	B1: 5% B2: 10% B3: 15%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7

Tratamientos del diseño factorial y el tratamiento control

Tratamiento	Tipo de materia prima (A)	Concentración (B)
T0	Sin pulpa	0%
T1	Zapallo	5%

T2	Zapallo	10%
T3	Zapallo	15%
T4	Camote	5%
T5	Camote	10%
T6	Camote	15%
T7	Remolacha	5%
T8	Remolacha	10%
T9	Remolacha	15%

Fuente: Elaboración propia

Para analizar los datos, se empleó un Análisis de Varianza (ANOVA) y la Prueba de Comparación Múltiple de Tukey para identificar diferencias significativas entre los tratamientos. Las variables independientes fueron el tipo de pulpa, Factor A y su concentración, Factor B, evaluando su efecto sobre las variables dependientes que son la cinética de fermentación, sólidos solubles (°Brix) y viscosidad. Todos los análisis se ejecutaron con un nivel de confianza del 95% a través del software SPSS Statistics.

2.2.4 Cinética de fermentación

Para controlar el proceso de la fermentación, se registró el tiempo total (h) transcurrido desde la inoculación hasta que cada tratamiento alcanzó un rango de pH entre 4,2 a 4,6, punto final característico del kéfir de leche (Alves et al., 2021 ; Avila et al., 2022).

Para construir las curvas de cinética de fermentación y evaluar el comportamiento metabólico de los microorganismos, se realizaron mediciones periódicas a las 0, 15, 21, 39 y 48 horas. En cada intervalo de tiempo, se evaluó el descenso del pH y de los sólidos solubles (°Brix), así

como el incremento de la acidez titulable, de esta manera se analizó tanto el consumo de sustrato como la eficiencia en la producción de ácidos orgánicos durante las distintas fases de la fermentación.

2.2.5 Acidez titulable

La acidez titulable se determinó por el método volumétrico, siguiendo como referencia la norma INEN 013:2012 Determinación de la Acidez titulable, Leche y para la remolacha se aplicó la norma NTE INEN-ISO 750:2013 Determinación de la Acidez titulable para Productos Vegetales y Frutas, con un volumen de dilución mayor debido a la alta concentración de betalaínas. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido láctico, que es el metabolito principal en la fermentación del kéfir.

Primero se registró la masa del matraz Erlenmeyer vacío (m) en la balanza analítica. Posteriormente, se pesaron 5 g de muestra y se transfirió al matraz, registrando la nueva masa (m1). La masa neta de la muestra se obtuvo por diferencias (m1-m).

La muestra pesada se diluyó en 50 mL de agua destilada y para la muestra con remolacha se diluyó en 100 mL de agua destilada, homogenizando completamente mediante agitación suave hasta obtener una suspensión uniforme. Se añadieron 2 gotas de solución indicadora de fenolftaleína sobre la dilución preparada.

Se cargó la bureta con solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) 0,1N, se tituló la dilución gota a gota con agitación continua hasta observar el viraje a color rosa pálido persistente por al menos 30 segundos, finalmente se registró el volumen de NaOH consumido (V, en cm^3).

La acidez titulable se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$A = 0{,}090 \frac{V \times N}{m_1 - m} \times 100$$

A= acidez titulante de la leche, en porcentaje en masa de ácido láctico.
V= volumen de la solución de hidróxido de sodio empleado en la titulación, en cm^3.
N= normalidad de la solución de hidróxido de sodio.
0,090= miliequivalente-gramo del ácido láctico
m= masa del matraz Erlenmeyer vacío en g.
m_1= masa del matraz Erlenmeyer con la leche, en g.

2.2.6 °Brix

Se determinó siguiendo la norma internacional ISO 2173:2003, que establece el uso del refractómetro. Primero se procedió a calibrar el refractómetro utilizando agua destilada para que las mediciones no tuvieran error. Se tomó una muestra de cada tratamiento, previamente homogeneizado, con la ayuda de un gotero se depositaron una a dos gotas de muestra sobre el prisma limpio y seco del refractómetro, se presionó el botón y se registró el valor que marcó. Las mediciones se registraron a las 0, 15, 21, 39 y 48 horas

2.2.7 Viscosidad

La viscosidad se determinó mediante un viscosímetro rotacional marca QUIMIS, siguiendo los procedimientos establecidos en la norma ISO 2555 y los parámetros reportados por (Yiğitvar & Hayaloğlu, 2025).

Las muestras de cada tratamiento fueron medidas a una temperatura de 23 °C, se verificó la correcta nivelación del viscosímetro asegurando la perpendicularidad del husillo respecto a la superficie de la muestra, el husillo debe estar siempre en posición vertical. Se seleccionó el husillo N.°2, apropiado para la consistencia semilíquida. El husillo fue sumergido en la muestra hasta la marca de inmersión, se programó una velocidad de 30 rpm, se dejó estabilizar la lectura durante al menos 60 segundos antes de registrar el valor. La lectura registrada en pantalla fue anotada directamente en unidades de mPa*s.

Las mediciones se realizaron a las 0, 15, 21, 39 y 48 horas para monitorear el comportamiento reológico de las muestras durante el proceso de fermentación, Las lecturas fueron tomadas por duplicado, reportando la media aritmética de ambas réplicas como valor final de viscosidad aparente (Laguna et al., 2022).

2.2.8 Sinéresis

La sinéresis se determinó mediante el método de centrifugación, se pesaron 20 g de muestra en tubos de centrífuga previamente tarados. Las muestras se sometieron a una fuerza centrífuga de 3000 rpm durante 10 minutos a una temperatura de 4°C. Finalizada la centrifugación, se retiró cuidadosamente el suero liberado, recolectando en un recipiente y se registró el peso del suero separado (Ws) (Setyawardani et al., 2021).

La sinéresis se calculó como el porcentaje del peso del suero separado respecto al peso inicial de la muestra, con la siguiente ecuación:

$$Sinéresis\ (\%) = \frac{W_s}{W_i} \times 100$$

$W_s = Peso\ del\ suero\ separado$ (g)

$W_i = Peso\ inicial\ de\ la\ muestra$ (g)

2.2.9 Capacidad de retención del agua

La capacidad de retención de agua (CRA) del kéfir se determinó mediante el método de centrifugación (Bielska et al., 2021).

Se pesaron 20 g de muestra en tubos de centrífuga previamente tarados. Las muestras se sometieron a una fuerza centrífuga de 3000 rpm durante 10 minutos a una temperatura de 4°C. Finalizada la centrifugación, se retiró cuidadosamente el suero liberado, recolectando en un recipiente y se registró el peso del suero separado. Se adoptaron los mismos parámetros de centrifugación utilizados en la determinación de sinéresis.

Se registró la masa del sobrenadante obtenido (We) y la masa inicial de la muestra (Wi). La capacidad de retención de agua se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$CRA(\%) = \left(1 - \frac{W_e}{W_i}\right) \times 100$$

$W_e = Peso\ del\ agua\ expulsado$

$W_i = Peso\ inicial\ de\ la\ muestra$

2.2.10 Análisis sensorial

Para la evaluación sensorial, se realizó la prueba de aceptación con 30 catadores semientrenados, quienes recibieron una breve explicación sobre la escala hedónica, la identificación de los atributos a evaluar y el procedimiento de limpieza del paladar entre muestras (Ströher et al., 2025).

Se empleó una escala hedónica de 5 puntos, siendo 1 me disgusta mucho, 2 no me gusta, 3 no me gusta ni me disgusta, 4 me gusta y 5 me gusta mucho. Se evaluaron los siguientes atributos sensoriales: color, aroma, textura, sabor y aceptación global.

Las muestras fueron servidas en vasos desechables codificados con números aleatorios de tres dígitos, para evitar sesgos por orden de presentación por parte de los catadores. La evaluación se realizó en cabinas individuales bajo condiciones controladas de iluminación, temperatura ambiente y sin ruidos que pudieran interferir. Se los colocó las muestras, junto con la hoja de evaluación y agua como borrador.

Los datos obtenidos fueron procesados mediante estadística no paramétrica con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0,05$), utilizando el software IBM SPSS Statistics, la prueba de Friedman y la prueba de Wilcoxon.

2.2.11 Determinación del contenido de fibra dietética

La fibra dietética total se determinó mediante el método enzimático-gravimétrico AOAC 985.29, Edición 22 (2023), en el laboratorio de Control y Análisis de Alimentos (LACONAL). Las muestras fueron sometidas a una digestión secuencial con tres enzimas específicas como la α-amilasa termoestable, proteasa y amiloglucosidasa, que simulan el proceso de digestión fisiológica en el intestino delgado humano, permitió aislar y cuantificar gravimétricamente el residuo no digerido. Para ello, primero las muestras fueron homogeneizadas, secadas y molidas hasta obtener un polvo, luego se realizó la digestión enzimática con cada enzima.

Al terminar la digestión, el residuo fue separado mediante precipitación y filtración, obteniendo dos fracciones residuales, una para el análisis de cenizas y otra para el análisis de proteínas residuales, para obtener el contenido neto de fibra dietética. Para la determinación gravimétrica, el residuo seco retenido en el filtro fue pesado, determinando el contenido de cenizas por incineración y el contenido de proteína residual por el método de Kjeldahl.

2.2.12 Determinación de Proteína

La proteína total se determinó mediante el método Kjeldahl AOAC 991.2. Edición 22 (2023), en el laboratorio de Control y Análisis de Alimentos (LACONAL).

Se realizó digestión ácida, para ello se pesó una cantidad exacta de la muestra y se transfirió a un tubo de digestión, se añadió ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y una mezcla catalizadora para acelerar la oxidación de la materia orgánica. Se llevó a cabo en un bloque digestor, hasta obtener una solución limpia, lo que indica la conversión del nitrógeno orgánico en sulfato de amonio.

Se procedió a la liberación del amoníaco mediante la adición de hidróxido de sodio (NaOH) concentrado, el amoníaco liberado fue arrastrado por vapor de agua y recolectado en un matraz que contenía una solución de ácido bórico (H_3BO_3), formando borato de amonio. La solución recolecta se tituló con ácido clorhídrico (HCl) hasta observar el viraje y el contenido de proteína total se calculó multiplicando el porcentaje de nitrógeno obtenido por el factor de conversión correspondiente.

2.2.13 Determinación de Grasa

La grasa se determinó mediante el método de Gravimetría AOAC Edición 22 (2023). 06, en el laboratorio de Control y Análisis de Alimentos (LACONAL).

Primero se deshidrató la muestra, se pesó 1 g y se colocó en dedales de celulosa porosos, que actúan como barrera física permitiendo únicamente el paso del solvente y los lípidos extraídos. Los dedales se introdujeron en un sistema de extracción tipo Soxhlet, se emplearon 50 mL de hexano como fase extractora. Se dejó por 4 horas a una temperatura de 130°C, asegurando el contacto con el solvente caliente y la muestra. Se lavó por 2 horas para arrastrar remanentes lipídicos, finalmente, se recolectó el solvente.

Los vasos de extracción se sometieron a un proceso de secado en estufa para eliminar trazas de hexano, se enfriaron en un desecador con sílice activa hasta alcanzar el peso constante. El contenido de grasa se determinó por diferencia de pesos y se expresó como porcentaje en peso, utilizando la relación entre la masa de la grasa recuperada y la masa inicial de la muestra.

2.2.14 Recuento de bacterias ácido lácticas

Para la viabilidad de microorganismos probióticos, la cuantificación de bacterias ácido lácticas se realizó mediante el método de recuento en placa, expresado en Unidades Formadoras de Colonias por gramo o mililitro (UFC/g o mL). Siguiendo las normas ISO 6887-1:2017 y NTE INEN 1529-2, se prepararon las muestras bajo condiciones de asepsia, se pesaron 10 g de muestra y se homogeneizaron en 90 mL de agua peptonada estéril, obteniendo la dilución inicial 10^{-1}, a partir de esta se prepararon las diluciones seriadas decimales hasta alcanzar el factor de 10^{-7}, con el fin de realizar el conteo preciso.

Se utilizaron las placas MicroFast, la cual utiliza medios de cultivo listos para usar con indicadores cromogénicos, se sembraron por duplicado las diluciones 10^{-6} y 10^{-7}, se inoculó 1

mL de cada dilución en el centro de la placa, se colocó la película superior y se utilizó un espaciador estéril para distribuir la muestra de manera uniforme.

Las placas se colocaron en posición horizontal y se incubaron a una temperatura de 36 ± 1 °C durante un periodo de 48 a 72 horas. Se contó de manera manual, siguiendo los criterios de selectividad el medio que indica que las bacterias ácido lácticas son aquellas con una coloración roja, azul-verde o azul.

2.2.15 Recuento de levaduras y mohos

Para el recuento de levaduras y mohos, se utilizaron las placas CompactDry YM, un cultivo listo para usar que permite la diferenciación morfológica y cromogénica de estos microorganismos. La preparación de las muestras se realizó con condiciones asépticas y se pesaron 10 g de la muestra, se transfirió a 90 mL de agua peptonada estéril, se homogeneizó la muestra, a partir de esta dilución inicial 10^{-1}, se procedió a realizar las diluciones seriadas decimales hasta alcanzar el factor 10^{-4}, siguiendo los procedimientos de la norma NTE INEN 1529-2.

Estas placas contienen un medio de cultivo deshidratado, similar al agar Papa Dextrosa (PDA), enriquecido con agentes selectivos. Se inoculó 1 mL de la dilución en el centro de la placa, el inóculo se difunde de manera automática sobre la almohadilla de nutrientes. Las placas se incubaron en posición invertida a una temperatura de 25 ± 2°C, por un tiempo de 3 a 7 días.

El conteo de colonias de las levaduras, se identificaron como colonias pequeñas, convexas de color azul o blanco y para los mohos se identificaron por aspecto algodonoso y pigmentaciones características. Los resultados se expresaron en UFC/g o mL, multiplicando el número de colonias por el inverso del factor de dilución.

2.2.16 Recuento de *E. coli* y coliformes totales

Se utilizaron las placas CompactDry EC, es un método listo para usar, recomendado para el aislamiento y enumeración de coliformes y *Escherichia coli.* El medio contiene dos tipos de sustratos enzimático cromatogénicos, Magenta-GAL y X-GLUC, los cuales permiten diferenciar *E. coli* y coliformes totales.

Siguiendo los protocolos de asepsia y la norma NTE INEN 1529-2, se tomaron 10 g de la muestra y se diluyeron en 90 mL de agua peptonada, tras una homogenización, se procedió a

realizar las diluciones seriadas hasta la dilución 10^{-2} permitido. Se inoculó 1 mL de la dilución seleccionada en el centro de la placa, se distribuyó uniformemente de manera automática. Se incubó en posición invertida a 37°C, durante un tiempo de 24 ± 2 horas. Para la cuantificación de *Escherichia coli* se identificaron colonias de color azul y para coliformes totales se contabilizaron colonias rojas, azules y moradas. Los datos se expresaron en UFC/g o mL, considerando el factor de dilución para el cálculo de la densidad poblacional.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis de los parámetros fisicoquímicos y tecnofuncionales de cada tratamiento

Se evaluaron formulaciones de kéfir de leche con pulpas vegetales de zapallo, remolacha y camote en concentraciones de 5 %, 10 % y 15 %, además de un tratamiento control sin incorporación de pulpa. Los parámetros analizados fueron sólidos solubles, pH, acidez titulable, viscosidad, sinéresis y capacidad de retención de agua. Estos indicadores permitieron comprender el comportamiento fermentativo de la matriz láctea y valorar la estabilidad física del producto durante el almacenamiento, considerando que el kéfir puede modificar sus características según el tipo de sustrato, el tiempo de fermentación, la temperatura y la relación entre microorganismos y la matriz alimentaria (Azizi et al., 2021).

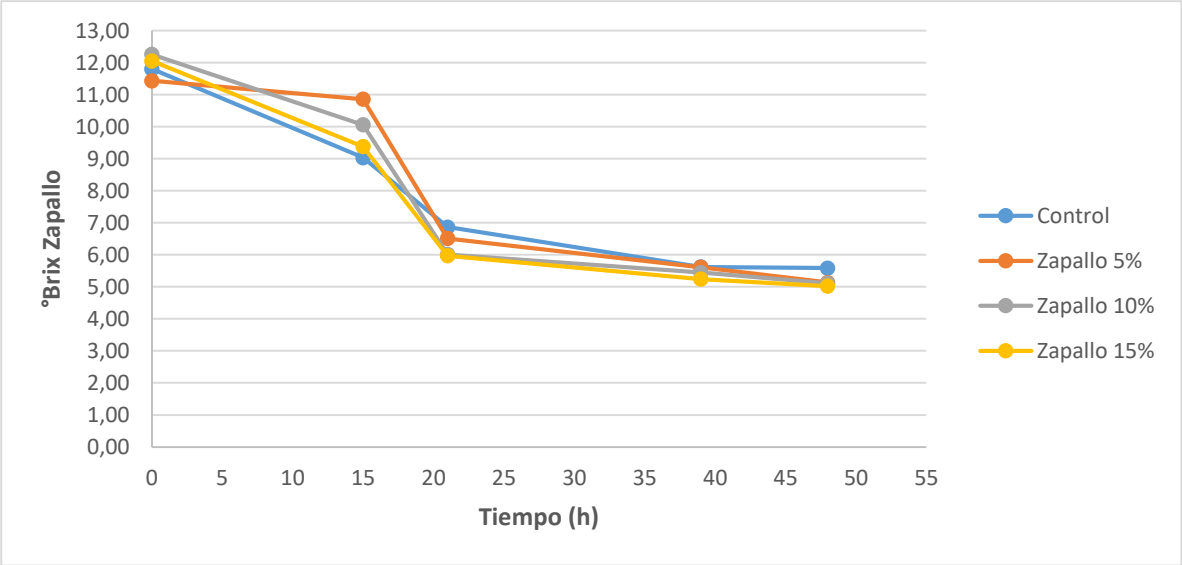
3.1.1 Cinética de fermentación del kéfir de leche con pulpa de zapallo

°Brix

La variación de los sólidos solubles permite interpretar el consumo de azúcares disponibles durante la fermentación del kéfir de leche con pulpa de zapallo. En la Figura 3 se presenta el comportamiento de los °Brix en el tratamiento control y en las formulaciones con 5 %, 10 % y 15 % de pulpa de zapallo durante 48 horas de fermentación. Este parámetro es importante porque refleja el aprovechamiento de los compuestos solubles de la leche y de la pulpa vegetal por parte de los microorganismos presentes en el kéfir.

Figura 3

Cinética de consumo de sólidos solubles (°Brix) en kéfir de leche con pulpa de zapallo durante la fermentación.



Nota. La figura muestra la variación de los sólidos solubles, expresados en °Brix, en el tratamiento control y en los tratamientos con pulpa de zapallo al 5 %, 10 % y 15 % durante 48 horas de fermentación.

Como se observa en la Figura 3, los sólidos solubles disminuyeron progresivamente durante la fermentación del kéfir con pulpa de zapallo. Al inicio, los valores fueron cercanos entre el control y los tratamientos enriquecidos, aunque T2 presentó el valor más alto, con 12,25 °Brix, lo que indica que la pulpa de zapallo al 10 % aportó una mayor cantidad de compuestos solubles a la matriz láctea. Esta respuesta es coherente con la composición del zapallo, ya que este vegetal contiene azúcares fermentables como sacarosa, glucosa y fructosa, los cuales pueden ser utilizados por bacterias ácido lácticas y levaduras durante el proceso fermentativo (Abbas et al., 2020).

El descenso más evidente ocurrió entre las 15 y 21 horas, etapa en la que los tratamientos con mayor concentración de pulpa mostraron una reducción marcada de °Brix. Al finalizar las 48 horas, T3 alcanzó el valor más bajo, con 5,02 °Brix, seguido de T2 y T1. Este comportamiento demuestra que los microorganismos del kéfir consumieron parte de los azúcares disponibles como fuente de energía, favoreciendo la producción de metabolitos propios de la fermentación. Resultados similares fueron reportados por Cuba Sosa y Velásquez Ccosi (2025), quienes observaron una disminución significativa de °Brix durante la fermentación de una bebida kefirada con sustratos vegetales.

Sin embargo, el comportamiento de los °Brix no fue completamente lineal en función de la concentración de pulpa. Aunque podría esperarse que una mayor cantidad de zapallo incremente de forma proporcional los sólidos solubles, los resultados muestran que T2 inició con el valor más alto, mientras que T3 presentó una mayor reducción al final del proceso. Esto puede explicarse porque la pulpa vegetal no solo aporta azúcares simples, sino también fibra, polisacáridos, almidones y otros compuestos que no son fermentados con la misma velocidad (Tavares et al., 2023).

pH

En la Tabla 8 se resumen los parámetros de control evaluados durante la fermentación del kéfir de leche con pulpa de zapallo. Se incluyen los valores de °Brix, pH, acidez titulable y viscosidad, los cuales permiten analizar de manera conjunta el avance de la fermentación y los

cambios fisicoquímicos generados por la incorporación de distintas concentraciones de pulpa. En particular, el pH permite observar el grado de acidificación de la bebida, mientras que la acidez titulable y los sólidos solubles complementan la interpretación del metabolismo microbiano.

Tabla 8

Parámetros de control durante la fermentación del kéfir de leche con pulpa de zapallo

Tiempo (h)	Parámetro	Control	T1: Zapallo 5 %	T2: Zapallo 10 %	T3: Zapallo 15 %
0	°Brix	11,80 ± 0,46b^{c}	11,43 ± 0,29^{c}	12,25 ± 0,15^{a}	12,05 ± 0,19^{ab}
0	pH	6,60 ± 0,02^{a}	6,57 ± 0,06^{a}	6,58 ± 0,05^{a}	6,57 ± 0,07^{a}
0	Acidez (%)	0,18 ± 0,01^{b}	0,21 ± 0,01^{a}	0,20 ± 0,01^{ab}	0,18 ± 0,01^{b}
0	Viscosidad (mPa·s)	—	—	—	—
15	°Brix	9,03 ± 0,50^{c}	10,85 ± 0,33^{a}	10,05 ± 0,21^{b}	9,39 ± 0,26^{c}
15	pH	5,77 ± 0,01^{a}	5,82 ± 0,08^{a}	5,51 ± 0,12^{b}	5,54 ± 0,06^{b}
15	Acidez (%)	0,59 ± 0,04^{b}	0,62 ± 0,03^{ab}	0,63 ± 0,02^{a}	0,64 ± 0,02^{a}
15	Viscosidad (mPa·s)	120,00 ± 5,00^{b}	248,56 ± 11,26^{a}	123,56 ± 2,70^{b}	250,78 ± 9,99^{a}
21	°Brix	6,87 ± 0,15^{a}	6,51 ± 0,23^{a}	6,01 ± 0,39^{b}	5,98 ± 0,24^{b}
21	pH	4,80 ± 0,01^{a}	4,83 ± 0,01^{a}	4,85 ± 0,01^{a}	4,73 ± 0,01^{a}
21	Acidez (%)	0,83 ± 0,02^{a}	0,72 ± 0,02^{b}	0,70 ± 0,01^{b}	0,78 ± 0,02^{b}

21	Viscosidad (mPa·s)	173,67 ± 0,58^{c}	338,11 ± 3,01^{a}	131,56 ± 3,54^{d}	244,11 ± 2,85^{b}
39	°Brix	5,62 ± 0,02^{a}	5,61 ± 0,10^{a}	5,44 ± 0,05^{a}	5,24 ± 0,17^{b}
39	pH	4,65 ± 0,03^{a}	4,48 ± 0,01^{b}	4,37 ± 0,01^{c}	4,46 ± 0,01^{b}
39	Acidez (%)	0,89 ± 0,03^{b}	0,94 ± 0,02^{a}	0,92 ± 0,03^{ab}	0,91 ± 0,03^{ab}
39	Viscosidad (mPa·s)	244,67 ± 0,58^{c}	339,89 ± 4,62^{a}	134,33 ± 3,46^{d}	280,67 ± 9,64^{b}
48	°Brix	5,58 ± 0,01^{a}	5,13 ± 0,11^{b}	5,11 ± 0,15^{b}	5,02 ± 0,12^{b}
48	pH	4,69 ± 0,01^{a}	4,34 ± 0,03^{b}	4,27 ± 0,02^{c}	4,27 ± 0,03^{c}
48	Acidez (%)	0,89 ± 0,03^{b}	1,00 ± 0,03^{a}	1,00 ± 0,03^{a}	0,98 ± 0,03^{a}
48	Viscosidad (mPa·s)	236,33 ± 1,53^{c}	336,67 ± 4,41^{a}	126,89 ± 3,98^{d}	289,78 ± 5,63^{b}

Nota. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los parámetros mediante la comparación de Tukey (α= 0,05). T1: concentración de pulpa de zapallo al 5% m/v; T2: concentración de pulpa de zapallo al 10% m/v; T3: concentración de pulpa de zapallo al 15% m/v.

Como se muestra en la Tabla 8, el pH inicial se mantuvo alrededor de 6,6 en todos los tratamientos, sin diferencias marcadas entre el control y las formulaciones con zapallo. Sin embargo, durante la fermentación se produjo una caída progresiva del pH, principalmente en T2 y T3, que alcanzaron valores finales de 4,27 a las 48 horas. Esta acidificación se relaciona con la actividad metabólica de las bacterias ácido lácticas presentes en el kéfir, las cuales transforman la lactosa y otros azúcares disponibles en ácido láctico, reduciendo el pH hasta valores característicos de productos fermentados (Kurniawan et al., 2026).

La reducción del pH en los tratamientos con zapallo también demuestra que la incorporación de esta pulpa no limitó la fermentación, sino que pudo favorecerla al aportar nutrientes adicionales a la matriz. Koh et al. (2024) observaron un comportamiento semejante en una bebida kefirada elaborada con puré de zapallo y agua de coco madura, donde la formulación optimizada alcanzó pH 4,5 en un tiempo corto de fermentación. Esta comparación permite señalar que el zapallo puede actuar como un sustrato funcional adecuado para el desarrollo de bebidas fermentadas tipo kéfir.

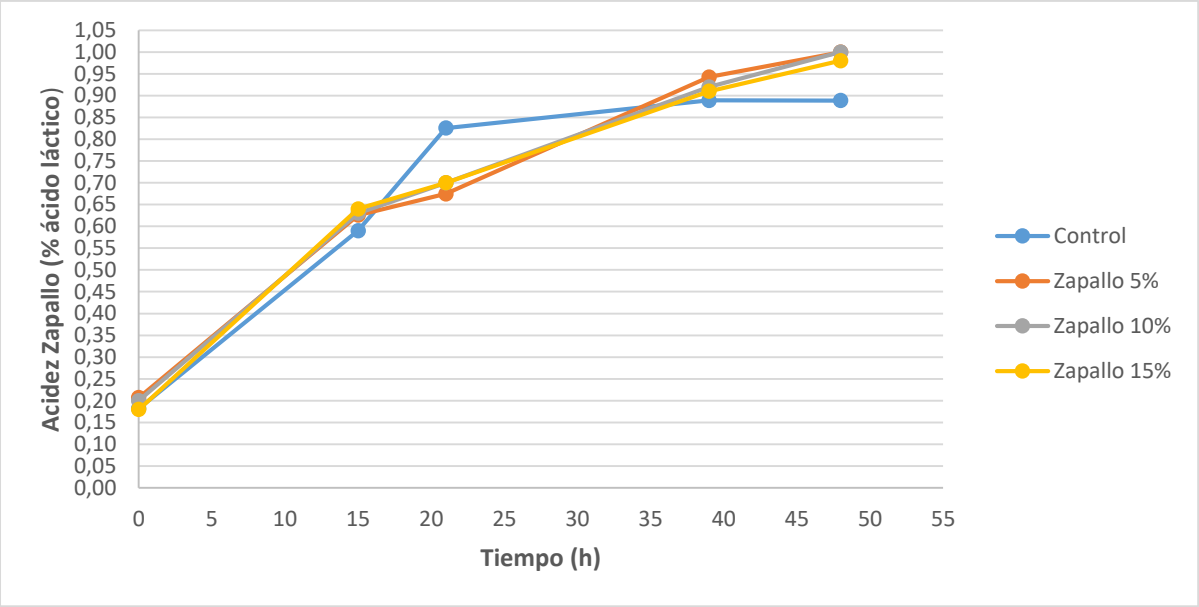
No obstante, la disminución del pH no siguió una respuesta estrictamente proporcional a la concentración de pulpa. A las 48 horas, T2 y T3 presentaron el mismo valor final de pH, pese a contener diferentes niveles de zapallo. Esto puede atribuirse al efecto amortiguador de la matriz láctea y de los componentes vegetales, como fibra, minerales y polisacáridos, que pueden modificar la velocidad de liberación de ácidos en el medio. Además, el pH expresa únicamente la acidez activa, por lo que no siempre coincide de manera directa con la cantidad total de ácidos formados durante la fermentación (Cardenete et al., 2024).

Acidez titulable

La acidez titulable es un indicador fundamental para evaluar el avance de la fermentación, ya que permite estimar la cantidad de ácidos orgánicos acumulados en la bebida. En la Figura 4 se presenta la evolución de la acidez titulable del tratamiento control y de los tratamientos con pulpa de zapallo al 5 %, 10 % y 15 %. Este análisis complementa los resultados de pH y °Brix, debido a que permite relacionar el consumo de sustratos fermentables con la producción de ácido láctico.

Figura 4

Cinética de producción de acidez titulable en kéfir de leche con pulpa de zapallo durante la fermentación



Nota. La figura muestra la evolución de la acidez titulable, expresada como porcentaje de ácido láctico, en el tratamiento control y en los tratamientos con pulpa de zapallo al 5 %, 10 % y 15 % durante 48 horas de fermentación.

En la Figura 4 se evidencia un aumento progresivo de la acidez titulable durante la fermentación. Al inicio, los valores oscilaron entre 0,18 % y 0,21 % de ácido láctico, mientras que al final del proceso los tratamientos con zapallo alcanzaron valores superiores al control. T1 y T2 llegaron a 1,00 %, y T3 alcanzó 0,98 %, lo que confirma que la pulpa de zapallo no inhibió la producción de ácido láctico, sino que acompañó de manera favorable el proceso fermentativo (Azizi et al., 2021).

Este incremento de acidez se relaciona directamente con la disminución del pH y el consumo de sólidos solubles observados en la Tabla 8 y en la Figura 3. La tendencia coincide con Cuba Sosa y Velásquez Ccosi (2025), quienes reportaron una reducción de pH y °Brix acompañada de un aumento de acidez titulable en una bebida kefirada con sustratos vegetales. De igual manera, Vieira et al. (2021) indican que durante la fermentación del kéfir se generan ácidos orgánicos, compuestos volátiles y metabolitos bioactivos que determinan las características fisicoquímicas y sensoriales del producto.

Aunque la acidez titulable aumentó en todos los tratamientos, los valores finales muestran que la concentración más alta de pulpa no produjo necesariamente la mayor acidez. T1 y T2 alcanzaron 1,00 %, mientras que T3 llegó a 0,98 %. Esta diferencia puede explicarse porque el aumento de pulpa modifica la composición de la matriz, incorporando mayor cantidad de fibra, compuestos solubles y sustancias con posible efecto amortiguador. Estos componentes pueden influir en la disponibilidad de azúcares fermentables y en la forma en que los ácidos se acumulan o se expresan en el producto final. Por ello, el comportamiento de la acidez titulable debe interpretarse junto con el pH y los °Brix, ya que cada variable refleja una parte distinta del proceso fermentativo.

Viscosidad

La viscosidad permite evaluar los cambios estructurales que ocurren en el kéfir durante la fermentación, especialmente por la interacción entre las proteínas de la leche, la acidez generada, los exopolisacáridos microbianos y los componentes de la pulpa vegetal. En este caso, los datos presentados en la Tabla 8 permiten comparar el efecto de las concentraciones de zapallo sobre la consistencia de la bebida fermentada.

En cuanto a la viscosidad presentada en la Tabla 8, el comportamiento dependió de la concentración de pulpa incorporada. T1 mostró los valores más altos durante gran parte del proceso, alcanzando 336,67 mPa·s a las 48 horas, mientras que T2 registró el valor más bajo al final de la fermentación. Este resultado sugiere que el zapallo al 5 % favoreció una mejor estructuración de la matriz, posiblemente por una interacción más equilibrada entre la fibra vegetal, la red proteica de la leche y los exopolisacáridos del kéfir, como el kefirán, que influyen en la textura y viscosidad de la bebida fermentada (Justel et al., 2025).

Aunque T3 también superó al control en viscosidad final, el comportamiento de T2 indica que una mayor cantidad de pulpa no siempre garantiza una estructura más estable. La matriz del kéfir depende de un equilibrio entre proteínas lácteas, acidez, polisacáridos y componentes vegetales; cuando esta relación no es adecuada, puede alterarse la formación del gel. Koh et al. (2024) también reportaron que la incorporación de zapallo puede influir en la viscosidad, la estabilidad y la aceptabilidad de bebidas kefiradas, aunque su efecto depende de la concentración utilizada y de las condiciones de fermentación.

El comportamiento no lineal de la viscosidad puede deberse a que la pulpa de zapallo actúa de manera diferente según su proporción dentro de la matriz. En una concentración baja, como el 5 %, sus componentes pueden integrarse mejor con la caseína, el agua retenida y los polisacáridos formados durante la fermentación, generando una estructura más uniforme. En cambio, al 10 %, la relación entre sólidos vegetales y matriz láctea pudo no ser la más adecuada, lo que habría limitado la formación de una red estable y reducido la viscosidad final. Por esta razón, los resultados no deben interpretarse únicamente como efecto de mayor o menor cantidad de pulpa, sino como consecuencia del equilibrio entre los componentes del sistema fermentado (Quintana et al., 2022).

Sinéresis y CRA

La sinéresis y la capacidad de retención de agua son parámetros tecnofuncionales que permiten evaluar la estabilidad física del kéfir durante el almacenamiento. En la Tabla 9 se presentan estos resultados para el tratamiento control y las formulaciones con pulpa de zapallo al 5 %, 10 % y 15 %. La sinéresis indica la cantidad de suero liberado por la matriz, mientras que la capacidad de retención de agua refleja la habilidad del producto para mantener el líquido dentro de su estructura.

Tabla 9

Sinéresis y capacidad de retención de agua del kéfir de leche con pulpa de zapallo durante el almacenamiento

Tiempo de almacenamiento	Parámetro	Control	T1: Zapallo 5 %	T2: Zapallo 10 %	T3: Zapallo 15 %
Día 1	Sinéresis (%)	$41,91 \pm 0,23^{b}$	$48,83 \pm 1,69^{ab}$	$52,02 \pm 3,95^{a}$	$46,92 \pm 1,24^{b}$
Día 1	CRA (%)	$52,09 \pm 0,23^{a}$	$51,17 \pm 1,69^{ab}$	$47,98 \pm 3,95^{b}$	$53,08 \pm 1,24^{a}$
Día 3	Sinéresis (%)	$48,75 \pm 0,37^{b}$	$47,10 \pm 0,17^{b}$	$54,45 \pm 2,91^{a}$	$47,55 \pm 1,21^{b}$
Día 3	CRA (%)	$51,25 \pm 0,37^{a}$	$52,90 \pm 0,17^{a}$	$45,55 \pm 2,91^{b}$	$52,45 \pm 1,21^{a}$

Día 7	Sinéresis (%)	48,39 ± 2,48[b]	46,50 ± 0,34[b]	50,73 ± 0,74[a]	49,80 ± 0,67[b]
Día 7	CRA (%)	51,61 ± 2,48[b]	53,50 ± 0,34[a]	49,27 ± 0,74[c]	50,20 ± 0,67[c]

Nota. Los valores se expresan como media ± desviación estándar. Letras diferentes en una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. CRA: capacidad de retención de agua. T1: kéfir con 5 % de pulpa de zapallo; T2: kéfir con 10 % de pulpa de zapallo; T3: kéfir con 15 % de pulpa de zapallo.

Como se observa en la Tabla 9, la sinéresis permitió valorar la estabilidad física del kéfir durante el almacenamiento. En el día 1, T2 presentó el mayor valor de sinéresis, con 52,02 %, mientras que T3 y el control mostraron valores más bajos. Esta tendencia continuó en el día 3, cuando T2 alcanzó 54,45 % de sinéresis y la menor capacidad de retención de agua, con 45,55 %. Estos resultados indican que la concentración de zapallo al 10 % generó una matriz menos estable, con mayor expulsión de suero y menor capacidad para retener agua.

Al día 7, T1 presentó el mejor comportamiento tecnofuncional, con la menor sinéresis, 46,50 %, y la mayor capacidad de retención de agua, 53,50 %. Esto demuestra que la incorporación de zapallo al 5 % permitió una mejor integración con la matriz láctea, favoreciendo la retención de agua y reduciendo la separación de suero. Este resultado puede explicarse por el aporte de fibra y polisacáridos vegetales del zapallo, los cuales, en concentraciones adecuadas, pueden contribuir a la estabilidad física de alimentos fermentados; sin embargo, cuando la proporción no es equilibrada, la matriz puede debilitarse y liberar mayor cantidad de suero (Koh et al., 2024).

El comportamiento de la sinéresis y de la capacidad de retención de agua confirma que la respuesta tecnofuncional del kéfir con zapallo no depende de manera lineal de la concentración de pulpa. Aunque una mayor cantidad de sólidos vegetales podría parecer favorable para retener agua, los resultados muestran que el 10 % presentó menor estabilidad que el 5 % y el 15 %. Esto puede relacionarse con una distribución menos homogénea de los componentes vegetales dentro de la matriz láctea, lo que habría afectado la cohesión del gel fermentado. En cambio, el tratamiento al 5 % permitió una interacción más equilibrada entre proteínas, fibra y exopolisacáridos, favoreciendo una estructura más estable durante el almacenamiento.

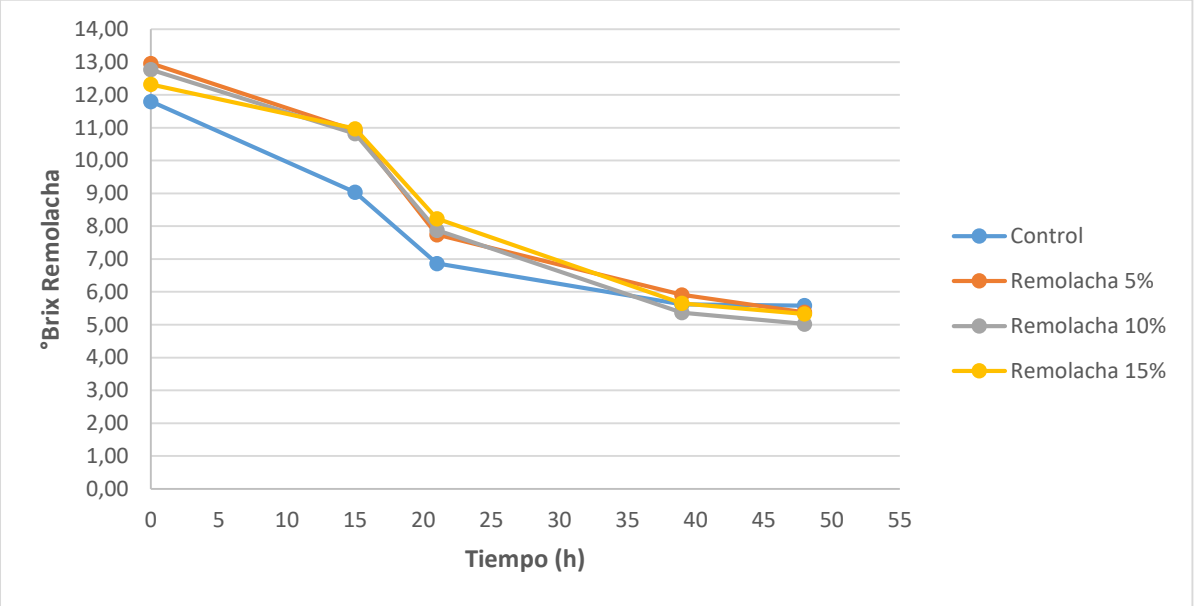
3.1.2 Cinética de fermentación del kéfir de leche con pulpa de remolacha

°Brix

La variación de los sólidos solubles permite analizar el consumo de azúcares disponibles durante la fermentación del kéfir de leche con pulpa de remolacha. En la Figura 5 se presenta la cinética de consumo de °Brix en el tratamiento control y en las formulaciones con 5 %, 10 % y 15 % de pulpa de remolacha durante 48 horas de fermentación. Este parámetro es importante porque permite observar la disponibilidad y el aprovechamiento de los compuestos solubles aportados tanto por la leche como por la pulpa vegetal.

Figura 5

Cinética de consumo de sólidos solubles (°Brix) en kéfir de leche con pulpa de remolacha durante la fermentación



Nota. La figura muestra la variación de los sólidos solubles, expresados en °Brix, en el tratamiento control y en los tratamientos con pulpa de remolacha al 5 %, 10 % y 15 % durante 48 horas de fermentación.

Como se presenta en la Figura 5, los tratamientos con remolacha mostraron valores iniciales de °Brix superiores al control. T1 y T2 registraron las concentraciones más altas, con 12,95 y 12,76 °Brix, respectivamente. Este comportamiento se relaciona con el aporte natural de azúcares de la remolacha, especialmente sacarosa, acompañada de glucosa y fructosa en menor

proporción, compuestos que pueden actuar como sustratos fermentables para los microorganismos del kéfir (Arias et al., 2024).

Durante la fermentación, los °Brix disminuyeron en todos los tratamientos. A las 48 horas, T2 presentó el valor más bajo, con 5,02 °Brix, lo que sugiere un mayor consumo de sólidos solubles. Esta respuesta coincide con Casciano et al. (2022), quienes demostraron que la fermentación de remolacha roja con diferentes consorcios microbianos, incluido un cultivo tipo kéfir, genera reducción de azúcares residuales, disminución del pH y producción de ácidos orgánicos. Por ello, la remolacha puede ser considerada una matriz vegetal fermentable, aunque su comportamiento depende de la concentración y del tipo de microorganismos presentes.

El comportamiento de los °Brix no siguió una tendencia completamente lineal con el aumento de la concentración de pulpa. Aunque T3 tuvo una mayor proporción de remolacha, no presentó el valor inicial más alto ni el menor valor final. Esto puede explicarse porque la remolacha no aporta únicamente azúcares simples, sino también fibra soluble, pigmentos, minerales y compuestos fenólicos que pueden modificar la disponibilidad de los sólidos solubles dentro de la matriz láctea. Además, la concentración de pulpa puede influir en la difusión de los sustratos y en la actividad de los microorganismos, por lo que una mayor adición no siempre representa un consumo más intenso o uniforme de azúcares durante la fermentación (Cheng et al., 2023).

pH

En la Tabla 10 se presentan los parámetros de control evaluados durante la fermentación del kéfir de leche con pulpa de remolacha. Se incluyen los valores de °Brix, pH, acidez titulable y viscosidad, los cuales permiten interpretar de forma conjunta el avance del proceso fermentativo y los cambios generados por la incorporación de la pulpa vegetal. El pH resulta especialmente importante porque evidencia la acidificación de la matriz láctea como consecuencia de la actividad metabólica de bacterias ácido lácticas y levaduras.

Tabla 10

Parámetros de control durante la fermentación del kéfir de leche con pulpa de remolacha

Tiempo (h)	Parámetro	Control	T1: Remolacha 5 %	T2: Remolacha 10 %	T3: Remolacha 15 %
0	°Brix	11,80 ± 0,46^{c}	12,95 ± 0,11^{a}	12,76 ± 0,14^{a}	12,32 ± 0,07^{b}
0	pH	6,60 ± 0,03^{a}	6,51 ± 0,07^{a}	6,49 ± 0,09^{a}	6,56 ± 0,04^{a}
0	Acidez (%)	0,18 ± 0,01^{b}	0,20 ± 0,01^{a}	0,19 ± 0,01^{ab}	0,20 ± 0,01^{b}
0	Viscosidad (mPa·s)	—	—	—	—
15	°Brix	9,03 ± 0,50^{b}	10,91 ± 0,09^{a}	10,82 ± 0,27^{a}	10,97 ± 0,12^{a}
15	pH	5,77 ± 0,01^{a}	5,24 ± 0,01^{b}	5,13 ± 0,03^{bc}	4,92 ± 0,03^{c}
15	Acidez (%)	0,59 ± 0,04^{a}	0,57 ± 0,03^{a}	0,56 ± 0,01^{a}	0,60 ± 0,02^{a}
15	Viscosidad (mPa·s)	120,00 ± 5,00^{c}	231,11 ± 4,16^{a}	144,67 ± 3,35^{b}	118,22 ± 2,49^{c}
21	°Brix	6,87 ± 0,15^{c}	7,74 ± 0,30^{b}	7,90 ± 0,22^{ab}	7,95 ± 0,25^{a}
21	pH	4,80 ± 0,01^{b}	4,84 ± 0,01^{a}	4,73 ± 0,01^{c}	4,66 ± 0,01^{d}
21	Acidez (%)	0,83 ± 0,02^{a}	0,69 ± 0,02^{b}	0,68 ± 0,02^{b}	0,70 ± 0,02^{b}
21	Viscosidad (mPa·s)	173,67 ± 0,58^{b}	255,89 ± 1,61^{a}	158,67 ± 2,12^{c}	133,44 ± 5,02^{d}
39	°Brix	5,62 ± 0,02^{b}	5,91 ± 0,14^{a}	5,37 ± 0,13^{c}	5,65 ± 0,11^{b}

39	pH	4,65 ± 0,03[b]	4,69 ± 0,02[a]	4,51 ± 0,01[d]	4,62 ± 0,01[c]
39	Acidez (%)	0,89 ± 0,03[a]	0,79 ± 0,02[b]	0,87 ± 0,02[a]	0,80 ± 0,02[b]
39	Viscosidad (mPa·s)	244,67 ± 0,58[a]	128,78 ± 0,60[b]	105,60 ± 0,26[c]	96,34 ± 1,80[d]
48	°Brix	5,58 ± 0,01[a]	5,38 ± 0,12[b]	5,02 ± 0,09[c]	5,33 ± 0,11[b]
48	pH	4,69 ± 0,01[a]	4,62 ± 0,02[b]	4,48 ± 0,01[d]	4,57 ± 0,01[c]
48	Acidez (%)	0,88 ± 0,03[b]	0,86 ± 0,03[b]	0,91 ± 0,01[a]	0,86 ± 0,02[b]
48	Viscosidad (mPa·s)	236,33 ± 1,53[a]	91,67 ± 0,50[c]	80,77 ± 0,41[b]	71,70 ± 0,48[d]

Nota. Los valores se expresan como media ± desviación estándar. Letras diferentes en una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. T1: kéfir con 5 % de pulpa de remolacha; T2: kéfir con 10 % de pulpa de remolacha; T3: kéfir con 15 % de pulpa de remolacha. El símbolo — indica que no se registró viscosidad porque la muestra aún se encontraba en estado líquido.

En la Tabla 10 se observa que el pH disminuyó de manera marcada desde las primeras horas de fermentación. A las 15 horas, los tratamientos con remolacha ya presentaban valores inferiores al control, especialmente T3, que alcanzó pH 4,92. Al finalizar el proceso, T2 fue el tratamiento con menor pH, con 4,48, lo que indica que la concentración de 10 % favoreció una acidificación más eficiente de la matriz láctea. Esta tendencia concuerda con Janiszewska-Turak et al. (2022), quienes reportaron disminución del pH y aumento de la acidez durante la fermentación de jugo de remolacha inoculado con bacterias ácido lácticas.

El descenso del pH en los tratamientos con remolacha confirma que esta pulpa no impidió la actividad fermentativa del kéfir. Sin embargo, su efecto no fue igual en todos los parámetros, ya que la acidificación no se tradujo necesariamente en una mejor viscosidad o estabilidad física. Casciano et al. (2022) señalan que la fermentación de remolacha puede modificar de

forma importante el perfil de ácidos orgánicos, compuestos aromáticos y azúcares residuales, lo que explica que el producto final pueda presentar cambios fisicoquímicos favorables, pero no siempre una mejor estructura o aceptación sensorial.

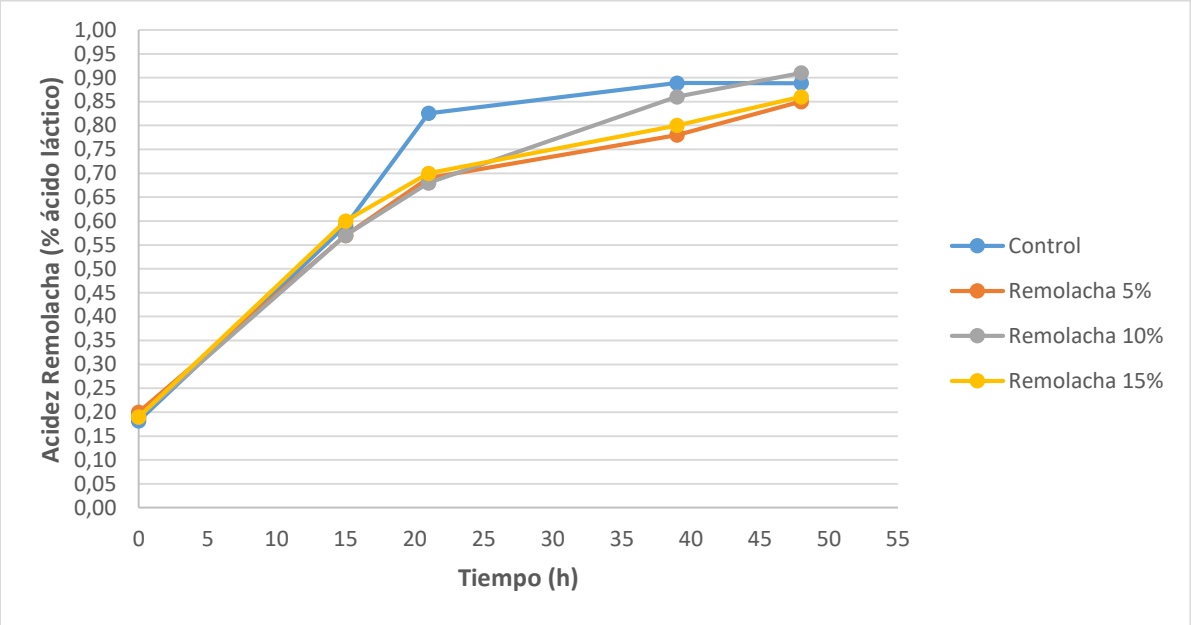
La disminución del pH tampoco fue estrictamente proporcional a la concentración de remolacha incorporada. Aunque T3 presentó el pH más bajo a las 15 y 21 horas, al final del proceso T2 alcanzó el menor valor. Esto sugiere que la acidificación no dependió únicamente de la cantidad de pulpa, sino también de la disponibilidad de azúcares fermentables, del efecto amortiguador de los componentes vegetales y de la adaptación de los microorganismos a la matriz. La remolacha contiene betalaínas, minerales y fibra soluble, componentes que pueden influir en la forma en que los ácidos se liberan y se expresan en el medio fermentado (Santos & Teixeira, 2022).

Acidez titulable

La acidez titulable permite complementar el análisis del pH, ya que refleja la cantidad total de ácidos orgánicos acumulados durante la fermentación. En la Figura 6 se presenta la evolución de este parámetro en el tratamiento control y en las formulaciones de kéfir con 5 %, 10 % y 15 % de pulpa de remolacha. Esta información permite valorar si la disminución del pH estuvo acompañada por una mayor producción de ácido láctico en la matriz fermentada.

Figura 6

Cinética de producción de acidez titulable en kéfir de leche con pulpa de remolacha durante la fermentación



Nota. La figura muestra la evolución de la acidez titulable, expresada como porcentaje de ácido láctico, en el tratamiento control y en los tratamientos con pulpa de remolacha al 5 %, 10 % y 15 % durante 48 horas de fermentación.

La Figura 6 muestra que la acidez titulable aumentó durante el proceso, aunque no siempre de forma paralela al pH. A las 21 horas, los tratamientos con remolacha presentaron menor acidez que el control, posiblemente por el efecto amortiguador de algunos componentes vegetales de la pulpa. No obstante, a las 48 horas T2 alcanzó 0,91 % de ácido láctico, superando al control y a los demás tratamientos con remolacha. Este resultado confirma que la remolacha al 10 % favoreció una fermentación más intensa al final del proceso.

Este comportamiento coincide parcialmente con Janiszewska-Turak et al. (2022), quienes observaron que la fermentación de remolacha con bacterias ácido lácticas produce una reducción del pH y un aumento progresivo de la acidez. A la vez, los resultados se relacionan con Cuba Sosa y Velásquez Ccosi (2025), quienes reportaron que las bebidas kefiradas con sustratos vegetales presentan una tendencia general de disminución de pH y °Brix, acompañada de incremento de acidez titulable. Esto permite sostener que la remolacha aporta sustratos útiles

para la fermentación, aunque su comportamiento puede variar por la composición de pigmentos, fibra y compuestos fenólicos.

La relación entre pH y acidez titulable no fue completamente directa, debido a que ambos parámetros expresan aspectos diferentes de la fermentación. El pH representa la acidez activa del medio, mientras que la acidez titulable indica la cantidad total de ácidos presentes. Por esta razón, un tratamiento puede presentar un pH bajo sin mostrar necesariamente la mayor acidez titulable en un momento específico. En el caso de la remolacha, esta diferencia pudo estar influenciada por la presencia de fibra soluble, minerales y pigmentos como las betalaínas, que pueden ejercer un efecto amortiguador y modificar la expresión de la acidez en la bebida fermentada.

Viscosidad

La viscosidad permite evaluar la consistencia del kéfir y la formación de una estructura estable durante la fermentación. En los tratamientos con remolacha, este parámetro resulta importante porque la pulpa aporta fibra, pigmentos y compuestos solubles que pueden interactuar con las proteínas de la leche y con los metabolitos producidos por los microorganismos del kéfir. Por ello, su análisis permite comprender si la incorporación de esta pulpa favoreció o debilitó la estructura final de la bebida.

Respecto a la viscosidad, la Tabla 10 evidencia que la remolacha mostró un efecto menos favorable sobre la consistencia del kéfir. Aunque T1 presentó valores altos a las 15 y 21 horas, todos los tratamientos con remolacha disminuyeron considerablemente al final de la fermentación. A las 48 horas, el control presentó la mayor viscosidad, mientras que T3 registró el valor más bajo. Este resultado sugiere que la remolacha pudo interferir en la formación de una red proteica estable, afectando la consistencia final de la matriz fermentada.

Esta reducción de viscosidad puede estar relacionada con la interacción entre los compuestos solubles de la remolacha, la acidez generada y la estructura proteica de la leche. Aunque la remolacha aporta betalaínas, fibra, minerales y compuestos antioxidantes, su incorporación no necesariamente mejora la estructura física del kéfir. Janiszewska-Turak et al. (2022) señalan que la estabilidad de los compuestos de la remolacha depende del tipo de fermentación y de las condiciones del proceso, mientras que Azizi et al. (2021) indican que el kéfir puede presentar respuestas fisicoquímicas diferentes según el sustrato empleado.

El comportamiento de la viscosidad tampoco fue lineal respecto a la concentración de pulpa. T1 presentó mayor viscosidad en las primeras etapas, mientras que T2 y T3 mostraron valores más bajos, especialmente al final del proceso. Esto puede explicarse porque una baja concentración de remolacha pudo integrarse de mejor manera en la matriz láctea, mientras que mayores concentraciones pudieron alterar el equilibrio entre proteína, agua retenida y sólidos vegetales. La acidez generada durante la fermentación también pudo afectar la red de caseínas, favoreciendo una estructura más débil y menos viscosa. Por ello, el aumento de remolacha no necesariamente mejoró la consistencia del kéfir, sino que en algunos casos pudo favorecer la pérdida de estabilidad (Ranadheera et al., 2022).

Sinéresis y capacidad de retención de agua

La sinéresis y la capacidad de retención de agua son parámetros tecnofuncionales que permiten evaluar la estabilidad física del kéfir durante el almacenamiento. En la Tabla 11 se presentan los resultados obtenidos para el tratamiento control y las formulaciones con pulpa de remolacha al 5 %, 10 % y 15 %. La sinéresis indica la separación de suero de la matriz fermentada, mientras que la capacidad de retención de agua permite conocer la habilidad del producto para mantener el líquido dentro de su estructura.

Tabla 11

Sinéresis y capacidad de retención de agua del kéfir de leche con pulpa de remolacha durante el almacenamiento

Tiempo de almacenamiento	Parámetro	Control	T1: Remolacha 5 %	T2: Remolacha 10 %	T3: Remolacha 15 %
Día 1	Sinéresis (%)	$47,91 \pm 0,23^{c}$	$53,63 \pm 0,93^{b}$	$62,57 \pm 0,43^{a}$	$51,93 \pm 1,78^{b}$
Día 1	CRA (%)	$52,09 \pm 0,23^{a}$	$46,37 \pm 0,93^{b}$	$37,43 \pm 0,43^{c}$	$47,07 \pm 1,78^{b}$
Día 3	Sinéresis (%)	$48,75 \pm 0,37^{d}$	$51,24 \pm 1,16^{c}$	$59,47 \pm 1,12^{a}$	$54,62 \pm 0,81^{b}$
Día 3	CRA (%)	$51,25 \pm 0,37^{a}$	$48,76 \pm 1,16^{b}$	$40,53 \pm 1,12^{d}$	$45,38 \pm 0,81^{c}$

Día 7	Sinéresis (%)	48,39 ± 2,48^{d}	51,85 ± 1,13^{c}	60,11 ± 2,64^{a}	56,03 ± 1,40^{b}
Día 7	CRA (%)	51,61 ± 2,48^{a}	48,15 ± 1,13^{b}	39,89 ± 2,64^{d}	43,97 ± 1,40^{c}

Nota. Los valores se expresan como media ± desviación estándar. Letras diferentes en una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. CRA: capacidad de retención de agua. T1: kéfir con 5 % de pulpa de remolacha; T2: kéfir con 10 % de pulpa de remolacha; T3: kéfir con 15 % de pulpa de remolacha.

Como se observa en la Tabla 11, la incorporación de remolacha afectó la estabilidad física del kéfir. Desde el día 1, T2 presentó el valor más alto de sinéresis, con 62,57 %, y la menor capacidad de retención de agua, con 37,43 %. Este comportamiento indica que la concentración de 10 % de remolacha produjo una matriz más débil, con mayor expulsión de suero y menor capacidad para retener agua durante el almacenamiento.

En el día 3, T2 continuó siendo el tratamiento más inestable, con 59,47 % de sinéresis y 40,53 % de CRA. Aunque se observó una ligera reducción de la sinéresis respecto al día 1, el tratamiento siguió mostrando menor estabilidad en comparación con el control y las demás formulaciones. Este resultado es coherente con los valores de viscosidad presentados en la Tabla 10, donde las formulaciones con remolacha mostraron una disminución importante al final del proceso fermentativo.

Al día 7, la misma tendencia se mantuvo: T2 presentó la mayor sinéresis, con 60,11 %, y la menor CRA, con 39,89 %. Estos resultados demuestran que la remolacha no favoreció la retención de agua en el kéfir durante el almacenamiento. Aunque esta pulpa aporta color y compuestos bioactivos, como betalaínas y antioxidantes, su incorporación afectó negativamente la estabilidad física de la matriz láctea. Casciano et al. (2022) señalan que la remolacha puede mejorar ciertos aspectos aromáticos y funcionales durante la fermentación, pero sus efectos sobre la textura y aceptación dependen del consorcio microbiano y de la formulación utilizada.

El comportamiento de la sinéresis y de la CRA confirma que la remolacha presentó una respuesta tecnofuncional no lineal. Aunque podría esperarse que una mayor concentración de pulpa aumente la retención de agua por su contenido de fibra soluble, los resultados muestran que el tratamiento al 10 % fue el menos estable. Esto puede deberse a una interacción desfavorable entre los sólidos vegetales, la acidez y la red proteica del kéfir, lo que provocó una estructura con menor capacidad para retener suero. En cambio, el tratamiento al 5 % mostró valores menos desfavorables, posiblemente porque la menor cantidad de pulpa permitió una integración más homogénea dentro de la matriz fermentada.

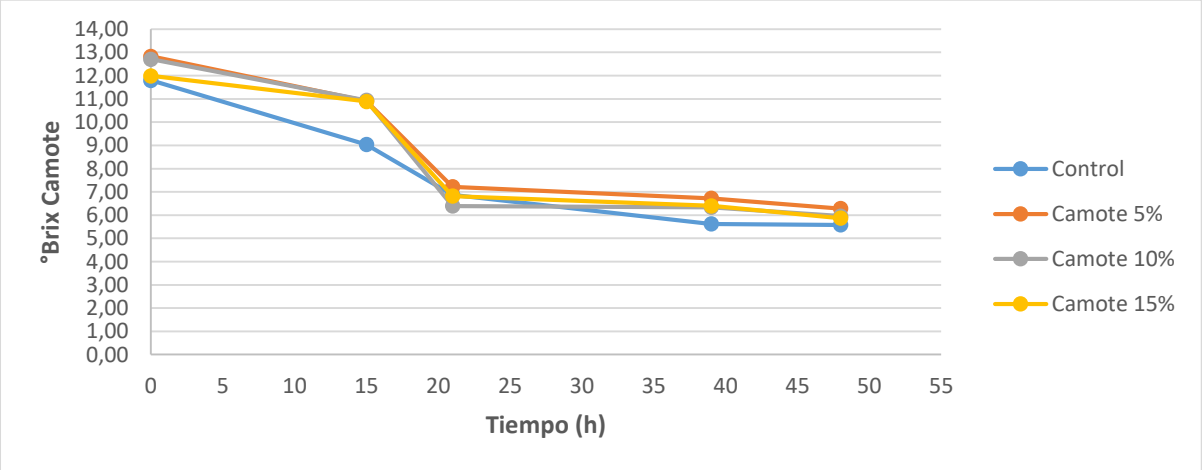
3.1.3 Cinética de fermentación del kéfir con pulpa de camote

°Brix

La variación de los sólidos solubles permite analizar el consumo de azúcares y otros compuestos solubles presentes en el kéfir de leche con pulpa de camote. En la Figura 7 se presenta la cinética de consumo de °Brix en el tratamiento control y en las formulaciones con 5 %, 10 % y 15 % de pulpa de camote durante 48 horas de fermentación. Este parámetro es relevante porque el camote aporta carbohidratos simples, almidón y fibra, componentes que pueden modificar la disponibilidad de sustratos fermentables y el comportamiento metabólico de los microorganismos del kéfir.

Figura 7

Cinética de consumo de sólidos solubles (°Brix) en kéfir de leche con pulpa de camote durante la fermentación



Nota. La figura muestra la variación de los sólidos solubles, expresados en °Brix, en el tratamiento control y en los tratamientos con pulpa de camote al 5 %, 10 % y 15 % durante 48 horas de fermentación.

Como se observa en la Figura 7, los tratamientos con camote presentaron valores iniciales de °Brix superiores al control, principalmente T1 y T2. Esto demuestra que el camote aportó sólidos solubles y carbohidratos a la matriz láctea. Esta respuesta es coherente con la composición del tubérculo, ya que contiene azúcares como maltosa, sacarosa, glucosa y fructosa, además de almidón y fibra dietética, componentes que pueden influir en el comportamiento fermentativo del producto (Rosell et al., 2024; Suhendy et al., 2023).

Durante la fermentación, los °Brix disminuyeron en todos los tratamientos; sin embargo, las formulaciones con camote mantuvieron valores superiores al control hasta las 48 horas. Al final del proceso, T1 registró 6,27 °Brix, mientras que el control presentó 5,58 °Brix. Esto sugiere que parte de los carbohidratos del camote no fue consumida completamente por los microorganismos del kéfir, posiblemente por la presencia de almidón y compuestos de degradación más lenta. Salelign y Duraisamy (2021) también describen al camote como una materia prima con potencial fermentable, aunque señalan que el consumo de sustrato depende del tipo de microorganismo y de las condiciones del proceso.

El comportamiento de los °Brix no fue completamente lineal con el aumento de la concentración de pulpa. Aunque podría esperarse que una mayor proporción de camote incremente de manera directa los sólidos solubles, los resultados muestran que T1 y T2 iniciaron con valores más altos que T3. Esto puede deberse a que el camote no aporta únicamente azúcares simples de rápida fermentación, sino también almidón, fibra y carbohidratos de disponibilidad más lenta. Además, la cocción, el grado de gelatinización del almidón y la homogeneización de la pulpa pueden influir en la liberación de sólidos solubles dentro de la matriz láctea. Por ello, una mayor concentración de camote no necesariamente generó un mayor valor de °Brix ni un consumo fermentativo más intenso (Kamal et al., 2023).

pH

En la Tabla 12 se presentan los parámetros de control durante la fermentación del kéfir de leche con pulpa de camote. Los valores de °Brix, pH, acidez titulable y viscosidad permiten analizar de manera conjunta el comportamiento fermentativo de la matriz láctea enriquecida con este

tubérculo. El pH permite observar la acidificación del producto, mientras que los sólidos solubles, la acidez titulable y la viscosidad ayudan a comprender el consumo de sustratos, la producción de ácidos y los cambios estructurales generados durante el proceso.

Tabla 12

Parámetros de control durante la fermentación del kéfir de leche con pulpa de camote

Tiempo (h)	Parámetro	Control	T1: Camote 5 %	T2: Camote 10 %	T3: Camote 15 %
0	°Brix	11,80 ± 0,46^{b}	12,83 ± 0,19^{a}	12,71 ± 0,12^{a}	11,98 ± 0,24^{b}
0	pH	6,60 ± 0,03^{a}	6,49 ± 0,14^{a}	6,62 ± 0,04^{a}	6,51 ± 0,09^{a}
0	Acidez (%)	0,18 ± 0,01^{b}	0,19 ± 0,01^{ab}	0,19 ± 0,01^{ab}	0,20 ± 0,01^{a}
0	Viscosidad (mPa·s)	—	—	—	—
15	°Brix	9,03 ± 0,50^{b}	10,91 ± 0,14^{a}	10,94 ± 0,15^{a}	10,89 ± 0,14^{a}
15	pH	5,77 ± 0,01^{a}	5,11 ± 0,08^{b}	5,18 ± 0,03^{b}	5,19 ± 0,05^{b}
15	Acidez (%)	0,60 ± 0,04^{a}	0,65 ± 0,03^{a}	0,59 ± 0,01^{a}	0,60 ± 0,01^{a}
15	Viscosidad (mPa·s)	120,00 ± 5,00^{d}	236,11 ± 2,31^{b}	224,67 ± 1,41^{c}	285,67 ± 6,76^{a}
21	°Brix	6,87 ± 0,15^{ab}	7,22 ± 0,52^{a}	6,39 ± 0,15^{b}	6,82 ± 0,21^{ab}
21	pH	4,80 ± 0,01^{a}	4,70 ± 0,01^{b}	4,61 ± 0,01^{c}	4,75 ± 0,02^{ab}

21	Acidez (%)	0,83 ± 0,02[a]	0,76 ± 0,05[b]	0,71 ± 0,01[b]	0,71 ± 0,01[b]
21	Viscosidad (mPa·s)	173,67 ± 0,58[b]	180,78 ± 5,38[a]	127,44 ± 2,13[d]	160,89 ± 4,48[c]
39	°Brix	5,62 ± 0,02[c]	6,72 ± 0,14[a]	6,22 ± 0,16[b]	6,40 ± 0,12[b]
39	pH	4,65 ± 0,03[a]	4,56 ± 0,02[b]	4,54 ± 0,02[b]	4,66 ± 0,03[a]
39	Acidez (%)	0,89 ± 0,03[a]	0,80 ± 0,03[b]	0,79 ± 0,02[b]	0,77 ± 0,03[b]
39	Viscosidad (mPa·s)	244,67 ± 0,58[a]	170,11 ± 2,03[b]	85,77 ± 1,09[d]	103,67 ± 3,12[c]
48	°Brix	5,58 ± 0,01[c]	6,27 ± 0,13[a]	5,95 ± 0,13[b]	5,87 ± 0,13[b]
48	pH	4,69 ± 0,01[a]	4,52 ± 0,01[c]	4,49 ± 0,01[c]	4,58 ± 0,03[b]
48	Acidez (%)	0,89 ± 0,03[a]	0,82 ± 0,02[b]	0,85 ± 0,02[ab]	0,83 ± 0,03[b]
48	Viscosidad (mPa·s)	236,33 ± 1,53[a]	157,22 ± 1,64[b]	79,89 ± 1,64[d]	94,56 ± 2,24[c]

Nota. Los valores se expresan como media ± desviación estándar. Letras diferentes en una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. T1: kéfir con 5 % de pulpa de camote; T2: kéfir con 10 % de pulpa de camote; T3: kéfir con 15 % de pulpa de camote. El símbolo — indica que no se registró viscosidad porque la muestra aún se encontraba en estado líquido.

Según la Tabla 12, el pH disminuyó en todos los tratamientos con camote durante la fermentación. A las 15 horas, las formulaciones enriquecidas ya presentaban valores menores que el control, y T2 alcanzó uno de los valores más bajos del proceso, con pH de 4,61 a las 21 horas y 4,49 a las 48 horas. Este resultado indica que el camote al 10 % favoreció la

acidificación de la matriz láctea, probablemente por el aporte de carbohidratos disponibles para la actividad metabólica de las bacterias ácido lácticas y levaduras.

La disminución de pH observada en los tratamientos con camote coincide con el comportamiento general de bebidas fermentadas elaboradas con sustratos vegetales. Cuba Sosa y Velásquez Ccosi (2025) reportaron una reducción significativa del pH en una bebida kefirada no láctea con ingredientes vegetales andinos, mientras que Azizi et al. (2021) señalan que el kéfir puede adaptarse a diferentes sustratos y producir bebidas con características fisicoquímicas diferenciadas. Esto permite considerar que el camote puede participar como sustrato fermentable, aunque su efecto sobre otros parámetros no fue completamente favorable.

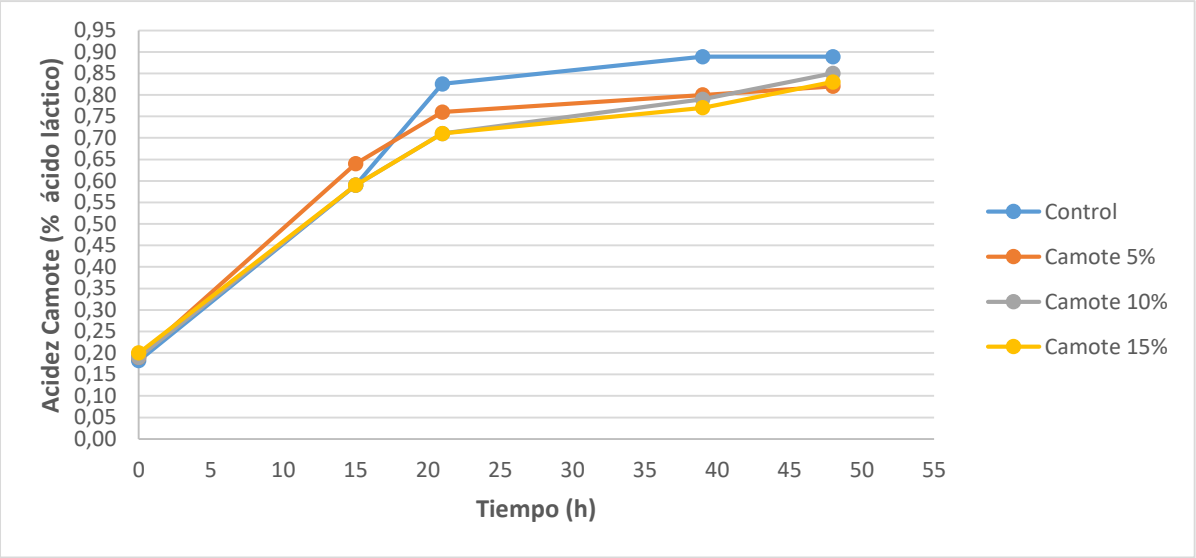
La reducción del pH tampoco presentó una tendencia estrictamente proporcional a la concentración de pulpa. Aunque T3 tuvo la mayor cantidad de camote, no alcanzó el menor pH final; en cambio, T2 presentó el valor más bajo a las 48 horas. Esta respuesta puede explicarse por la disponibilidad real de los carbohidratos fermentables y por el efecto de componentes como almidón, fibra y minerales, que pueden modificar la capacidad amortiguadora de la matriz. Además, una mayor cantidad de pulpa puede alterar la interacción entre microorganismos, proteínas lácteas y sustratos disponibles, por lo que la acidificación no depende solo de la concentración incorporada (Wang et al., 2023; Zhang et al., 2021).

Acidez titulable

La acidez titulable permite complementar el análisis del pH, ya que expresa la cantidad total de ácidos orgánicos acumulados durante la fermentación. En la Figura 8 se presenta la evolución de este parámetro en el tratamiento control y en las formulaciones con 5 %, 10 % y 15 % de pulpa de camote. Este análisis permite valorar si la disminución del pH estuvo acompañada por una mayor producción de ácido láctico o si existió un comportamiento diferente por la composición propia del tubérculo.

Figura 8

Cinética de producción de acidez titulable en kéfir de leche con pulpa de camote durante la fermentación



Nota. La figura muestra la evolución de la acidez titulable, expresada como porcentaje de ácido láctico, en el tratamiento control y en los tratamientos con pulpa de camote al 5 %, 10 % y 15 % durante 48 horas de fermentación.

La Figura 8 muestra que la acidez titulable aumentó durante la fermentación; sin embargo, los tratamientos con camote presentaron valores finales menores que el control. Este resultado evidencia un comportamiento particular, ya que el camote permitió alcanzar valores bajos de pH sin elevar de manera marcada la acidez titulable. Desde el punto de vista sensorial, esto podría ser favorable, porque un producto con menor acidez titulable puede percibirse menos ácido al paladar.

Este comportamiento puede explicarse por la composición del camote, que contiene carbohidratos simples, almidón resistente y fibra, los cuales pueden modificar la relación entre pH, acidez y percepción sensorial. Yupanqui Zumaeta (2025) reportó que el camote, incorporado en una bebida fermentada tipo masato, aportó dulzor, color, textura y carbohidratos fermentables, favoreciendo ciertas características sensoriales. Sin embargo, en una matriz láctea como el kéfir, estos componentes interactúan con proteínas, ácidos y microorganismos, por lo que su efecto puede ser diferente al observado en bebidas amiláceas.

La diferencia entre pH y acidez titulable se debe a que ambos parámetros no miden exactamente lo mismo. El pH representa la acidez activa del medio, mientras que la acidez titulable expresa la cantidad total de ácidos presentes. Por esta razón, los tratamientos con camote pudieron presentar valores bajos de pH sin superar al control en acidez titulable. Además, la presencia de almidón, fibra y minerales pudo ejercer un efecto amortiguador, modificando la forma en que los ácidos se expresan dentro de la matriz fermentada. Esto explica que la acidificación del producto no se haya reflejado de manera proporcional en el porcentaje de ácido láctico.

Viscosidad

La viscosidad permite evaluar la consistencia del kéfir y los cambios estructurales que ocurren durante la fermentación. En los tratamientos con camote, este parámetro resulta importante porque el tubérculo aporta almidón, fibra y sólidos vegetales capaces de modificar la retención de agua y la textura del producto. Sin embargo, su efecto depende de la integración de estos componentes con la red proteica de la leche y con los metabolitos generados por los microorganismos del kéfir.

En cuanto a la viscosidad presentada en la Tabla 12, los tratamientos con camote aumentaron su consistencia en las primeras horas de fermentación, especialmente T3, que alcanzó 285,67 mPa·s a las 15 horas. No obstante, conforme avanzó el proceso, la viscosidad disminuyó y los tratamientos con camote quedaron por debajo del control a las 48 horas. T2 presentó el valor más bajo, con 79,89 mPa·s, lo que indica que, aunque el camote aporta sólidos y almidón, estos no lograron fortalecer de manera estable la red proteica del kéfir.

Esta disminución final de viscosidad sugiere que la incorporación de camote modificó la estructura del gel lácteo y redujo su estabilidad. Aunque el almidón puede absorber agua y aumentar la consistencia en ciertos alimentos, su comportamiento en una bebida fermentada depende del tratamiento térmico, el grado de gelatinización, la concentración y la interacción con las proteínas de la leche. Rodas Luna y Torres Mañay (2025) señalan que el camote puede generar perfiles organolépticos interesantes en productos fermentados, pero su aplicación debe ajustarse a la matriz alimentaria para evitar efectos no deseados en textura y estabilidad.

El comportamiento de la viscosidad tampoco fue lineal. Al inicio de la fermentación, T3 presentó la mayor viscosidad, posiblemente por el mayor aporte de sólidos, fibra y almidón; sin embargo, al final del proceso, el control mostró la mayor consistencia y T2 registró el valor

más bajo. Esto indica que el aumento inicial de viscosidad no se mantuvo durante toda la fermentación. La acidez generada, la posible ruptura de la estructura del almidón y la interacción limitada entre los componentes del camote y la red de caseínas pudieron debilitar la matriz. Por ello, una mayor concentración de pulpa no garantizó una mayor viscosidad final (Kaur & Sharma 2021).

Sinéresis y capacidad de retención de agua

La sinéresis y la capacidad de retención de agua permiten evaluar la estabilidad física del kéfir durante el almacenamiento. En la Tabla 13 se presentan los resultados obtenidos para el tratamiento control y las formulaciones con pulpa de camote al 5 %, 10 % y 15 %. La sinéresis indica la separación de suero de la matriz fermentada, mientras que la capacidad de retención de agua permite determinar qué tan estable se mantiene la estructura del producto después de la fermentación.

Tabla 13

Sinéresis y capacidad de retención de agua del kéfir de leche con pulpa de camote durante el almacenamiento

Tiempo de almacenamiento	Parámetro	Control	T1: Camote 5 %	T2: Camote 10 %	T3: Camote 15 %
Día 1	Sinéresis (%)	$47,91 \pm 0,23^{c}$	$55,34 \pm 0,99^{a}$	$52,44 \pm 1,24^{b}$	$52,72 \pm 0,25^{b}$
Día 1	CRA (%)	$52,09 \pm 0,23^{a}$	$44,66 \pm 0,99^{c}$	$47,56 \pm 1,24^{b}$	$47,28 \pm 0,25^{b}$
Día 3	Sinéresis (%)	$48,75 \pm 0,37^{c}$	$53,29 \pm 2,37^{a}$	$51,34 \pm 1,04^{b}$	$50,92 \pm 0,39^{b}$
Día 3	CRA (%)	$51,25 \pm 0,37^{a}$	$46,71 \pm 2,37^{c}$	$48,66 \pm 1,04^{b}$	$49,08 \pm 0,39^{b}$
Día 7	Sinéresis (%)	$48,39 \pm 2,48^{b}$	$53,03 \pm 0,51^{a}$	$52,93 \pm 0,48^{a}$	$51,78 \pm 0,50^{a}$
Día 7	CRA (%)	$51,61 \pm 2,48^{a}$	$46,97 \pm 0,51^{b}$	$47,07 \pm 0,48^{b}$	$48,22 \pm 0,50^{b}$

Nota. Los valores se expresan como media ± desviación estándar. Letras diferentes en una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. CRA: capacidad de retención de agua. T1: kéfir con 5 % de pulpa de camote; T2: kéfir con 10 % de pulpa de camote; T3: kéfir con 15 % de pulpa de camote.

Como se observa en la Tabla 13, la sinéresis de los tratamientos con camote fue mayor que la del control durante todo el almacenamiento. En el día 1, T1 presentó la mayor pérdida de suero, con 55,34 %, mientras que T2 y T3 mostraron valores intermedios. Este resultado indica que incluso una concentración baja de camote puede interferir en la red proteica del kéfir y favorecer la separación de suero.

En el día 3, T3 se acercó más al control, con 50,92 % de sinéresis y 49,08 % de CRA. Este comportamiento sugiere que una mayor concentración de camote pudo mejorar parcialmente la retención de agua, posiblemente por la capacidad del almidón y la fibra para absorber líquido. Sin embargo, esta mejora no fue suficiente para superar al control, lo que demuestra que la estructura de la matriz láctea siguió siendo más estable sin la incorporación de camote.

Al día 7, los tres tratamientos con camote presentaron mayor sinéresis y menor capacidad de retención de agua que el control. Esto evidencia que el camote no logró estabilizar la estructura del kéfir durante el almacenamiento. Aunque aporta sólidos, carbohidratos y fibra, su incorporación afectó la retención de agua y la estabilidad física del gel lácteo. Este resultado confirma que el camote puede tener potencial fermentable, como mencionan Salelign y Duraisamy (2021), pero su aplicación en kéfir de leche requiere ajustes tecnológicos para mejorar su integración con la matriz.

El comportamiento de la sinéresis y de la CRA confirma que la respuesta tecnofuncional del camote tampoco fue lineal. Aunque el almidón y la fibra pueden favorecer la absorción de agua, su presencia no garantizó una matriz más estable. En T1 se observó mayor sinéresis desde el primer día, mientras que T3 mostró una ligera mejora en el día 3, pero no logró superar al control. Esto puede explicarse porque la capacidad del camote para retener agua depende de su grado de gelatinización, de la distribución de la pulpa en la matriz y de su interacción con las proteínas lácteas. Cuando esa interacción no es suficiente, el agua retenida inicialmente puede liberarse durante el almacenamiento, aumentando la sinéresis (Zhu & Kaur, 2022).

3.2 Análisis sensorial

Para la evaluación sensorial, se aplicó la prueba de Friedman y comparaciones por pares mediante la prueba de Wilcoxon. Los resultados permitieron identificar diferencias entre tratamientos y definir cuál formulación presentó mayor aceptación por parte de los catadores. Se evaluaron los atributos de aroma, color, sabor, textura y aceptación global, debido a que estos parámetros permiten valorar la respuesta del consumidor frente a la incorporación de pulpas vegetales en el kéfir de leche.

3.2.1 Análisis sensorial del kéfir con pulpa de zapallo

En la Tabla 14 se presentan las comparaciones múltiples de los atributos sensoriales del kéfir de leche con pulpa de zapallo mediante la prueba de Wilcoxon. Esta tabla permite analizar si existieron diferencias significativas entre el tratamiento control y las formulaciones con 5 %, 10 % y 15 % de pulpa de zapallo. Los atributos evaluados fueron aroma, color, sabor, textura y aceptación global, los cuales permiten determinar la respuesta sensorial de los catadores frente a la incorporación de esta pulpa vegetal.

Tabla 14

Comparaciones múltiples de los atributos sensoriales del kéfir de leche con pulpa de zapallo mediante la prueba de Wilcoxon.

Atributo	p-Friedman	Estadístico	T1-C	T2-C	T3-C	T2-T1	T3-T1	T3-T2
Aroma	0,028	Mediana 1	3	3	4	3	4	4
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3
		R-	7	6	7	5	3	5
		R+	6	9	13	9	15	15
		E=	17	15	10	16	12	10
		Sig-asin	0,475	0,592	0,205	0,237	0,042	0,371
Color	0,398	Mediana 1	4	4	4	4	4	4
		Mediana 2	4	4	4	4	4	4
		R-	13	10	10	8	8	5
		R+	8	6	9	8	12	12
		E=	9	14	11	14	10	13
		Sig-asin	0,467	0,286	0,984	0,804	0,670	0,240
Sabor	0,002	Mediana 1	3	3	4	3	4	4
		Mediana 2	2	2	2	3	3	3

		R-	5	5	4	8	7	8
		R+	15	17	19	11	19	11
		E=	10	8	7	11	4	11
		Sig-asin	0,016	0,027	0,001	0,371	0,114	0,230
		Mediana 1	3	3	4	3	4	4
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3
Textura	0,066	**R-**	4	7	6	8	9	6
		R+	14	14	14	4	8	8
		E=	12	9	10	18	13	16
		Sig-asin	0,009	0,129	0,179	0,374	0,532	0,949
		Mediana 1	3	3	4	3	4	4
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3
Aceptación global	0,023	**R-**	6	4	3	9	7	7
		R+	13	13	14	12	15	11
		E=	11	13	13	9	8	12
		Sig-asin	0,056	0,023	0,004	0,452	0,015	0,556

Nota. Tratamientos: Control (Sin tratamiento); T1 5% de pulpa de Zapallo, T2 10% de pulpa de Zapallo y T3 15% de pulpa de Zapallo. Número de muestras: R- rango negativo, R+ rango positivo y E empate.

Como se observa en la Tabla 14, el análisis sensorial del kéfir con zapallo presentó diferencias significativas en aroma, sabor y aceptación global. En aroma, el valor de p-Friedman fue 0,028, lo que indica que los catadores percibieron diferencias entre las formulaciones. La comparación por pares mostró una diferencia significativa entre T3 y T1, favoreciendo al tratamiento con 15 % de zapallo. Esto sugiere que una mayor concentración de pulpa intensificó el perfil aromático de forma favorable, posiblemente por el aporte natural de compuestos volátiles y carotenoides presentes en el zapallo (Pinna et al., 2024).

En color no se encontraron diferencias significativas, ya que el valor de p fue 0,398. Las medianas se mantuvieron cercanas a 4, correspondiente a “me gusta”, lo que indica que la coloración aportada por el zapallo fue aceptada por los catadores y no generó rechazo visual. Este resultado es importante porque el zapallo contiene pigmentos carotenoides que pueden mejorar el atractivo del producto sin afectar negativamente su aceptación (Koh et al., 2024).

El sabor presentó diferencias significativas, con p = 0,002. Las comparaciones frente al control mostraron que los tratamientos con zapallo fueron percibidos de manera diferente,

principalmente T3, que alcanzó una mediana de 4, equivalente a “me gusta”. Esta respuesta puede relacionarse con el dulzor natural y el perfil suave de la pulpa, lo que permitió equilibrar la acidez propia del kéfir. Koh et al. (2024) también reportaron aceptabilidad sensorial en una bebida kefirada con puré de zapallo, respaldando el potencial de esta materia prima en formulaciones fermentadas.

En textura, la prueba de Friedman no mostró diferencias significativas globales, aunque T3 obtuvo una mediana superior frente a otros tratamientos. Esto permite señalar que, aunque la diferencia no fue estadísticamente fuerte, los catadores percibieron de forma positiva la textura del tratamiento con mayor concentración de zapallo. Este resultado puede estar relacionado con la presencia de fibra dietética y polisacáridos vegetales, además de los exopolisacáridos producidos por los microorganismos del kéfir, los cuales influyen en la consistencia de la bebida fermentada (Justel et al., 2025).

La aceptación global presentó diferencias significativas, con $p = 0,023$. T2 y T3 se diferenciaron del control, y T3 fue el tratamiento con mejor valoración general. Por tanto, desde el punto de vista sensorial, el kéfir con 15 % de pulpa de zapallo fue la formulación más aceptada. Esta respuesta coincide con Guerrero Jaramillo y Oblitas Coronel (2024), quienes señalan que las bebidas kefiradas con diferentes sustratos pueden presentar mayor potencial funcional y aceptación cuando la fermentación favorece la disponibilidad de compuestos bioactivos.

3.2.2 Análisis sensorial del kéfir con pulpa de remolacha

En la Tabla 15 se presentan las comparaciones múltiples de los atributos sensoriales del kéfir de leche con pulpa de remolacha mediante la prueba de Wilcoxon. Esta evaluación permite identificar si la incorporación de remolacha en concentraciones de 5 %, 10 % y 15 % generó diferencias en aroma, color, sabor, textura y aceptación global. Debido a que la remolacha aporta pigmentos naturales, compuestos fenólicos y notas sensoriales características, su análisis resulta importante para determinar si mejora o limita la aceptabilidad del kéfir.

Tabla 15

Comparaciones múltiples de los atributos sensoriales del kéfir de leche con pulpa de remolacha mediante la prueba de Wilcoxon.

Atributo	p-Friedman	Estadístico	T1-C	T2-C	T3-C	T2-T1	T3-T1	T3-T2
Aroma	0,264	**Mediana 1**	4	4	4	4	4	4
		Mediana 2	3	3	3	4	4	4
		R-	7	6	9	3	10	12
		R+	11	14	11	7	7	7
		E=	12	10	10	20	13	11
		Sig-asin	0,337	0,064	0,532	0,130	0,723	0,162
Color	0,130	**Mediana 1**	4	4	4	4	4	4
		Mediana 2	4	4	4	4	4	4
		R-	16	8	8	4	7	9
		R+	8	11	12	13	14	12
		E=	6	11	10	13	9	9
		Sig-asin	0,058	0,932	0,796	0,025	0,058	0,669
Sabor	0,399	**Mediana 1**	3	3	3	3	3	3
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3
		R-	9	8	9	12	11	7
		R+	16	13	12	8	12	14
		E=	5	9	9	10	7	9
		Sig-asin	0,173	0,313	0,130	0,375	0,870	0,524
Textura	0,130	**Mediana 1**	3	3	3	3	3	3
		Mediana 2	4	4	4	3	3	3
		R-	14	14	16	9	10	10
		R+	6	6	7	7	11	11
		E=	10	10	7	14	9	9
		Sig-asin	0,102	0,043	0,041	0,914	0,760	0,834
Aceptación global	0,594	**Mediana 1**	3	3	4	3	4	4
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3
		R-	8	7	8	10	6	9
		R+	9	9	11	10	13	13
		E=	13	14	11	10	11	8
		Sig-asin	0,685	0,526	0,185	0,691	0,278	0,509

Nota: Tratamientos: Control (Sin tratamiento); T1 5% de pulpa de remolacha, T2 10% de pulpa de remolacha y T3 15% de pulpa de remolacha. Número de muestras: R- rango negativo, R+ rango positivo y E empate.

Como se muestra en la Tabla 15, el kéfir con remolacha no presentó diferencias significativas en aroma, sabor ni aceptación global. En aroma, el valor de p fue 0,264, lo que indica que los catadores no percibieron diferencias importantes entre el control y los tratamientos. Las medianas se mantuvieron en valores aceptables, por lo que la remolacha no afectó negativamente este atributo, aunque tampoco generó una mejora clara en comparación con el control.

El color tampoco presentó diferencias significativas globales, aunque se observó una diferencia puntual entre T2 y T1. Esto sugiere que la concentración de 10 % pudo resultar visualmente más diferenciada, posiblemente por la presencia de betalaínas, pigmentos hidrosolubles responsables del color rojo intenso de la remolacha. Estos compuestos tienen valor funcional por su actividad antioxidante, pero su aporte visual no siempre se traduce en mayor aceptación sensorial (Morales et al., 2024).

En sabor, el valor de p fue 0,399, por lo que no existieron diferencias significativas. Las medianas se ubicaron alrededor de 3, correspondiente a “ni me gusta ni me disgusta”, lo que refleja una aceptación neutra. Esto indica que la remolacha no provocó rechazo marcado, pero tampoco mejoró claramente la percepción del sabor frente al control. Casciano et al. (2022) señalan que la fermentación de remolacha puede reducir ciertas notas vegetales o terrosas, aunque estos cambios no siempre garantizan una mayor preferencia sensorial.

La textura mostró diferencias puntuales entre el control y algunos tratamientos, especialmente T2 y T3. Este resultado es coherente con los análisis tecnofuncionales, donde la remolacha presentó menor viscosidad, mayor sinéresis y menor capacidad de retención de agua. Por ello, aunque la prueba global no mostró diferencias significativas fuertes, la percepción de textura refleja cierta afectación de la matriz láctea. Janiszewska-Turak et al. (2022) indican que la fermentación de remolacha modifica sus propiedades fisicoquímicas, pero la estabilidad del producto depende del proceso y del tipo de matriz utilizada.

La aceptación global no presentó diferencias significativas, con p = 0,594. Esto indica que los tratamientos con remolacha fueron percibidos de manera similar al control. Sin embargo, al no

mostrar una mejora clara en aceptación y presentar debilidades tecnofuncionales, la remolacha no se considera la opción más favorable para la formulación final. Aun así, su uso puede ser interesante desde el punto de vista funcional, por su aporte de betalaínas, minerales y antioxidantes, siempre que se ajusten la concentración y el procesamiento (Casciano et al., 2022).

3.2.3 Análisis sensorial del kéfir con pulpa de camote

En la Tabla 16 se presentan las comparaciones múltiples de los atributos sensoriales del kéfir de leche con pulpa de camote mediante la prueba de Wilcoxon. Esta tabla permite analizar la respuesta de los catadores frente a las formulaciones con 5 %, 10 % y 15 % de pulpa de camote, comparadas con el tratamiento control. Los atributos evaluados fueron aroma, color, sabor, textura y aceptación global, considerando que el camote puede aportar dulzor, color, almidón y fibra, componentes capaces de modificar la percepción sensorial del producto fermentado.

Tabla 16

Comparaciones múltiples de los atributos sensoriales del kéfir de leche con pulpa de camote mediante la prueba de Wilcoxon.

Atributo	p-Friedman	Estadístico	T1-C	T2-C	T3-C	T2-T1	T3-T1	T3-T2
Aroma	0,695	**Mediana 1**	3	3	3	3	3	3
		Mediana 2	4	4	4	3	3	3
		R-	10	13	9	10	7	6
		R+	10	10	6	6	4	8
		E=	10	7	15	14	19	16
		Sig-asin	0,813	0,325	0,311	0,388	0,285	0,868
Color	0,014	**Mediana 1**	4	3	3	3	3	3
		Mediana 2	4	4	4	4	4	3
		R-	13	15	14	8	13	9
		R+	5	5	4	7	5	4
		E=	12	10	12	15	12	17
		Sig-asin	0,088	0,048	0,010	0,283	0,068	0,134
Sabor	0,019	**Mediana 1**	3	3	2	3	2	2
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3
		R-	14	14	18	9	13	10
		R+	5	7	4	9	8	6
		E=	11	9	8	12	9	14
		Sig-asin	0,015	0,054	0,002	0,837	0,330	0,242
Textura	<0,001	**Mediana 1**	3	3	3	3	3	3
		Mediana 2	4	4	4	3	3	3
		R-	18	22	23	8	12	9
		R+	2	4	1	9	3	5

		E=	10	4	6	13	15	16
		Sig-asin	0,001	0,002	<0,001	0,477	0,026	0,101
		Mediana 1	3	3	3	3	3	3
		Mediana 2	4	4	4	3	3	3
Aceptación global	<0,001	**R-**	14	15	18	6	14	12
		R+	1	4	1	8	7	6
		E=	15	11	11	16	9	12
		Sig-asin	0,001	0,047	<0,001	0,412	0,181	0,062

Nota: Tratamientos: Control (Sin tratamiento); T1 5% de pulpa de camote, T2 10% de pulpa de camote y T3 15% de pulpa de camote. Número de muestras: R- rango negativo, R+ rango positivo y E empate.

Como se presenta en la Tabla 16, el kéfir con camote no mostró diferencias significativas en aroma, con p = 0,695. Esto indica que los catadores no percibieron cambios importantes en este atributo entre el control y los tratamientos. Sin embargo, en color, sabor, textura y aceptación global sí se observaron diferencias significativas, lo que demuestra que el camote modificó de manera más evidente la percepción sensorial del producto.

El color presentó un valor de p = 0,014, lo que indica que la incorporación de camote modificó visualmente el kéfir. Las comparaciones mostraron diferencias entre el control y los tratamientos T2 y T3; sin embargo, las medianas de los tratamientos con camote se mantuvieron cercanas a 3, por lo que el cambio de color no representó una mejora clara en la aceptación. Aunque el camote, especialmente en variedades pigmentadas, puede aportar color y compuestos bioactivos, su efecto sensorial depende de la matriz en la que se incorpore (Amagloh et al., 2021).

El sabor presentó diferencias significativas, con p = 0,019. El tratamiento T3 fue el más afectado, con una mediana de 2, correspondiente a “no me gusta”. Esto evidencia que la mayor concentración de camote generó rechazo sensorial dentro de la matriz de kéfir. Aunque el tubérculo aportó sólidos y favoreció la acidificación, su sabor no fue bien aceptado en concentraciones elevadas. Este resultado contrasta con Yupanqui Zumaeta (2025), quien reportó buena aceptación en una bebida fermentada tipo masato con sustitución parcial de camote, lo que sugiere que la matriz alimentaria influye de manera importante en la respuesta sensorial.

La textura presentó diferencias altamente significativas, con p < 0,001. El control fue mejor valorado que los tratamientos con camote, resultado que coincide con los datos de viscosidad,

sinéresis y capacidad de retención de agua, donde las formulaciones con camote mostraron menor estabilidad física frente al control. Aunque el camote contiene almidón y fibra, estos componentes no lograron integrarse de forma favorable en la red proteica del kéfir, afectando la percepción de textura durante la evaluación sensorial (Rosell et al., 2024; Suhendy et al., 2023).

La aceptación global también presentó diferencias altamente significativas, con $p < 0,001$. El control obtuvo mejores valoraciones que los tratamientos con camote, especialmente frente a T3. Por tanto, la incorporación de camote no mejoró la aceptabilidad sensorial del kéfir; al contrario, en las concentraciones evaluadas redujo la preferencia de los catadores. Rodas Luna y Torres Mañay (2025) señalan que el camote puede generar valor agregado en productos fermentados, pero sus características deben adaptarse al tipo de preparación para lograr una respuesta sensorial favorable.

La comparación general de los resultados sensoriales permitió identificar que el tratamiento con 15 % de zapallo presentó la mayor aceptabilidad global. Esta formulación fue mejor valorada en aroma, sabor y aceptación general, con medianas cercanas a “me gusta”. Aunque el tratamiento con 5 % de zapallo mostró mejor estabilidad física durante el almacenamiento, el objetivo sensorial permitió seleccionar a T3 como la formulación preferida por los catadores. Esta decisión se respalda en Koh et al. (2024), quienes también demostraron que el zapallo puede aportar características funcionales y sensoriales favorables en bebidas kefiradas.

3.3 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos

3.3.1 Parámetros de composición nutricional

En esta sección se presentan los parámetros de composición nutricional del tratamiento seleccionado, correspondiente al kéfir de leche con 15 % de pulpa de zapallo. En la Tabla 17 se reportan los valores de proteína total, grasa y fibra dietética total, los cuales permiten valorar el aporte nutricional de la formulación final. Estos resultados son importantes porque permiten comprobar si la incorporación de zapallo no solo mejora la aceptación sensorial del producto, sino también su perfil funcional mediante el aporte de fibra y compuestos de origen vegetal.

Tabla 17

Composición nutricional del kéfir de leche con 15% de pulpa de zapallo.

Requisito	Unidad	Resultado
Proteína total	% (N × 6,25)	3,06
Grasa	%	2,59
Fibra dietética total	%	3,05

Nota. Los resultados corresponden al tratamiento seleccionado de kéfir de leche con 15 % de pulpa de zapallo. La proteína total se expresa como porcentaje calculado mediante el factor N × 6,25.

Como se observa en la Tabla 17, el kéfir de leche con 15 % de pulpa de zapallo presentó 3,06 % de proteína total, 2,59 % de grasa y 3,05 % de fibra dietética total. Estos resultados evidencian que la formulación conserva el aporte proteico característico de una matriz láctea fermentada y, al mismo tiempo, incorpora fibra proveniente de la pulpa vegetal. Este dato es relevante porque el kéfir tradicional de leche no suele aportar cantidades importantes de fibra, por lo que la adición de zapallo mejora el perfil funcional del producto (Sánchez Rivadeneira et al., 2024).

La presencia de 3,05 % de fibra dietética total permite considerar que la pulpa de zapallo no solo cumple una función sensorial, sino también nutricional. Su incorporación aporta compuestos vegetales que pueden favorecer el desarrollo de una bebida con características simbióticas, al combinar microorganismos propios del kéfir con una matriz rica en fibra. Koh et al. (2024) también reportaron proteína y fibra dietética en una bebida kefirada con zapallo, lo que respalda el uso de esta materia prima como ingrediente funcional.

Estos resultados indican que el tratamiento seleccionado conserva características propias de una bebida láctea fermentada y añade un componente vegetal de valor nutricional. En este sentido, el zapallo no actúa únicamente como ingrediente de sabor o color, sino como una matriz capaz de aportar fibra, carotenoides y otros compuestos bioactivos. Guerrero Jaramillo y Oblitas Coronel (2024) señalan que las bebidas kefiradas pueden presentar mayor potencial

funcional cuando se fermentan con sustratos que favorecen la disponibilidad de compuestos antioxidantes y bioactivos.

3.3.2 Viabilidad de microorganismos probióticos

La viabilidad de los microorganismos probióticos es un criterio fundamental para valorar el potencial funcional del kéfir de leche con 15 % de pulpa de zapallo. En la Tabla 18 se presentan los recuentos de bacterias ácido lácticas probióticas y levaduras probióticas durante el almacenamiento, específicamente en el día 1 y en el día 7. Estos resultados permiten determinar si el tratamiento seleccionado mantiene una carga microbiana adecuada y si cumple con los criterios establecidos por la normativa aplicada.

Tabla 18

Viabilidad de microorganismos probióticos del kéfir de leche con 15 % de pulpa de zapallo

Tipo de análisis	Resultado día 1 (UFC/g)	Resultado día 7 (UFC/g)	Mínimo requerido (UFC/g)	Normativa aplicada
Bacterias ácido lácticas probióticas	$2{,}50 \times 10^{9}$	$1{,}50 \times 10^{9}$	$1{,}00 \times 10^{6}$	NTE INEN 2395:2011
Levaduras probióticas	$3{,}00 \times 10^{2}$	<10	$1{,}00 \times 10^{4}$	NTE INEN 2395:2011

Nota. Los resultados se expresan en unidades formadoras de colonias por gramo. El símbolo <10 indica que el recuento fue inferior al límite de detección reportado. El símbolo — indica que en la tabla de resultados no se especificó un valor mínimo de referencia para bacterias ácido lácticas.

Como se presenta en la Tabla 18, el recuento de bacterias ácido lácticas probióticas fue de $2{,}50 \times 10^{9}$ UFC/g en el día 1 y de $1{,}50 \times 10^{9}$ UFC/g en el día 7. Aunque se observa una disminución durante el almacenamiento, los valores se mantuvieron elevados, lo que indica una buena supervivencia de las bacterias ácido lácticas en la matriz del kéfir con pulpa de zapallo. Este resultado confirma que la incorporación de la pulpa vegetal no afectó negativamente la viabilidad de este grupo microbiano.

La alta viabilidad bacteriana se relaciona con lo reportado por Cuba Sosa y Velásquez Ccosi (2025), quienes observaron recuentos superiores a 8 $\log_{10}$ UFC/mL de bacterias ácido lácticas en bebidas kefiradas con sustratos vegetales. También coincide con Azizi et al. (2021), quienes señalan que el kéfir contiene microorganismos probióticos cuya supervivencia depende del tipo de sustrato, la temperatura, el tiempo de fermentación y las condiciones de almacenamiento.

En el caso de las levaduras probióticas, el resultado fue diferente. El recuento inicial fue de $3{,}00 \times 10^2$ UFC/g en el día 1, mientras que en el día 7 disminuyó a <10 UFC/g. Al comparar estos valores con el mínimo requerido de $1{,}00 \times 10^4$ UFC/g, se evidencia que el producto no cumple con el criterio establecido para levaduras probióticas. Esta reducción puede estar relacionada con el descenso del pH, la competencia microbiana con las bacterias ácido lácticas o la sensibilidad de las levaduras frente a las condiciones de almacenamiento (Azizi et al., 2021).

Por tanto, el tratamiento seleccionado mantiene una adecuada viabilidad de bacterias ácido lácticas, pero no alcanza el mínimo requerido para levaduras probióticas. Este hallazgo permite diferenciar el potencial probiótico bacteriano del producto y la limitación observada en la fracción de levaduras. Koh et al. (2024) reportaron recuentos estables de bacterias ácido lácticas y levaduras en una bebida kefirada con zapallo durante almacenamiento refrigerado, por lo que en el presente estudio sería necesario ajustar condiciones de fermentación, refrigeración o proporción de gránulos para mejorar la supervivencia de levaduras.

3.3.3 Calidad y seguridad microbiológica

La evaluación de la calidad y seguridad microbiológica permite verificar si el kéfir de leche con 15 % de pulpa de zapallo cumple con los criterios sanitarios establecidos para este tipo de producto. En la Tabla 19 se presentan los resultados de coliformes totales, *Escherichia coli*, mohos y levaduras, comparados con los límites máximos permitidos por la normativa aplicada. Estos análisis son necesarios para determinar si la formulación final fue elaborada bajo condiciones higiénicas adecuadas y si puede considerarse segura desde el punto de vista microbiológico.

Tabla 19

Análisis microbiológicos de calidad y seguridad del kéfir de leche con 15% de pulpa de zapallo

Tipo de análisis	Resultado obtenido (UFC/g)	Máximo permitido (UFC/g)	Normativa aplicada
Coliformes totales	<10	$1{,}00 \times 10^2$	NTE INEN 2395:2011
Recuento de *E. coli*	Ausencia	Ausencia	NTE INEN 2395:2011
Recuento de mohos y levaduras	$3{,}00 \times 10^2$	$5{,}00 \times 10^2$	NTE INEN 2395:2011

Nota. Los resultados se expresan en unidades formadoras de colonias por gramo. Para E. coli, el resultado se reporta como ausencia, de acuerdo con el criterio microbiológico establecido.

Como se observa en la Tabla 19, el kéfir con 15 % de pulpa de zapallo cumplió con los límites establecidos para coliformes totales, *Escherichia coli*, mohos y levaduras. El recuento de coliformes totales fue <10 UFC/g, valor inferior al máximo permitido de $1{,}00 \times 10^2$ UFC/g. Este resultado indica una adecuada calidad higiénica del producto y sugiere que las condiciones de elaboración, manipulación y almacenamiento fueron apropiadas.

En relación con *Escherichia coli*, se reportó ausencia, cumpliendo con el criterio establecido por la normativa aplicada. Este resultado es fundamental, ya que la presencia de este microorganismo indicaría contaminación fecal o deficiencias sanitarias durante el proceso de elaboración. La ausencia de *Escherichia coli* respalda la inocuidad microbiológica del producto final y permite considerar que el tratamiento seleccionado fue elaborado bajo condiciones sanitarias adecuadas.

El recuento de mohos y levaduras fue de $3{,}00 \times 10^2$ UFC/g, valor inferior al máximo permitido de $5{,}00 \times 10^2$ UFC/g. Por tanto, desde el punto de vista de calidad microbiológica, el producto cumple con este criterio. Sin embargo, es importante diferenciar este resultado del recuento de levaduras probióticas, ya que el valor se encuentra dentro del límite permitido para inocuidad,

pero no alcanza el mínimo requerido para asegurar una adecuada viabilidad de levaduras con función probiótica.

Con base en estos resultados, el kéfir de leche con 15 % de pulpa de zapallo cumple con los criterios de seguridad microbiológica evaluados y conserva una alta carga de bacterias ácido lácticas probióticas. No obstante, presenta una limitación en la viabilidad de levaduras, por lo que puede considerarse funcional por su contenido de fibra dietética y su elevada población de bacterias ácido lácticas, pero requiere ajustes tecnológicos si se busca garantizar también una adecuada supervivencia de levaduras probióticas durante el almacenamiento. Sánchez Rivadeneira et al. (2024) señalan que el kéfir es una bebida de interés para la industria láctea por su valor nutricional y microbiológico, aunque su calidad final depende directamente de las condiciones de elaboración y conservación.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se determinó que la incorporación de pulpas vegetales modificó la cinética de fermentación y las propiedades tecnofuncionales del kéfir de leche, con respuestas diferentes según el tipo de materia prima y su concentración. En los tratamientos con zapallo, remolacha y camote se observó una disminución progresiva de los sólidos solubles y del pH, junto con un aumento de la acidez titulable, lo que confirma la actividad fermentativa de los microorganismos del kéfir. Sin embargo, el comportamiento tecnofuncional no fue igual en todas las formulaciones. El zapallo presentó mejores resultados de estabilidad, especialmente en la concentración del 5 %, debido a que mostró menor sinéresis y mayor capacidad de retención de agua durante el almacenamiento. En cambio, la remolacha y el camote generaron mayor separación de suero y menor estabilidad física frente al control, lo que evidencia que su incorporación requiere ajustes en concentración o procesamiento.

La evaluación sensorial permitió identificar que el tratamiento con mayor aceptabilidad fue el kéfir de leche con 15 % de pulpa de zapallo. Esta formulación presentó mejores valoraciones en aroma, sabor y aceptación global, con una respuesta más favorable por parte de los catadores en comparación con los tratamientos elaborados con remolacha y camote. Aunque el zapallo al 5 % mostró mejor comportamiento tecnofuncional, el tratamiento con 15 % fue seleccionado por su mejor perfil sensorial, ya que logró una mayor preferencia en atributos clave para el consumo del producto. La remolacha tuvo una aceptación global neutra, sin rechazo marcado, pero tampoco mejoró significativamente la percepción sensorial. Por su parte, el camote presentó menor aceptación, especialmente en sabor, textura y aceptación global, principalmente en la concentración más alta.

En relación con la viabilidad probiótica y el contenido nutricional del tratamiento seleccionado, el kéfir de leche con 15 % de pulpa de zapallo presentó 3,06 % de proteína total, 2,59 % de grasa y 3,05 % de fibra dietética total. Este resultado evidencia que la incorporación de zapallo permitió obtener una bebida fermentada con valor funcional, al combinar una matriz láctea con fibra vegetal. Además, el recuento de bacterias ácido lácticas se mantuvo elevado durante el almacenamiento, con valores de $2{,}50 \times 10^9$ UFC/g en el día 1 y $1{,}50 \times 10^9$ UFC/g en el día 7, lo que demuestra una adecuada supervivencia bacteriana. No obstante, las levaduras

probióticas disminuyeron por debajo del mínimo requerido, por lo que este aspecto representa una limitación tecnológica del producto.

El producto seleccionado cumplió con los criterios microbiológicos de calidad y seguridad evaluados, ya que presentó coliformes totales por debajo del límite permitido, ausencia de *E. coli* y un recuento de mohos y levaduras dentro del rango aceptado por la normativa aplicada. Por ello, el kéfir de leche con 15 % de pulpa de zapallo puede considerarse una formulación viable desde el punto de vista sensorial, nutricional y microbiológico. Sin embargo, para fortalecer su perfil probiótico completo, sería necesario optimizar las condiciones de fermentación y almacenamiento, principalmente con el fin de mejorar la supervivencia de levaduras durante la vida útil del producto.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda optimizar las concentraciones de pulpas vegetales incorporadas al kéfir de leche, especialmente en aquellas formulaciones que presentaron mayor sinéresis y menor capacidad de retención de agua. Aunque todas las pulpas permitieron el desarrollo del proceso fermentativo, los resultados mostraron que la estabilidad física depende directamente del tipo de vegetal y del porcentaje añadido. Por ello, sería conveniente realizar nuevos ensayos con concentraciones intermedias, principalmente entre 5 % y 15 %, para identificar un equilibrio más preciso entre acidificación, viscosidad, textura y estabilidad durante el almacenamiento.

Se recomienda considerar al zapallo como la materia prima vegetal más favorable para futuras formulaciones de kéfir de leche, debido a que el tratamiento con 15 % presentó la mayor aceptabilidad sensorial en aroma, sabor y aceptación global. Sin embargo, como el tratamiento con 5 % mostró mejor comportamiento tecnofuncional, sería adecuado desarrollar nuevas formulaciones que combinen la ventaja sensorial del 15 % con la estabilidad física observada en concentraciones menores. De esta manera, se podría obtener un producto más equilibrado, agradable para el consumidor y con mejores características de conservación.

Se recomienda mejorar las condiciones tecnológicas del proceso para favorecer la viabilidad de las levaduras probióticas durante el almacenamiento. Aunque las bacterias ácido lácticas se mantuvieron en valores elevados, las levaduras disminuyeron por debajo del mínimo requerido, lo que limita el perfil probiótico completo del producto. Para ello, se podrían ajustar variables como el tiempo de fermentación, la temperatura de refrigeración, la proporción de gránulos de

kéfir, el tipo de envase o la disponibilidad de sustratos fermentables, con el fin de conservar una microbiota más estable durante la vida útil del kéfir.

Se recomienda realizar estudios complementarios de vida útil y estabilidad microbiológica del kéfir de leche con 15 % de pulpa de zapallo, considerando diferentes tiempos de almacenamiento. Aunque el producto cumplió con los criterios de calidad e inocuidad evaluados, es necesario confirmar si estos resultados se mantienen por más días bajo refrigeración. Esto permitiría definir con mayor seguridad el tiempo de consumo recomendado, las condiciones de conservación y los posibles ajustes necesarios para garantizar un producto seguro, funcional y aceptable para el consumidor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbas, H. M. K., Huang, H. X., Wang, A. J., Wu, T. Q., Xue, S. D., Ahmad, A., Xie, D. S., Li, J. X., & Zhong, Y. J. (2020). Metabolic and transcriptomic analysis of two Cucurbita moschata germplasms throughout fruit development. BMC Genomics, 21(1). https://doi.org/10.1186/s12864-020-6774-y

Alves, E., Ntungwe, E. N., Gregório, J., Rodrigues, L. M., Pereira-Leite, C., Caleja, C., Pereira, E., Barros, L., Aguilar-Vilas, M. V., Rosado, C., & Rijo, P. (2021). Characterization of kefir produced in household conditions: Physicochemical and nutritional profile, and storage stability. Foods, 10(5). https://doi.org/10.3390/foods10051057

Amagloh, F. C., Yada, B., Tumuhimbise, G. A., Amagloh, F. K., & Kaaya, A. N. (2021). The potential of sweetpotato as a functional food in Sub-Saharan Africa and its implications for health: A review. Molecules, 26(10). https://doi.org/10.3390/molecules26102971

Amorim, F. G., Coitinho, L. B., Dias, A. T., Friques, A. G. F., Monteiro, B. L., Rezende, L. C. D. de, Pereira, T. de M. C., Campagnaro, B. P., De Pauw, E., Vasquez, E. C., & Quinton, L. (2019). Identification of new bioactive peptides from kefir milk through proteopeptidomics: Bioprospection of antihypertensive molecules. Food Chemistry, 282. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.010

Arias, G. B., Flores, L. P., Jaramillo, E. G., & Orbe, A. A. (2024). El uso de la remolacha como colorante vegetal. Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo, 5(9), 135–155. https://doi.org/10.56519/m97mna95

Armijos, G., Villacrés, E., Quelal, M. B., Cobeña, G., & Álvarez, J. (2020). Evaluación físico-química y funcional de siete variedades de camote provenientes de Manabí-Ecuador. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 21(2), 244–255. https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5735/1/Publicacion%20camote%20Revista.pdf

Azizi, N. F., Kumar, M. R., Yeap, S. K., Abdullah, J. O., Khalid, M., Omar, A. R., Osman, M. A., Mortadza, S. A. S., & Alitheen, N. B. (2021). Kefir and its biological activities. Foods, 10(6), 1210. https://doi.org/10.3390/foods10061210

Bamidele, O., Fasogbon, M., Adebowale, O., & Adeyanju, A. (2017). Effect of blanching time on total phenolic, antioxidant activities and mineral content of selected green leafy vegetables. Current Journal of Applied Science and Technology, 24(4), 1–8. https://doi.org/10.9734/cjast/2017/34808

Batool, M., Modassar, M., Nawaz, A., Roobab, U., Manzoor, M. F., Farooq, U., Nadeem, H. R., Nadeem, M., Kanwal, R., Abdelgawad, H., Jaouni, S. K. Al, Selim, S., & Ibrahim, S. A. (2022). Nutritional value, phytochemical potential, and therapeutic benefits of pumpkin (Cucurbita sp.). Plants, 11, 1–23.

Bielska, P., Cais-Sokolińska, D., Teichert, J., Biegalski, J., Kaczyński, Ł. K., & Chudy, S. (2021). Effect of honeydew honey addition on the water activity and water holding capacity of kefir in the context of its sensory acceptability. Scientific Reports, 11(1). https://doi.org/10.1038/s41598-021-02424-7

Borecka, M., & Karaś, M. (2025). A comprehensive review of the nutritional and health-promoting properties of edible parts of selected Cucurbitaceae plants. Foods, 14(7). https://doi.org/10.3390/foods14071200

Cardenete-Fernández, M., Castillo-Rivas, A., Durán-Barrantes, M. M., Trujillo-Cayado, L. A., & Santos, J. (2025). Designing spoonable milk kefir gels: From fermentation optimization to clean-label gel structuring with psyllium. *Gels*, *11*(9), 693. https://doi.org/10.3390/gels11090693

Carreón, H. J. P., Franco, V. D. C., Gómez, L. D. R., & Pérez, F. L. J. (2022). Betalain plant sources, biosynthesis, extraction, stability enhancement methods, bioactivity, and applications. Food Research International, 151. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110821

Casciano, F., Mayr, H., Nissen, L., Putti, A., Zoli, F., Gianotti, A., & Conterno, L. (2022). Red beetroot fermentation with different microbial consortia to develop foods with improved aromatic features. Foods, 11(19). https://doi.org/10.3390/foods11193055

Ceclu, L., & Nistor, O. V. (2020). Red beetroot: Composition and health effects. Journal of Nutritional Medicine and Diet Care, 5(2). https://doi.org/10.23937/2572-3278.1510043

Cheng, H., Liu, Q., & Zhao, Y. (2023). Microbial fermentation processes of lactic acid: Challenges, solutions, and future prospects. Foods, 12(12), 2311. https://doi.org/10.3390/foods12122311

Cuba Sosa, L. A., & Velásquez Ccosi, P. F. (2025). Desarrollo de una bebida fermentada de kéfir no lácteo a base de sustratos vegetales. Ingeniería Investiga, 7, e1214. https://doi.org/10.47796/ing.v7i00.1214

Dahiya, D., & Nigam, P. S. (2022). The gut microbiota influenced by the intake of probiotics and functional foods with prebiotics can sustain wellness and alleviate certain ailments like gut-inflammation and colon-cancer. Microorganisms, 10(3). https://doi.org/10.3390/microorganisms10030665

Farag, M. A., Jomaa, S. A., Wahed, A. A. E., & Seedi, H. R. E. (2020). The many faces of kefir fermented dairy products: Quality characteristics, flavour chemistry, nutritional value, health benefits, and safety. Nutrients, 12(2), 1–23.

Gavril, R. N., Stoica, F., Lipșa, F. D., Constantin, O. E., Stănciuc, N., Aprodu, I., & Râpeanu, G. (2024). Pumpkin and pumpkin by-products: A comprehensive overview of phytochemicals, extraction, health benefits, and food applications. Foods, 13(17). https://doi.org/10.3390/foods13172694

González, O. B. D., García, C. I., Jiménez, F. R., & Alvárez, V. B. (2022). Invited review: Milk kefir microbiota—Direct and indirect antimicrobial effects. Journal of Dairy Science, 105(5). https://doi.org/10.3168/jds.2021-21382

Guerrero Jaramillo, E. J., & Oblitas Coronel, K. A. (2024). Producción de sustancias antioxidantes en bebidas fermentadas y su comparación con la producción de bebidas kefiradas. Una revisión [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Universidad Nacional de Jaén.

Hata, N. N. Y., Surek, M., Sartori, D., Serrato, R. V., & Spinosa, W. A. (2023). Role of acetic acid bacteria in food and beverages. Food Technology and Biotechnology, 61(1). https://doi.org/10.17113/ftb.61.01.23.7811

Hayati, M., Sabaruddin, Efendi, & Anhar, A. (2019). Chemical and sensory analysis of several sweet potatoes (Ipomoea batatas L.) clones. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 364(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/364/1/012011

Hussain, A., Kausar, T., Sehar, S., Sarwar, A., Ashraf, A. H., Jamil, M. A., Noreen, S., Rafique, A., Iftikhar, K., Quddoos, M. Y., Aslam, J., & Majeed, M. A. (2022). A comprehensive review of functional ingredients, especially bioactive compounds present in pumpkin peel, flesh and seeds, and their health benefits. Food Chemistry Advances, 1. https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100067

Janiszewska-Turak, E., Walczak, M., Rybak, K., Pobiega, K., Gniewosz, M., Woźniak, Ł., & Witrowa-Rajchert, D. (2022). Influence of fermentation beetroot juice process on the physico-chemical properties of spray dried powder. Molecules, 27(3), 1008. https://doi.org/10.3390/molecules27031008

Justel, M. A., Outeiriño, E. B., & Guerra, N. P. (2025). Production of kefir and kefir-like beverages: Fundamental aspects, advances, and future challenges. Processes, 14(1). https://doi.org/10.3390/pr14010073

Kamal, M. M., Ali, M. R., Shishir, M. R. I., & Mondal, S. C. (2023). Effect of thermal processing on starch gelatinization, rheology, and sugar release in sweet potato pulp incorporated dairy matrices. Journal of Food Engineering, 342, Artículo 111352. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111352

Katchieva, P. K., Katchieva, K. K., Kipkeeva, F. I., Kharaeva, Z. F., & Smeianov, V. V. (2025). Kefir revisited: Insights from the North Caucasus. World Journal of Experimental Medicine, 15(4). https://doi.org/10.5493/wjem.v15.i4.112191

Kaur, M., Sandhu, K. S., & Sharma, P. (2021). Rheological and structural properties of fermented milk drinks supplemented with sweet potato flour: Influence of fiber and starch content. International Journal of Dairy Technology, 74(3), 512-523. https://doi.org/10.1111/1471-0307.12781

Koh, W. Y., Lim, X. X., Khor, B. H., Rasti, B., Tan, T. C., Kobun, R., & Uthumporn, U. (2024). Production and optimisation of fermented pumpkin-based mature coconut water kefir beverage using response surface methodology. Beverages, 10(2), 34. https://doi.org/10.3390/beverages10020034

Kumari, S., Sertkaya, G., Krishnan, N., Pandey, K. K., Singh, J., Çağlayan, K., Rao, G. P., & Bertaccini, A. (2023). Update on phytoplasma diseases associated with vegetable crops in Asian countries. En Phytoplasma diseases of major crops, trees, and weeds. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91897-8.00010-1

Kurniawan, Milanda, T., & Kusuma, S. A. F. (2026). Kefir as a functional probiotic: Microbial composition and health effects. Frontiers in Food Science and Technology, 5. https://doi.org/10.3389/frfst.2025.1725280

Laguna, L. C., Díaz, S. J. D., Reátegui, P. S., & Bazán, C. R. J. (2022). Influencia de la temperatura y concentración de sólidos solubles en el comportamiento reológico de la pulpa de cocona. Revista de Investigaciones Altoandinas, 24(4). https://doi.org/10.18271/ria.2022.480

Mirmiran, P., Houshialsadat, Z., Gaeini, Z., Bahadoran, Z., & Azizi, F. (2020). Functional properties of beetroot (Beta vulgaris) in management of cardio-metabolic diseases. Nutrition and Metabolism, 17(1). https://doi.org/10.1186/s12986-019-0421-0

Morales, T. C. P., Andino, L. C. O., Moyolema, M. P. S., & Tamayo, M. A. C. (2024). Use of the vegetable beetroot (Beta vulgaris) and native products from the Ecuadorian coast in tasting sessions. Salud, Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias, 3, 1–6. https://doi.org/10.56294/sctconf2024.673

Moreno-Miranda, C., Moreno-Miranda, R., Pilamala-Rosales, A., Molina, J. I., & Cerda, L. (2019). El sector hortofrutícola de Ecuador: Principales características socio-productivas de la red agroalimentaria de la uvilla (*Physalis peruviana*). *Revista Ciencia y Agricultura, 16*(1), 31–51. https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n1.2019.8547

Paltrinieri, G., Figuerola, F., & Rojas, L. (1993). Procesamiento de frutas y hortalizas mediante métodos artesanales y de pequeña escala. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Paredes, J. L., Escudero-Gilete, M. L., & Vicario, I. M. (2022). A new functional kefir fermented beverage obtained from fruit and vegetable juice: Development and characterization. LWT, 154. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112728

Pinna, N., Ben Abbou, S., Ianni, F., Angeles Flores, G., Pietercelie, A., Perretti, G., Blasi, F., Angelini, P., & Cossignani, L. (2024). Phenolic compounds from pumpkin pulp: Extraction optimization and biological properties. Food Chemistry: X, 23. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101628

Polidori, P., Cammertoni, N., Santini, G., Klimanova, Y., Zhang, J. J., & Vincenzetti, S. (2021). Nutritional properties of camelids and equids fresh and fermented milk. Dairy, 2(2), 288–302. https://doi.org/10.3390/dairy2020024

Quintana Martínez, S. E., Torregroza Fuentes, E. E., & García-Zapateiro, L. A. (2022). Rheological and microstructural properties of acidified milk drink stabilized with butternut squash pulp hydrocolloids (BSPHs). ACS Omega, 7(23), 19235–19242. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c00513

Ranadheera, C. S., Evans, C. A., Adams, M. C., & Baines, S. K. (2022). Effect of fruit solids on the microstructural, rheological, and sensory properties of fermented dairy beverages. Journal of Dairy Science, 105(4), 2811-2825. https://doi.org/10.3168/jds.2021-20914

Rattin, J., Echarte, M., Barrera, L., Tognetti, J., & Di Benedetto, A. (2022). Las multifacéticas remolachas: Una reevaluación de sus posibilidades productivas a la luz de los conocimientos actuales. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 48(1), 24–40.

Robalino, C. P. J., Ortega, S. V., Bonilla, S. G. L., & Garcés, H. B. (2023). Analysis of the consumption of chicha and chaguarmishqui (traditional fermented beverages) in the city of Ambato, province of Tungurahua and their benefits for nutrition and health. Periodicidad: Trimestral, 8(53).

Rodas Luna, G. I., & Torres Mañay, J. S. (2025). Desarrollo de productos fermentados en base a tubérculos nativos del Austro: Mashua (Tropaeolum tuberosum), melloco (Ullucus tuberosus), camote (Ipomoea batatas) [Trabajo de titulación, Universidad de Cuenca].

Rosell, M. de los Á., Quizhpe, J., Ayuso, P., Peñalver, R., & Nieto, G. (2024). Proximate composition, health benefits, and food applications in bakery products of purple-fleshed sweet potato (Ipomoea batatas L.) and its by-products: A comprehensive review. Antioxidants, 13(8). https://doi.org/10.3390/antiox13080954

Salehi, B., Sharifi-Rad, J., Capanoglu, E., Adrar, N., Catalkaya, G., Shaheen, S., Jaffer, M., Giri, L., Suyal, R., Jugran, A. K., Calina, D., Docea, A. O., Kamiloglu, S., Kregiel, D., Antolak, H., Pawlikowska, E., Sen, S., Acharya, K., Bashiry, M., … Cho, W. C. (2019). Cucurbita plants: From farm to industry. Applied Sciences, 9(16). https://doi.org/10.3390/app9163387

Salelign, K., & Duraisamy, R. (2021). Sugar and ethanol production potential of sweet potato (Ipomoea batatas) as an alternative energy feedstock: Processing and physicochemical characterizations. Heliyon, 7(12), e08402. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08402

Sánchez, R. R., Terriente, P. C., García, O. J., Osorio, S., & Rodríguez, O. M. J. (2024). Combined metabolomic and NIRS analyses reveal biochemical and metabolite changes in goat milk kefir under different heat treatments and fermentation times. Biomolecules, 14(7). https://doi.org/10.3390/biom14070816

Santos, M. J., Silva, C., & Teixeira, J. A. (2022). The buffering capacity of plant-based matrices during lactic acid fermentation and its impact on microbial kinetics. Food Research International, 156, Artículo 111124. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111124

Setyawardani, E., Rahardjo, H., & Setyawardani, T. (2021). The effect of milk type on syneresis, water holding capacity, and yogurt viscosity. Journal of Animal Science and Technology, 3(3).

Sorensen, H. M., Rochfort, K. D., Maye, S., MacLeod, G., Brabazon, D., Loscher, C., & Freeland, B. (2022). Exopolysaccharides of lactic acid bacteria: Production, purification and health benefits towards functional food. Nutrients, 14(14). https://doi.org/10.3390/nu14142938

Ströher, J. A., Flôres, S. H., de Freitas, A. S., Salazar, M. M., da Silva, L. de F. F., Bresciani, L., Sant'Anna, V., & Malheiros, P. da S. (2025). Consumer perception, sensory acceptance, and microbial characterization of artisanal milk kefir during shelf life. Journal of Food Science, 90(12). https://doi.org/10.1111/1750-3841.70739

Suhendy, H., Fidrianny, I., & Insanu, M. (2023). Phytochemical compounds and pharmacological activities of Ipomoea batatas L.: An updated review. Pharmacia, 70(4), 1283–1294. https://doi.org/10.3897/PHARMACIA.70.E108922

Tavares, P. P. L., Gomes, R. G., & Prudêncio, S. H. (2023). Fermentation of vegetable-based beverages with kefir grains: Physicochemical changes during fermentation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *7*, 1570465. https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1570465

Tsegay, Z. T., Gebreegziabher, S. T. B., & Mulaw, G. (2024). Nutritional qualities and valorization trends of vegetable and fruit byproducts: A comprehensive review. Journal of Food Quality, 2024(1). https://doi.org/10.1155/2024/5518577

Vieira, C. P., Rosario, A. I. L. S., Lelis, C. A., Rekowsky, B. S. S., Carvalho, A. P. A., Rosário, D. K. A., Elias, T. A., Costa, M. P., Foguel, D., & Conte-Junior, C. A. (2021). Bioactive compounds from kefir and their potential benefits on health: A systematic review and meta-analysis. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2021. https://doi.org/10.1155/2021/9081738

Wang, H., Sadiq, F. A., & He, G. (2023). Interplay between milk proteins and starch-based vegetable matrices: Impact on lactic acid bacteria growth and organic acid production. Food Hydrocolloids, 137, Artículo 108390. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108390

Wang, Y., Wu, J., Lv, M., Shao, Z., Hungwe, M., Wang, J., Bai, X., Xie, J., Wang, Y., & Geng, W. (2021). Metabolism characteristics of lactic acid bacteria and the expanding applications in food industry. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 9. https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.612285

Xiao, H. W., Pan, Z., Deng, L. Z., El-Mashad, H. M., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Gao, Z. J., & Zhang, Q. (2017). Recent developments and trends in thermal blanching: A comprehensive review. Information Processing in Agriculture, 4(2). https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.02.001

Xu, Y., Wang, M., Abbas, H. M. K., Xue, S., Zhu, J., Meng, Q., Jin, Q., Fu, M., Qu, S., & Zhong, Y. (2024). Comparing the differences in quality profiles and antioxidant activity in seven pumpkin cultivars (Cucurbita moschata and Cucurbita maxima) at harvest and during postharvest storage. Food Chemistry: X, 22. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101383

Yerlikaya, O., Akpinar, A., & Saygili, D. (2025). Impact of yeast types on quality characteristics and storage stability of industrial kefir. Food Science and Nutrition, 13(5). https://doi.org/10.1002/fsn3.70238

Yiğitvar, İ., & Hayaloğlu, A. A. (2025). Incorporation of Aloe vera gel into kefir: Impact on volatile composition, rheological, techno-functional, and microbiological properties. Journal of Food Science, 90(5). https://doi.org/10.1111/1750-3841.70292

Yilmaz, B., Sharma, H., Melekoglu, E., & Ozogul, F. (2022). Recent developments in dairy kefir-derived lactic acid bacteria and their health benefits. Food Bioscience, 46. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101592

Yupanqui Zumaeta, R. del P. (2025). Elaboración de una bebida fermentada (masato) a partir de yuca (Manihot esculenta) con sustitución parcial de maíz amarillo duro (Zea mays) germinado y camote (Ipomoea batatas) utilizando la amilasa comercial para la fermentación [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali].

Zhang, L., Li, S., & Goonewardene, L. (2021). Microstructural and physicochemical changes in fermented dairy beverages supplemented with sweet potato (Ipomoea batatas L.) flour. Journal of Dairy Science, 104(3), 2541-2553. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19215

Zhang, L., Tuoliken, H., Li, J., & Gao, H. (2025). Diet, gut microbiota, and health: A review. Food Science and Biotechnology, 34(10). https://doi.org/10.1007/s10068-024-01759-x

Zhu, F., Hauptmann, J., & Kaur, B. (2022). Physicochemical properties and dairy gel applications of sweet potato starch: A review. Trends in Food Science & Technology, 121, 88-102. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.023

ANEXOS

Anexo 1. Aplicación de tratamiento térmico a las materias primas.



Anexo 2. Obtención de la pulpa.



Anexo 3. Elaboración de los tratamientos.



Anexo 4. Análisis de los parámetros fisicoquímicos.



Anexo 5. Análisis de °Brix



Anexo 6. Análisis de viscosidad aparente.



Anexo 7. Muestras centrifugadas.



Anexo 8. Aplicación de análisis sensorial.



Anexo 9. Producto con mayor aceptación global.



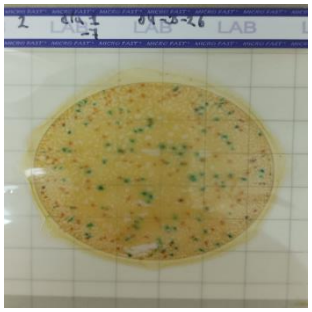
Anexo 10. Autoclavado de materiales para la siembra microbiológica.



Anexo 11. Siembra de microorganismos.



Anexo 12. Conteo de BAL



Anexo 13. Certificado de Laboratorio

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS

LACONAL

01891

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No:26-076-A			
Solicitud N°: 26-076			Pág.: 1 de 1
Fecha recepción:	27 de abril de 2026	Fecha de ejecución de ensayos: 27 de abril al 04 de mayo de 2026	
Información del cliente:			
Empresa:		C.I/RUC:	1850559517
Representante:	Evelin Alcaninga	Tlf:	0967172125
Dirección:	Ambato	Email:	[illegible]
Ciudad:	Ambato		
Descripción de las muestras:			
Producto:	Kefir	Peso:	200g
Marca comercial: n/a		Tipo de envase:	envase de vidrio
Lote: n/a		No de muestras:	una
F. Elb.:	n/a	F. Exp.: n/a	n/a
Conservación: Ambiente: Refrigeración: X Congelación:		Almac. en Lab:	8 días
Cierres seguridad: Ninguno: X Intactos: Rotos:		Muestreo por el cliente:	27 de abril de 2026

RESULTADOS OBTENIDOS

Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados/ Técnica	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Kefir	07626122	Ninguno	Proteína total, Kjeldhal	AOAC 991.2, Ed. 22, 2023	% (Nx 6,25)	3,06
			Grasa, Gravimetría	AOAC Ed. 22, 2023 .0001.06	%	2,59
			Fibra dietética total, Gravimetría-Enzimática	AOAC 985.29, Ed. 22, 2023	%	3,05

Cond. Ambientales: 20,4°C; 55,9%HR

Ing. Gladys Risuello
Directora de Calidad

Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si

Fecha de emisión del certificado: 07 de mayo de 2026

Nota: La muestra fue suministrada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra en las condiciones recibidas. El Laboratorio se responsabiliza exclusivamente de los resultados emitidos en base a la muestra entregada por el cliente.

El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento negociable. Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

"La información que se está enviando es confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser reveladora. Si usted no es el destinatario de esta información recomendamos eliminarla inmediatamente. La distribución o venta del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente".

UTA