

|

**Calidad y diversificación: impulso a la apicultura de Campoalegre a través de
bioproducto de miel fermentada**

Bibian Katherine Argüello Bernal

Director:

Lucas Fernando Quintana Fuentes

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Maestría en Biotecnología Alimentaria

2026

Agradecimientos

Expreso mi profunda gratitud al universo, a la vida y a todas las circunstancias que hicieron posible culminar esta importante etapa de crecimiento académico, profesional y personal. Cada experiencia, aprendizaje y desafío enfrentado durante este proceso contribuyó al fortalecimiento de mis capacidades y a la materialización de este logro.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) y a la Maestría en Biotecnología Alimentaria, por brindar los espacios académicos y científicos que permitieron el desarrollo de esta investigación.

A la Dr. Lucas Fernando Quintana Fuentes, directora de este trabajo, por su orientación, acompañamiento, disposición y valiosos aportes durante el desarrollo de la investigación, los cuales fueron fundamentales para alcanzar los objetivos propuestos.

A los docentes de la maestría, por compartir sus conocimientos, experiencias y enseñanzas, contribuyendo significativamente a mi formación profesional y científica.

A los apicultores del municipio de Campoalegre, Huila, por su colaboración y disposición para apoyar el desarrollo de esta investigación, aportando conocimientos y facilitando el acceso a la materia prima objeto de estudio.

De manera muy especial, agradezco a mi madre, por ser mi mayor ejemplo de fortaleza, perseverancia y amor incondicional. Su apoyo constante, sus palabras de aliento y su confianza en mis capacidades fueron fundamentales para superar los desafíos presentados durante este proceso académico. Gracias por acompañarme en cada etapa de este camino, por celebrar mis logros y brindarme la motivación necesaria para culminar satisfactoriamente esta meta. Este logro también es suyo.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron al desarrollo y culminación de este proyecto de investigación.

Resumen

La miel de abejas es un producto natural con alto potencial biotecnológico debido a sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y funcionales. En el departamento del Huila, la apicultura constituye una actividad de importancia económica y ambiental; sin embargo, la limitada diversificación de productos derivados de la miel restringe las oportunidades de generación de valor agregado y acceso a mercados especializados. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad y el potencial bioactivo de mieles producidas en el municipio de Campoalegre (Huila), así como su aprovechamiento como sustrato en procesos de fermentación utilizando cultivos de kéfir de agua para el desarrollo de una bebida funcional.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto con alcance experimental y aplicado. Inicialmente, se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las muestras de miel mediante análisis de pH, humedad, acidez titulable, sólidos solubles y evaluación microbiológica. Posteriormente, se efectuó la adaptación progresiva del kéfir de agua a diferentes concentraciones de miel y panela orgánica como fuentes de carbono, seguido del desarrollo del proceso fermentativo y la caracterización del bioproducto obtenido. Finalmente, se realizó una evaluación sensorial utilizando una escala hedónica de nueve puntos con 20 panelistas no entrenados.

Los resultados evidenciaron que las mieles analizadas cumplieron con los parámetros establecidos por la NTC 1273:2023 y el Codex Alimentarius en términos de calidad fisicoquímica y microbiológica. Durante la adaptación del kéfir, el tratamiento con 25 % de miel y 75 % de panela presentó mayor estabilidad de biomasa y mejor comportamiento fermentativo en comparación con concentraciones superiores de miel. El bioproducto fermentado mostró

disminución de sólidos solubles, reducción del pH y aumento de la acidez titulable, evidenciando actividad metabólica del consorcio microbiano. Asimismo, la evaluación sensorial indicó una aceptabilidad favorable del producto, especialmente en aroma y percepción global.

Se concluye que la miel producida en Campoalegre posee potencial para ser utilizada como ingrediente funcional en procesos fermentativos con kéfir de agua, permitiendo el desarrollo de bebidas con valor agregado y potencial aplicación en el sector de alimentos funcionales y probióticos. Además, la investigación aporta alternativas de innovación y diversificación para el fortalecimiento sostenible del sector apícola regional.

Palabras claves: Miel de abejas, Kéfir de agua, Fermentación, Bebidas funcionales, Biotecnología alimentaria.

Abstract

Honey is a natural product with high biotechnological potential due to its antioxidant, antimicrobial, and functional properties. In the department of Huila, beekeeping is an important economic and environmental activity; however, the limited diversification of honey-derived products limits opportunities for value creation and access to specialized markets. In this context, the objective of this research was to evaluate the quality and bioactive potential of honey produced in Campoalegre (Huila), as well as its use as a substrate in fermentation processes using water kefir cultures for the development of a functional beverage.

The research was conducted under a mixed-method approach with an experimental and applied scope. Initially, physicochemical and microbiological characterization of honey samples was carried out through analyses of pH, moisture, titratable acidity, and soluble solids, as well as microbiological evaluation. Subsequently, a progressive adaptation of water kefir to different concentrations of honey and organic panela as carbon sources was performed, followed by the fermentation process and characterization of the obtained bioproduct. Finally, a sensory evaluation was conducted using a nine-point hedonic scale with 20 untrained panelists.

The results showed that the analyzed honey samples complied with the parameters established by NTC 1273:2023 and the Codex Alimentarius regarding physicochemical and microbiological quality. During kefir adaptation, the treatment containing 25% honey and 75% panela exhibited greater biomass stability and better fermentative performance compared to higher honey concentrations. The fermented bioproduct showed a decrease in soluble solids, a reduction in pH, and an increase in titratable acidity, indicating metabolic activity of the microbial consortium. Furthermore, sensory evaluations revealed favorable product acceptability, especially in aroma and overall perception.

It was concluded that honey produced in Campoalegre has the potential to serve as a functional ingredient in water kefir fermentation, enabling the development of value-added beverages for the functional and probiotic food sector. In addition, the research provides innovation and diversification alternatives for the sustainable strengthening of the regional beekeeping sector.

Keywords: Honey, Water Kefir, Fermentation, Functional beverages, Food biotechnology.

Tabla de Contenido

<i>Introducción</i>	12
<i>Planteamiento del Problema</i>	15
<i>Justificación</i>	18
<i>Objetivos</i>	20
Objetivo General.....	20
Objetivos Específicos	20
<i>Marco Conceptual y Teórico</i>	21
Calidad de la Miel de Abejas.....	21
Fermentación de la Miel y Desarrollo de Bioproducto.....	23
Comparación Fuentes de Carbono en Procesos Fermentativos	25
Kéfir de Agua como Sistema Probiótico	27
Relación entre la Miel de Abejas y el Desarrollo de Bebidas Funcionales	30
<i>Metodología</i>	33
Tipo y Diseño de Investigación.	33
Selección y Muestreo.....	33
Caracterización de la Miel	35
<i>Análisis Físicoquímico</i>	35
Análisis Microbiológico.....	36
Fermentación.....	37
Evaluación del Bioproducto	37
Análisis Físicoquímico.....	37
Análisis Microbiológico.....	37
Evaluación Sensorial.....	37
<i>Resultados y Discusión</i>	39
Características Físicoquímicas de las Mieles	39
Evaluación Microbiológica de la Miel	40
Adaptación del Kéfir a la Panela Orgánica.....	41
Adaptación del Kéfir a la Miel	42
Análisis Estadístico de la Biomasa de la Adaptación del Kéfir a la Miel.....	45
Caracterización de Bioproducto Fermentado	47

Evaluación Sensorial	50
<i>Impacto</i>	56
Impacto Social	56
Impacto Ambiental	57
Impacto Económico	57
Otros Impactos.....	58
<i>Recomendaciones</i>	60
<i>Referencias Bibliográficas</i>	62

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Guia Completa de los Factores que Intervienen en la Calidad de la Miel de Abejas</i> --22	22
Figura 2 <i>Guia Esencial del Kéfir de Agua.</i> -----30	30
Figura 3 <i>Fotografía de la Ubicación de las Colmenas en la Finca.</i> -----34	34
Figura 4 <i>Trabajo de Campo y Equipo de Investigación en el Apiario de Campoalegre, Huila</i> -35	35
Figura 5 <i>Proceso de Caracterización Fisicoquímica de la Miel.</i> -----40	40
Figura 6 <i>Adaptabilidad de los Tibicos a las condiciones de Laboratorio (Agua y Panela Orgánica).</i> -----41	41
Figura 7 <i>Fotografía de los Tibicos de Agua en Proceso de Pesaje en Balanza.</i> -----42	42
Figura 8 <i>Comportamiento de la Biomasa del Kéfir de Agua Durante el Proceso de Adaptación a Diferentes Concentraciones de Miel</i> -----43	43
Figura 9 <i>Componentes Visibles del Sistema de Fermentación de Kéfir de Agua como Bioproducto.</i> -----50	50
Figura 10 <i>Promedio de la Evaluación Sensorial de Panelistas. Producto 25%: con 75% de Panela Orgánica y 25% de Miel. Producto 50%: con 50% Panela Orgánica y 50% de Miel</i> -----51	51

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Comparación de las fuentes de carbono en procesos fermentativos.</i>	27
Tabla 2 <i>La Escala Hedónica de 9 Puntos</i>	38
Tabla 3 <i>Resultados del Análisis Físicoquímico de la Miel</i>	39
Tabla 4 <i>Resultados de la Evaluación Microbiología de la Miel</i>	40
Tabla 5. <i>Resumen Estadístico por Repetición.</i>	46
Tabla 6 <i>Resultados del ANOVA.</i>	46
Tabla 7 <i>Resultados de la Caracterización de Bioproducto Fermentado</i>	48

Introducción

La apicultura constituye una actividad de gran relevancia económica, ambiental y social debido a su contribución a la seguridad alimentaria, la conservación de la biodiversidad y la sostenibilidad de los ecosistemas mediante los procesos de polinización. A nivel mundial, las abejas desempeñan un papel fundamental en la producción agrícola, ya que aproximadamente el 75 % de los cultivos destinados al consumo humano dependen, al menos parcialmente, de la polinización animal (FAO, 2021). En Colombia, particularmente en el departamento del Huila, la apicultura representa una fuente importante de ingresos para comunidades rurales; sin embargo, el sector enfrenta limitaciones asociadas con la baja tecnificación, la mortalidad de colonias, la limitada infraestructura y la escasa diversificación de productos derivados de la miel, factores que reducen su competitividad en mercados especializados (Diario del Huila, 2023; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023).

La miel de abejas es uno de los principales productos de la actividad apícola y se caracteriza por su compleja composición química, constituida principalmente por fructosa y glucosa, además de compuestos fenólicos, flavonoides, enzimas, vitaminas y minerales. Estas características le confieren propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias y cicatrizantes, ampliamente reportadas en la literatura científica (Bogdanov et al., 2008; Pasupuleti et al., 2017). Debido a estas propiedades bioactivas, la miel ha despertado un creciente interés dentro de la industria alimentaria y farmacéutica, especialmente en el desarrollo de alimentos funcionales y productos nutracéuticos.

A pesar de su potencial biotecnológico, en muchos contextos productivos la miel continúa siendo comercializada principalmente en estado natural, desaprovechando las posibilidades de transformación y generación de valor agregado. En este sentido, la

biotecnología alimentaria ofrece herramientas que permiten desarrollar productos innovadores mediante procesos fermentativos controlados, capaces de modificar las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las materias primas (Granato et al., 2020). Entre estos procesos, la fermentación con cultivos probióticos ha cobrado especial relevancia debido a su capacidad para producir metabolitos bioactivos y mejorar las características nutricionales y sensoriales de los alimentos.

Dentro de los sistemas fermentativos más estudiados se encuentra el kéfir de agua, un consorcio simbiótico conformado por bacterias ácido-lácticas, bacterias ácido-acéticas y levaduras inmovilizadas en una matriz de polisacáridos. Este sistema microbiano permite transformar azúcares simples en compuestos como ácido láctico, etanol, dióxido de carbono y diversos metabolitos con potencial funcional y probiótico (Laureys & De Vuyst, 2014; Marsh et al., 2013). Diversas investigaciones han demostrado que las bebidas fermentadas con kéfir pueden contribuir a la modulación del microbiota intestinal, presentar actividad antioxidante y mejorar la estabilidad microbiológica de los productos fermentados (Prado et al., 2015).

La utilización de miel como fuente de carbono en procesos fermentativos con kéfir representa una estrategia innovadora para el desarrollo de bebidas funcionales con valor agregado. Sin embargo, la composición de la miel, su elevada concentración de azúcares y la presencia de compuestos con actividad antimicrobiana pueden afectar el crecimiento y la actividad metabólica de los microorganismos fermentativos, haciendo necesario evaluar previamente su comportamiento como sustrato biotecnológico (Snowdon & Cliver, 1996; Pasupuleti et al., 2017). Asimismo, factores como el origen botánico y geográfico de la miel influyen significativamente sobre sus características fisicoquímicas y funcionales, lo que puede repercutir en la dinámica fermentativa y en la calidad del producto final.

En este contexto, la presente investigación tuvo como propósito evaluar la calidad y el potencial bioactivo de mieles producidas en el municipio de Campoalegre (Huila), así como su aprovechamiento como sustrato en procesos de fermentación utilizando cultivos de kéfir de agua para el desarrollo de bebidas funcionales con valor agregado. Para ello, se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las muestras de miel, el análisis de la adaptación del cultivo fermentativo y la evaluación de las propiedades del bioproducto obtenido. Con este estudio se busca contribuir al fortalecimiento del sector apícola regional mediante la aplicación de herramientas de biotecnología alimentaria orientadas a la innovación, diversificación de productos y aprovechamiento sostenible de los recursos apícolas.

Planteamiento del Problema

La apicultura en el departamento del Huila constituye una actividad estratégica para la seguridad alimentaria, la conservación de la biodiversidad y el desarrollo económico regional. No obstante, a pesar de su potencial productivo, el sector enfrenta limitaciones estructurales que afectan su sostenibilidad y competitividad en mercados de mayor valor agregado (Diario del Huila, 2023).

En la actualidad, el departamento cuenta con aproximadamente 1.200 apicultores, de los cuales cerca del 70 % se encuentran organizados en asociaciones y cooperativas, como la Cooperativa Integral de Apicultores del Huila (Cooapi). Sin embargo, estas organizaciones enfrentan barreras relacionadas con la limitada infraestructura tecnológica, la baja incorporación de procesos de transformación y las dificultades para cumplir con estándares de calidad exigidos en mercados especializados, lo que restringe su posicionamiento a nivel nacional e internacional (Diario del Huila, 2023).

Uno de los principales problemas identificados es la escasa diversificación de productos derivados de la miel. Aunque el Huila produce aproximadamente 200 toneladas anuales, menos del 10 % se transforma en productos con valor agregado, tales como alimentos funcionales, cosméticos o suplementos, lo que limita significativamente las oportunidades de generación de ingresos para los apicultores (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023; Salgado-Sánchez et al., 2023). Esta situación contrasta con las tendencias actuales del mercado, en las que existe una creciente demanda de productos naturales, funcionales y con beneficios para la salud.

Desde el punto de vista científico, la miel de abejas ha sido ampliamente reconocida por sus propiedades antimicrobianas, antioxidantes y bioactivas, lo que la posiciona como un insumo con alto potencial para el desarrollo de productos innovadores en la industria alimentaria. Sin

embargo, persiste un limitado aprovechamiento de estas propiedades en contextos productivos locales, asociado tanto al desconocimiento técnico por parte de los productores como a la escasa investigación aplicada orientada a su transformación en bioproductos (Andrade et al., 2022).

Adicionalmente, aunque se han realizado inversiones públicas significativas en el fortalecimiento del sector apícola, estas se han centrado principalmente en infraestructura y producción primaria, dejando en segundo plano el desarrollo de productos de valor agregado y la aplicación de herramientas biotecnológicas que permitan diversificar la oferta y mejorar la competitividad (Gobernación del Huila, 2022). A esto se suma la falta de estudios específicos que consideren la variabilidad en la composición de la miel según su origen botánico y geográfico, lo cual limita su aprovechamiento diferencial en procesos de transformación.

En este contexto, la problemática no se limita únicamente a la baja diversificación de productos apícolas, sino que radica en la ausencia de investigación aplicada en biotecnología alimentaria que permita, por un lado, caracterizar científicamente la miel producida en la región y, por otro, desarrollar procesos de transformación que generen bioproductos con propiedades funcionales comprobadas.

En consecuencia, surge la necesidad de formular la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo puede la miel de abejas producida en el departamento del Huila ser aprovechada como sustrato en procesos biotecnológicos de fermentación, específicamente mediante el uso de cultivos de kéfir de agua, para el desarrollo de bebidas funcionales que contribuyan a la generación de valor agregado y al fortalecimiento del sector apícola regional? ¿Cómo puede la miel de abejas producida en el departamento del Huila ser aprovechada como sustrato en procesos biotecnológicos de fermentación, específicamente mediante el uso de cultivos de kéfir

de agua, para el desarrollo de bebidas funcionales que contribuyan a la generación de valor agregado y al fortalecimiento del sector apícola regional?

Justificación

La aplicación de herramientas de la biotecnología alimentaria representa una estrategia clave para la generación de valor agregado en productos apícolas como la miel de abejas, permitiendo su transformación en alimentos innovadores con propiedades funcionales. Este enfoque responde a la creciente demanda global de productos naturales que, además de su valor nutricional, aporten beneficios a la salud, posicionándose dentro del segmento de alimentos funcionales y nutracéuticos (Granato et al., 2020).

La miel de abejas es un recurso natural con alto potencial biotecnológico, debido a su composición rica en azúcares fermentables, compuestos fenólicos, enzimas y minerales, así como a sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes. Estas características la convierten en un sustrato adecuado para procesos de transformación como la fermentación, mediante los cuales es posible desarrollar bebidas con valor funcional, mejorar su perfil bioactivo y diversificar sus aplicaciones en la industria alimentaria (Pasupileti et al., 2017; Vázquez et al., 2021).

En este contexto, el uso de sistemas fermentativos como el kéfir de agua permite la obtención de productos que combinan los beneficios propios de la miel con la acción de microorganismos con potencial probiótico, generando metabolitos bioactivos que pueden contribuir a la salud del consumidor. Este tipo de desarrollos representa una alternativa innovadora dentro de la biotecnología alimentaria, con potencial para ampliar la oferta de productos derivados de la miel y responder a las tendencias actuales del mercado.

A nivel regional, en el departamento del Huila, donde la apicultura constituye una actividad económica relevante, la implementación de este tipo de estrategias resulta especialmente pertinente. A pesar de la disponibilidad de materia prima, el sector presenta una limitada diversificación de productos y un bajo nivel de transformación, lo que restringe su

competitividad. En este sentido, la aplicación de procesos biotecnológicos orientados al desarrollo de productos de valor agregado puede contribuir a mejorar la rentabilidad de los apicultores y fortalecer la sostenibilidad del sector.

Adicionalmente, la variabilidad en la composición de la miel, asociada a factores como el origen botánico y la especie de abeja, representa una oportunidad para el desarrollo de productos diferenciados. En particular, las mieles producidas por abejas nativas sin aguijón (meliponinas) han sido reportadas como fuentes de compuestos bioactivos con alto potencial antioxidante y funcional, lo que amplía las posibilidades de innovación en el desarrollo de alimentos especializados (González Nates, 2023; Salgado-Sánchez et al., 2023).

Desde el punto de vista científico, esta investigación contribuye a la generación de conocimiento aplicado en el campo de la biotecnología alimentaria, al evaluar el comportamiento de la miel como sustrato en procesos fermentativos y su impacto en las características fisicoquímicas, microbiológicas y funcionales del producto final. Asimismo, permite establecer bases para el desarrollo de bebidas fermentadas con potencial probiótico, alineadas con criterios de calidad e inocuidad.

Finalmente, este estudio se justifica en la necesidad de articular la investigación científica con el desarrollo productivo regional, promoviendo el aprovechamiento sostenible de los recursos apícolas y la generación de alternativas innovadoras que contribuyan al fortalecimiento del sector. De esta manera, se busca no solo aportar al conocimiento académico, sino también generar un impacto económico y social en el contexto local, mediante el desarrollo de productos con valor agregado y potencial de comercialización.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la calidad y el potencial bioactivo de mieles producidas en el municipio de Campoalegre (Huila) y su aprovechamiento como sustrato en procesos de fermentación con cultivos de kéfir de agua para el desarrollo de bebidas funcionales con valor agregado.

Objetivos Específicos

Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de la miel del municipio de Campoalegre, incluyendo parámetros como humedad, pH y grados brix, para determinar su calidad de acuerdo con estándares nacionales e internacionales.

Desarrollar un proceso de fermentación utilizando cultivos de kéfir de agua como sistema biotecnológico, empleando la miel como fuente de carbono para la obtención de una bebida funcional.

Evaluar el comportamiento fermentativo mediante el análisis de variables como pH, consumo de azúcares y viabilidad microbiana, con el fin de determinar la estabilidad y calidad del bioproducto.

Determinar las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales del producto obtenido, con el fin de establecer su potencial como bebida funcional y su posible aceptación en el mercado.

Marco Conceptual y Teórico

Calidad de la Miel de Abejas

La miel de abejas es un producto natural elaborado por las abejas a partir del néctar de las flores o secreciones de plantas, el cual es transformado mediante procesos enzimáticos y posteriormente almacenado en los panales para su maduración. Su composición y calidad dependen de múltiples factores, entre ellos el origen botánico, las condiciones ambientales, las prácticas de manejo apícola y los procesos de extracción y almacenamiento (Codex Alimentarius Commission, 2001).

La calidad de la miel se evalúa mediante parámetros sensoriales, físicos, químicos y microbiológicos, los cuales permiten determinar su autenticidad, frescura, estabilidad e inocuidad. Desde el punto de vista sensorial, atributos como el color, aroma, sabor y textura están estrechamente relacionados con su origen floral. Mieles más oscuras suelen presentar mayor contenido de compuestos fenólicos, lo que se asocia con una mayor capacidad antioxidante (Bogdanov et al., 2008).

En términos físicos, el contenido de humedad es uno de los factores más críticos, ya que valores elevados pueden favorecer procesos de fermentación no deseados. De acuerdo con la normativa colombiana vigente, el contenido de humedad en la miel no debe superar el 20 %, con el fin de garantizar su estabilidad durante el almacenamiento (NTC 1273, 2023). Asimismo, parámetros como los sólidos insolubles y la conductividad eléctrica permiten evaluar la pureza y el origen del producto.

Desde la perspectiva química, la miel está compuesta principalmente por azúcares simples como fructosa y glucosa, los cuales representan entre el 80 % y 85 % de su composición. Otros parámetros relevantes incluyen el pH, la acidez libre, la actividad diastásica y el contenido

de hidroximetilfurfural (HMF), este último considerado un indicador de deterioro térmico o envejecimiento del producto. Valores elevados de HMF pueden indicar sobrecalentamiento o almacenamiento prolongado (White, 1979).

En cuanto a la calidad microbiológica, la miel posee propiedades antimicrobianas naturales debido a su baja actividad de agua, alta concentración de azúcares y presencia de compuestos bioactivos. Sin embargo, puede contener esporas de *Clostridium botulinum*, lo que representa un riesgo potencial en poblaciones vulnerables, especialmente en lactantes. Por ello, el cumplimiento de buenas prácticas de manufactura y de los criterios establecidos en la normativa es fundamental para garantizar su inocuidad (Snowdon & Cliver, 1996).

Figura 1

Guía completa de los factores que intervienen en la calidad de la miel de abejas



Obtenido de. *Elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial generativa mediante NotebookLM, 2026.*

Normativa de la Calidad de la Miel en Colombia

En Colombia, la calidad de la miel de abejas está regulada mediante la Norma Técnica

Colombiana NTC 1273:2023, la cual establece los requisitos fisicoquímicos, microbiológicos y de inocuidad que debe cumplir este producto para su comercialización. Esta norma define criterios específicos como el contenido máximo de humedad ($\leq 20\%$), límites de acidez libre (≤ 50 meq/kg), contenido de hidroximetilfurfural (≤ 40 mg/kg) y actividad diastásica mínima, entre otros parámetros que permiten evaluar la frescura y autenticidad del producto.

Adicionalmente, la norma establece límites para contaminantes como residuos de plaguicidas, medicamentos veterinarios y metales pesados, con el fin de garantizar la seguridad del consumidor. También se contemplan aspectos relacionados con el etiquetado, la trazabilidad y las condiciones de almacenamiento, los cuales son fundamentales para asegurar la calidad a lo largo de la cadena productiva.

El cumplimiento de la NTC 1273:2023 no solo garantiza la inocuidad del producto, sino que también representa una herramienta clave para la competitividad del sector apícola, facilitando el acceso a mercados especializados y promoviendo la generación de productos con valor agregado.

Fermentación de la Miel y Desarrollo de Bioproducto

La fermentación constituye uno de los procesos biotecnológicos más relevantes en la transformación de sustratos ricos en azúcares en productos con valor agregado, mediante la acción de microorganismos como bacterias y levaduras. En el caso de la miel de abejas, su composición rica en azúcares fermentables, principalmente fructosa y glucosa, la posiciona como un sustrato potencial para la producción de bebidas fermentadas, siempre que se ajusten condiciones como la dilución y disponibilidad de nutrientes (Steinkraus, 1996; Laureys & De Vuyst, 2014).

A pesar de sus propiedades antimicrobianas naturales, derivadas de su baja actividad de

agua, pH ácido y presencia de compuestos fenólicos, la miel puede ser utilizada en procesos fermentativos al ser diluida, lo que permite la activación y crecimiento de microorganismos. Este principio ha sido ampliamente aplicado en la producción de bebidas como la hidromiel y en desarrollos más recientes de productos funcionales fermentados (Bogdanov et al., 2008; Snowden & Cliver, 1996).

Dentro de estos sistemas, el kéfir de agua representa un consorcio microbiano complejo conformado por bacterias ácido-lácticas, bacterias ácido-acéticas y levaduras, que coexisten en una matriz de polisacáridos. Esta comunidad simbiótica permite la transformación de azúcares en una variedad de metabolitos como ácido láctico, etanol, dióxido de carbono y compuestos aromáticos, que determinan tanto las propiedades sensoriales como funcionales del producto final (Laureys & De Vuyst, 2014; Marsh et al., 2013).

Desde el punto de vista metabólico, las levaduras presentes en el kéfir hidrolizan la sacarosa en glucosa y fructosa mediante la acción de la enzima invertasa, facilitando su posterior fermentación alcohólica y producción de CO₂. Paralelamente, las bacterias ácido-lácticas metabolizan estos azúcares simples para producir ácido láctico y otros compuestos orgánicos, generando un descenso del pH que contribuye a la estabilidad microbiológica del sistema (Marsh et al., 2013; Prado et al., 2015).

El uso de miel como fuente de carbono en este tipo de fermentaciones presenta tanto ventajas como limitaciones. Por un lado, su contenido de azúcares simples facilita su rápida asimilación por parte de los microorganismos; sin embargo, su bajo contenido de nitrógeno disponible y algunos micronutrientes esenciales puede limitar el crecimiento microbiano, lo que hace necesaria la suplementación del medio en ciertos casos (Prado et al., 2015).

Adicionalmente, la presencia de compuestos antimicrobianos naturales puede afectar

selectivamente la microbiota del kéfir, modificando la cinética de fermentación.

Diversas investigaciones han evidenciado que la fuente de azúcar utilizada influye significativamente en la dinámica microbiana y en las características fisicoquímicas del producto fermentado. Azúcares no refinados, como la panela, aportan minerales que favorecen la actividad metabólica de los microorganismos, mientras que azúcares refinados presentan menor complejidad nutricional. En este contexto, la miel representa una alternativa con valor funcional, aunque su comportamiento fermentativo debe ser evaluado en función de su composición específica (Laureys & De Vuyst, 2014; Prado et al., 2015).

En este sentido, el desarrollo de bebidas fermentadas a partir de miel mediante el uso de cultivos de kéfir de agua se posiciona como una estrategia innovadora dentro de la biotecnología alimentaria, orientada a la obtención de productos funcionales con potencial probiótico. No obstante, su implementación requiere el control de variables críticas como la concentración de azúcares, el pH, la temperatura y el tiempo de fermentación, así como el cumplimiento de normativas de calidad e inocuidad que garanticen la seguridad del consumidor (Codex Alimentarius Commission, 2001; NTC 1273, 2023).

Comparación Fuentes de Carbono en Procesos Fermentativos

La fuente de carbono es uno de los factores más determinantes en los procesos fermentativos, ya que influye directamente en el crecimiento microbiano, la producción de metabolitos y las características fisicoquímicas y sensoriales del producto final. En sistemas como el kéfir de agua, donde coexisten bacterias ácido-lácticas y levaduras en una relación simbiótica, la naturaleza del sustrato azucarado condiciona la dinámica metabólica del consorcio microbiano (Laureys & De Vuyst, 2014; Prado et al., 2015).

El azúcar blanco refinado (sacarosa) es una de las fuentes de carbono más utilizadas en

fermentación debido a su alta pureza y disponibilidad. Sin embargo, su valor nutricional es limitado, ya que carece de minerales y compuestos bioactivos que puedan favorecer el desarrollo microbiano. En fermentaciones con kéfir, este tipo de azúcar permite un crecimiento básico de los microorganismos, pero puede resultar en productos con menor complejidad sensorial y funcional (Marsh et al., 2013).

Por otro lado, la panela o azúcar no refinado se caracteriza por su contenido de minerales como calcio, hierro, magnesio y potasio, además de compuestos fenólicos y vitaminas en pequeñas cantidades. Estos componentes pueden actuar como cofactores enzimáticos, favoreciendo la actividad metabólica de bacterias y levaduras, lo que se traduce en una fermentación más activa y en la producción de metabolitos de interés, como ácidos orgánicos y compuestos aromáticos (Prado et al., 2015). En consecuencia, el uso de panela ha sido asociado con una mayor eficiencia fermentativa y un perfil sensorial más complejo.

En el caso de la miel de abejas, su composición presenta características intermedias entre los azúcares refinados y no refinados. Está compuesta principalmente por fructosa y glucosa, lo que facilita su rápida asimilación por parte de los microorganismos. Adicionalmente, contiene compuestos bioactivos como enzimas, ácidos orgánicos, minerales y compuestos fenólicos, los cuales pueden aportar valor funcional al producto fermentado (Bogdanov et al., 2008).

No obstante, la miel también presenta limitaciones en su uso como sustrato fermentativo. Su bajo contenido de nitrógeno disponible puede restringir el crecimiento microbiano, mientras que la presencia de compuestos con actividad antimicrobiana, como el peróxido de hidrógeno y ciertos flavonoides, puede inhibir parcial o selectivamente algunos microorganismos del consorcio del kéfir (Snowdon & Cliver, 1996). Estas características hacen necesario evaluar condiciones específicas de fermentación, como la dilución y la posible suplementación

nutricional.

Diversos estudios han demostrado que la elección de la fuente de carbono no solo afecta la cinética de fermentación, sino también la composición final del producto, incluyendo el contenido de etanol, ácidos orgánicos, compuestos volátiles y biomasa microbiana. En este sentido, la selección del sustrato debe alinearse con el objetivo del proceso, ya sea maximizar la producción de compuestos funcionales, mejorar las características sensoriales o favorecer el crecimiento de microorganismos con potencial probiótico (Laureys & De Vuyst, 2014; Prado et al., 2015).

En consecuencia, la comparación entre azúcar refinado, panela y miel permite identificar diferencias significativas en términos de aporte nutricional, comportamiento fermentativo y calidad del producto final. Mientras que el azúcar refinado ofrece control y reproducibilidad, la panela y la miel representan alternativas más complejas desde el punto de vista biotecnológico, con potencial para el desarrollo de bebidas funcionales con valor agregado.

Tabla 1

Comparación de las Fuentes de Carbono en Procesos Fermentativos.

Fuentes de Carbono	Composición	Ventajas	Limitaciones	Impacto en Fermentación
<i>Azúcar refinada</i>	Sacarosa Pura	Alta disponibilidad, y control	Bajo valor nutricional	Fermentación básica
<i>Panela</i>	Sacarosa + minerales	Favorece crecimiento microbiano	Variabilidad	Mayor actividad fermentativa
<i>Miel</i>	Glucosa + Fructosa + bioactivos	Valor nutricional	Actividad antimicrobiana	Fermentación variable

Kéfir de Agua como Sistema Probiótico

El kéfir de agua es una bebida fermentada obtenida a partir de la acción de un consorcio

microbiano complejo compuesto por bacterias ácido-lácticas, bacterias ácido-acéticas y levaduras, que coexisten en una matriz de polisacáridos conocida como gránulos de kéfir. Este sistema simbiótico permite la transformación de azúcares en una amplia variedad de metabolitos, incluyendo ácido láctico, etanol, dióxido de carbono y compuestos bioactivos, los cuales contribuyen a las propiedades sensoriales y funcionales del producto final (Laureys & De Vuyst, 2014; Marsh et al., 2013).

A diferencia de otros sistemas fermentativos, el kéfir de agua presenta una alta diversidad microbiana, donde predominan géneros como *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Acetobacter* y levaduras como *Saccharomyces* y *Zygorhizopus*. Esta diversidad favorece interacciones metabólicas sinérgicas, en las cuales las levaduras hidrolizan la sacarosa en azúcares simples, mientras que las bacterias ácido-lácticas y ácido-acéticas metabolizan estos compuestos, generando ácidos orgánicos y otros metabolitos que contribuyen a la estabilidad microbiológica del sistema (Prado et al., 2015).

Desde el punto de vista funcional, el kéfir de agua ha sido asociado con propiedades probióticas, definidas como la capacidad de ciertos microorganismos de conferir beneficios a la salud del huésped cuando se administran en cantidades adecuadas. Entre estos beneficios se incluyen la modulación del microbiota intestinal, la mejora de la digestión, la actividad antimicrobiana frente a patógenos y la estimulación del sistema inmunológico (Hill et al., 2014). Estos efectos están relacionados tanto con la presencia de microorganismos viables como con la producción de metabolitos bioactivos durante la fermentación.

Adicionalmente, durante el proceso fermentativo se generan compuestos como exopolisacáridos, péptidos bioactivos, vitaminas del complejo B y ácidos orgánicos, los cuales contribuyen al carácter funcional del producto. En particular, los exopolisacáridos producidos

por bacterias ácido-lácticas han sido asociados con efectos prebióticos y con la mejora de la textura y estabilidad de las bebidas fermentadas (Prado et al., 2015).

El kéfir de agua presenta ventajas frente a otros productos fermentados, especialmente en términos de versatilidad y aceptación del consumidor, ya que puede elaborarse a partir de diferentes fuentes de carbono, incluyendo azúcares refinados, panela y miel. Esto permite el desarrollo de bebidas adaptadas a diferentes perfiles sensoriales y requerimientos nutricionales, incluyendo alternativas libres de lácteos, lo que amplía su potencial de mercado dentro del segmento de alimentos funcionales.

No obstante, para que un producto derivado del kéfir de agua pueda ser considerado probiótico, es necesario garantizar la viabilidad de los microorganismos hasta el momento de su consumo, así como demostrar sus efectos benéficos mediante estudios científicos. En este sentido, factores como la composición del sustrato, las condiciones de fermentación, el almacenamiento y la formulación del producto final juegan un papel determinante en la usabilidad y funcionalidad del producto (Hill et al., 2014).

En consecuencia, el uso de kéfir de agua en la fermentación de sustratos como la miel de abejas representa una estrategia prometedora para el desarrollo de bebidas funcionales con potencial probiótico. Sin embargo, su éxito depende del adecuado control de variables de proceso y del cumplimiento de criterios de calidad e inocuidad, en concordancia con las normativas vigentes.

Figura 2

Guía Esencial del Kéfir de Agua.

GUÍA ESENCIAL DEL KÉFIR DE AGUA: AZÚCARES Y LEGISLACIÓN

UNA BEBIDA PROBIÓTICA ANCESTRAL
Es una bebida fermentada, ligeramente ácida y carbonatada, obtenida a partir de granulos de kéfir (tibicos) en una solución de agua azucarada.

UN ECOSISTEMA VIVO EN GRÁNULOS:
Los gránulos son estructuras gelatinosas de 5 a 20 mm que contienen una matriz de polisacáridos donde coexisten en simbiosis bacterias ácido-lácticas y levaduras.

EL ROL CRUCIAL DEL AZÚCAR EN LA FERMENTACIÓN

EL AZÚCAR ES EL COMBUSTIBLE DE LA FERMENTACIÓN
Los microorganismos de los gránulos consumen el azúcar para vivir, reproducirse y generar los compuestos beneficiosos de la bebida. Sin azúcar, no hay fermentación.

LEVADURAS: DESCOMPOEN SACAROSA EN GLUCOSA Y FRUCTOSA, PRODUCIENDO ETANOL Y CO₂ (GAS)

BACTERIAS: UTILIZAN ESTOS AZÚCARES PARA GENERAR ÁCIDO LÁCTICO Y OTROS COMPUESTOS.

BACTERIAS: UTILIZAN ESTOS AZÚCARES PARA GENERAR ÁCIDO LÁCTICO Y OTROS COMPUESTOS.

EL TIPO DE AZÚCAR LO CAMBIA TODO:
La composición mineral y la pureza del azúcar influyen directamente en la velocidad de fermentación, el sabor final y la salud y crecimiento de los gránulos.

FUENTE DE MÚLTIPLES BENEFICIOS PARA LA SALUD:
Se le atribuyen propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias, antioxidantes, inmunomoduladoras y de mejora de la salud intestinal.

Probióticos: "Microorganismos vivos que, cuando se consumen en cantidades apropiadas, confieren al huésped efectos saludables." (Guarner, Schaafsma, 1998)

COMPARATIVA DE ENDULZANTES

AZÚCAR MORENO / MASCABO / PANELA	AZÚCAR BLANCO REFINADO	MIEL CRUDA	AZÚCAR DE COCO / MELAZA	EDULCORANTES (STEVIA, AGAVE, ETC.)
RECOMENDADO Alto en minerales, favorece la multiplicación de levaduras y bacterias. Produce un kéfir con sabor más fuerte y robusto.	ACEPTABLE No contiene minerales. Produce un kéfir de sabor dulce y suave. Se recomienda complementar con fruta seca (higos, pasas) para aportar minerales.	NO RECOMENDADO Sus propias bacterias pueden competir con las de los nódulos de kéfir, daltándolos.	USAR CON PRECAUCIÓN Su altísimo contenido mineral puede ser perjudicial para los gránulos si se usan solos. Mejor en pequeñas cantidades como suplemento.	NO APTOS No proporcionan el alimento necesario para los microorganismos, por lo que la fermentación no ocurrirá.

LEGISLACIÓN: PANORAMA PARA PRODUCTORES Y CONSUMIDORES

EJEMPLO DE REGULACIÓN: EL CASO DE ARGENTINA
El 14 de agosto de 2024 se incorporó oficialmente el Kéfir de Agua al Código Alimentario Argentino bajo el artículo 1084 tris, en el capítulo "Bebidas Fermentadas".

¿QUÉ EXIGE LA NORMA ARGENTINA?
Define el producto, permite la adición de jugos y frutas, exige que los microorganismos sean viables y activos, y establece requisitos de rotulado, refrigeración y control de calidad (HACCP).

UNA NECESIDAD GLOBAL DE REGULACIÓN:
Expertos señalan la necesidad de incorporar el kéfir a la legislación alimentaria de los países donde se consume para estandarizar procesos y garantizar su seguridad.

¿Y EN COLOMBIA?
Los documentos analizados no contienen información sobre una legislación específica para el kéfir de agua en Colombia. Sin embargo, se observa un creciente interés y consumo en el país.

NotebookLM

Obtenido de. *Elaboración Propia con Apoyo de Inteligencia Artificial Generativa Mediante Notebooklm, 2026.*

Relación entre la Miel de Abejas y el Desarrollo de Bebidas Funcionales

En los últimos años, el desarrollo de alimentos funcionales ha cobrado gran relevancia dentro de la industria alimentaria, impulsado por la creciente demanda de productos que no solo aporten valor nutricional, sino que también contribuyan a la salud y bienestar del consumidor. En este contexto, las bebidas fermentadas han emergido como una alternativa innovadora, debido a su contenido de microorganismos beneficiosos y metabolitos bioactivos generados durante el proceso fermentativo (Granato et al., 2020).

La miel de abejas, por su composición rica en azúcares simples, compuestos fenólicos, enzimas y minerales, representa una materia prima con alto potencial para el desarrollo de este

tipo de productos. Sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y energéticas la convierten en un ingrediente funcional que puede contribuir tanto a la estabilidad del producto como a sus beneficios para la salud (Bogdanov et al., 2008). No obstante, su aplicación en procesos fermentativos requiere la modificación de sus condiciones naturales, principalmente mediante su dilución, para permitir el crecimiento microbiano controlado.

La incorporación de miel en sistemas fermentativos como el kéfir de agua permite no solo aprovechar su contenido de azúcares fermentables, sino también enriquecer el producto final con compuestos bioactivos. Durante la fermentación, los microorganismos transforman estos azúcares en ácidos orgánicos, compuestos volátiles y otros metabolitos que mejoran las características sensoriales y funcionales del producto. Asimismo, se pueden generar sinergias entre los compuestos propios de la miel y los metabolitos microbianos, potenciando efectos antioxidantes y antimicrobianos (Laureys & De Vuyst, 2014; Prado et al., 2015).

Sin embargo, el uso de miel como sustrato fermentativo también plantea desafíos importantes. Su variabilidad en composición, asociada al origen botánico y geográfico, puede influir en la reproducibilidad de los procesos fermentativos. Además, la presencia de compuestos con actividad antimicrobiana puede afectar la viabilidad y actividad metabólica de los microorganismos del kéfir, lo que hace necesario optimizar condiciones de proceso como la concentración, el tiempo de fermentación y la posible suplementación nutricional (Snowdon & Cliver, 1996).

Desde el punto de vista normativo, el desarrollo de bebidas fermentadas a base de miel debe garantizar el cumplimiento de estándares de calidad e inocuidad, tanto en la materia prima como en el producto final. En el caso colombiano, la aplicación de la NTC 1273:2023 asegura que la miel utilizada cumpla con los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos necesarios, lo

que constituye un punto de partida fundamental para el desarrollo de productos seguros y de calidad.

En este sentido, la integración de la miel de abejas en procesos de fermentación con cultivos de kéfir de agua representa una oportunidad dentro de la biotecnología alimentaria para la generación de bebidas funcionales con valor agregado. No obstante, es necesario profundizar en la evaluación del comportamiento fermentativo de la miel como fuente de carbono, así como en el impacto de sus componentes sobre el microbiota del kéfir y las características del producto final.

Por lo tanto, la presente investigación se orienta a analizar el potencial de la miel de abejas como sustrato en la fermentación con kéfir de agua, con el fin de contribuir al desarrollo de bebidas funcionales que cumplan con criterios de calidad, inocuidad y aceptación sensorial, aportando así al aprovechamiento de recursos apícolas y al fortalecimiento de la innovación en el sector alimentario.

Metodología

Para garantizar la coherencia con los objetivos específicos, se revisaron y ajustaron los instrumentos de recolección de información (protocolos de laboratorios, fichas de registro y pruebas sensoriales). Este proceso siguió las recomendaciones de Hernández – Sampieri y Mendoza (2018), quienes señalan que la validez de los instrumentos es clave para asegurar resultados confiables.

Tipo y Diseño de Investigación.

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, integrando métodos cuantitativos y cualitativos con el fin de evaluar la calidad de la miel y su potencial para el desarrollo de un bioproducto funcional. El estudio tuvo un alcance experimental y aplicado, orientado a la transformación de la miel mediante procesos biotecnológicos controlados.

Selección y Muestreo

El muestreo se realizó siguiendo criterios de representatividad estadística (Fernández, 2005). Se seleccionaron tres (3) colmenas ubicadas en el municipio de Campoalegre, departamento del Huila, considerando condiciones de manejo apícola y disponibilidad de materia prima.

Figura 3

Fotografía de la Ubicación de las Colmenas en la Finca.



Obtenido de. *Autoría Propia*

Las muestras de miel fueron recolectadas en condiciones higiénicas y almacenadas en recipientes estériles, para su posterior análisis en laboratorio.

Figura 4. Trabajo de Campo y Equipo de Investigación en el Apiario de Campoalegre, Huila.



Nota. A) Equipo de investigación en el apiario; B) Actividades de inspección y manejo de colmenas; C) Revisión de colmenas; D) Desplazamiento y trabajo de campo en zona.

Obtenido de. *Autoría Propia*

Caracterización de la Miel

Análisis Físicoquímico

Se evaluaron los principales parámetros de calidad de la miel, de acuerdo con metodologías estandarizadas:

Sólidos solubles (°Brix) y humedad: determinados mediante reflectometría.

- pH: medición en solución de miel (10 g en 25 mL de agua destilada) utilizando pH-metro calibrado.

- Acidez titulable: determinada por titulación con NaOH 0,1 N, empleando fenolftaleína como indicador, y expresada en mEq/kg.

$$\text{Acidez} \left(\frac{\text{mEq}}{\text{Kg}} \right) = \frac{\text{Volumen de NaOH (ml)} \times \text{Normalidad del NaOH} \times 1000}{\text{Masa de la muestra (g)}}$$

- Perfil de azúcares: analizado mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), siguiendo metodologías reportadas en la literatura (Bogdanov et al., 2008; AOAC, 2020).

Análisis Microbiológico.

Se realizó la evaluación microbiológica mediante siembra en medios selectivos, a partir de diluciones de la muestra:

- Recuento de bacterias ácido-lácticas: Agar MRS
- Bacterias coliformes: Agar Bilis Rojo Violeta
- Bacterias entéricas Gram negativas: Agar MacConkey
- Aerobios mesófilos: Plate Count Agar (PCA)
- Levaduras y mohos: Agar Sabouraud

Las placas se incubaron a 37 °C durante 48 horas para bacterias y a 30 °C durante 5 días para hongos (Gueimonde et al., 2004; Ndife et al., 2014).

Desarrollo del Bioproducto Fermentado.

Preparación del Cultivo de Kéfir

Se utilizó un consorcio microbiano proveniente de kéfir de agua, compuesto por bacterias ácido-lácticas y levaduras. Para su activación, se realizó una fermentación inicial en solución de agua con panela (55 g/L) durante 48 horas a temperatura ambiente (25–28 °C).

Posteriormente, se llevó a cabo un proceso de adaptación progresiva del cultivo al sustrato de miel, mediante sustitución gradual de la fuente de carbono:

- 100 % panela (etapas 1–3)
- 75 % panela – 25 % miel (etapas 4–6)
- 50 % panela – 50 % miel (etapas 7–9)

- 25 % panela – 75 % miel (etapas 10–12)
- 100 % miel (etapas 13–15)

Este proceso permitió la aclimatación del consorcio microbiano al nuevo sustrato.

Fermentación

El proceso fermentativo se llevó a cabo bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura: 31 °C (Promedio de la temperatura en la ciudad de Neiva - Huila)
- Tiempo: 24 horas
- Condiciones: recipientes parcialmente cerrados (ambiente microaerófilo)

Al finalizar la fermentación, los productos fueron almacenados en nevera a 4 °C hasta su análisis.

Evaluación del Bioproducto

Análisis Físicoquímico.

Se determinaron el pH, acidez titulable, sólidos solubles, y grados brix.

Análisis Microbiológico.

Se evaluó la viabilidad microbiana mediante recuento en medios selectivos, siguiendo los procedimientos descritos anteriormente.

Evaluación Sensorial

Se realizó una prueba de aceptación con 20 panelistas no entrenados, utilizando una escala hedónica de 9 puntos, evaluando atributos como sabor, aroma, color y aceptación general (Meilgaard et al., 2006).

Tabla 2*La escala Hedónica de 9 puntos*

Escala Hedónica de 9 puntos
1 = Me disgusta muchísimo
2 = Me disgusta mucho
3 = Me disgusta ligeramente
4 = Ni me gusta ni me disgusta (punto neutro)
5 = Me gusta ligeramente
6 = Me gusta
7 = Me gusta mucho
8 = Me gusta muchísimo
9 = Me gusta extremadamente

Nota: Es tomada de Meligaard, Civile & Carr, 2026

Análisis de Datos

Los datos obtenidos fueron analizados mediante software estadístico R. Se aplicaron análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas entre tratamientos, así como análisis de correlación entre variables fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales.

Resultados y Discusión

Características Fisicoquímicas de las Mieles

Los valores de humedad obtenidos en las muestras analizadas oscilaron entre 19 % y 20 %, cumpliendo con el límite máximo establecido por la NTC 1273:2023 (≤ 20 %), lo que indica una adecuada estabilidad del producto y bajo riesgo de fermentación espontánea.

En cuanto al pH, los valores se encontraron dentro del rango típico reportado para mieles (3.2–4.5), lo cual contribuye a su estabilidad microbiológica.

Tabla 3

Resultados del Análisis Fisicoquímico de la Miel

Ítem Evaluado	Parámetros de referencia	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
pH	3.2 – 4.5	4	3.9	3.7
Humedad (%)	≤ 20 %	20 %	19 %	20 %
Acidez (mEq/Kg)	≤ 50 mEq / Kg	50 mEq / Kg	50 mEq / Kg	46 mEq / Kg
Sólidos Solubles (°Brix)	75 – 82 °Brix	82 °Brix	82 °Brix	82 °Brix
Fructosa/ Glucosa	≥ 60 %	69.6	69.6	69.2
Cumple	Si	Si	Si	Si

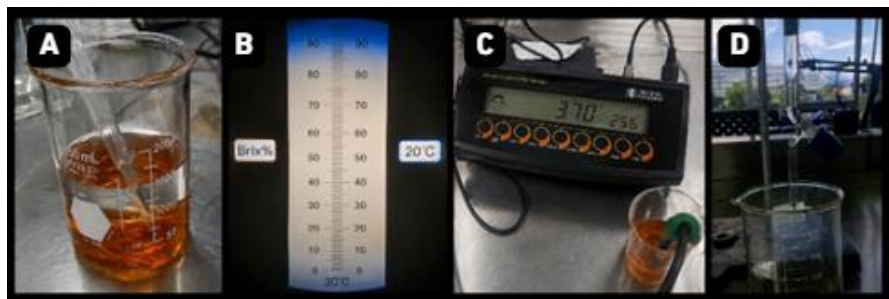
Nota: Los parámetros de referencias fueron obtenidos del NTC 1273:2023 y Codex alimentario internacional.

La acidez titulable se mantuvo por debajo de 50 mEq/kg, en concordancia con la normativa vigente, lo que sugiere ausencia de procesos de fermentación indeseada.

El contenido de azúcares reductores (fructosa y glucosa) superó el 60 %, cumpliendo con los estándares internacionales establecidos por el Codex Alimentarius, lo que confirma la autenticidad y calidad de la miel analizada.

Figura 5

Proceso de Caracterización Fisicoquímica de la Miel.



Nota. A) Dilución de la miel en agua destilada; B) Muestra en el refractómetro; C) pH metro; D)

Titulación para determinar la acidez de la miel.

Obtenido de. *Autoría Propia*

Estos resultados coinciden con lo reportado por Bogdanov et al. (2008), quienes describen valores de humedad entre 17 y 20 % en mieles de alta calidad.

Evaluación Microbiológica de la Miel

Tabla 4

Resultados de la Evaluación Microbiología de la Miel.

Ítem Evaluado	Parámetros de referencias	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Mesófilos	< 10 UFC/ g	< 10 ⁻³	< 10 ⁻³	< 10 ⁻³
Coliformes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Enterobacterias	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Levaduras	20 UFC/g	< 10 ⁻³	< 10 ⁻³	< 10 ⁻³
Mohos	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Interpretación	Buena/ Mala Calidad	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad

Los análisis microbiológicos evidenciaron una baja carga microbiana en las muestras evaluadas, con recuentos de aerobios mesófilos inferiores a 10⁻³ UFC/g, lo cual indica adecuadas condiciones higiénicas durante la producción y manejo de la miel.

No se detectó presencia de coliformes ni bacterias entéricas, lo que confirma la inocuidad del producto y la ausencia de contaminación de origen fecal o ambiental.

En cuanto a levaduras y mohos, los valores obtenidos fueron inferiores a 10^2 UFC/g, lo que sugiere una adecuada estabilidad microbiológica y bajo riesgo de fermentación espontánea.

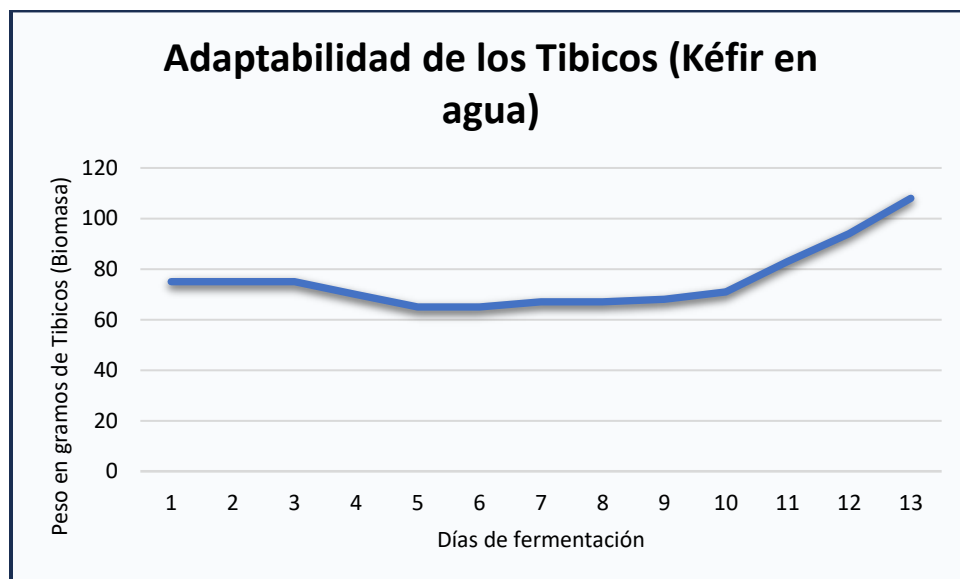
Estos resultados son consistentes con lo reportado en la literatura para mieles de alta calidad, las cuales, debido a sus características fisicoquímicas, presentan una limitada proliferación microbiana (Snowdon & Cliver, 1996).

Adaptación del Kéfir a la Panela Orgánica

Previo al desarrollo del proceso fermentativo, se realizó una etapa de adaptación del cultivo de kéfir de agua a las condiciones del laboratorio, tipo de agua y panela orgánica, con el fin de garantizar su estabilidad y actividad metabólica.

Figura 6.

Adaptabilidad de los Tibicos a las Condiciones de Laboratorio (Agua y Panela Orgánica).



Como se observa en la ilustración 2, durante los primeros días de fermentación (1–3) el cultivo presentó un comportamiento estable en términos de biomasa. Posteriormente, entre los

días 4 y 6, se evidenció una disminución en el peso de los nódulos, lo cual puede atribuirse a un proceso de adaptación a las nuevas condiciones ambientales y al sustrato disponible.

A partir del día 7, el cultivo mostró una recuperación progresiva, seguida de un incremento significativo en su biomasa hacia los días 11 a 13, alcanzando valores superiores a los iniciales. Este comportamiento indica una adecuada adaptación del consorcio microbiano, permitiendo su utilización en la fase experimental de fermentación.

Estos resultados evidencian que el cultivo de kéfir requiere un periodo de aclimatación para optimizar su actividad biológica, lo cual es fundamental para asegurar la reproducibilidad y eficiencia del proceso fermentativo.

Figura 7

Fotografía de los Tibicos de Agua en Proceso de Pesaje en Balanza.

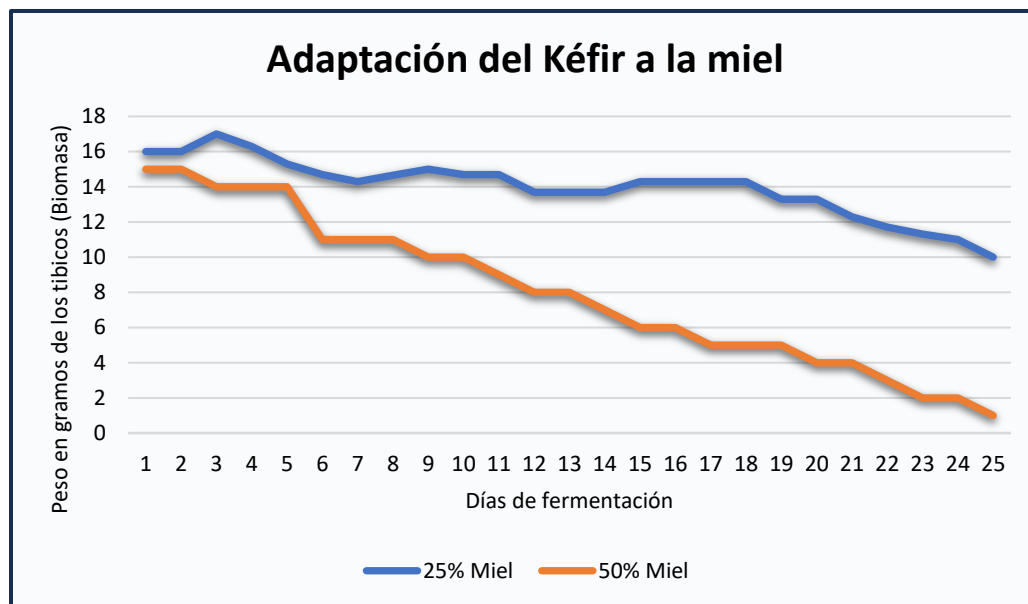


Adaptación del Kéfir a la Miel

Durante el proceso de adaptación del kéfir de agua a las formulaciones evaluadas, se observó un comportamiento diferencial de la biomasa entre los tratamientos. El tratamiento conformado por 25 % de miel y 75 % de panela orgánica presentó una mayor estabilidad durante los 25 días de evaluación, manteniendo valores de biomasa superiores a los registrados en el tratamiento con 50 % de miel y 50 % de panela orgánica.

Figura 8

Comportamiento de la Biomasa del Kéfir de Agua Durante el Proceso de Adaptación a Diferentes Concentraciones de Miel.



Nota. Línea azul sustrato 25% miel y 75% panela orgánica. Línea naranja sustrato 50% miel y 50% panela orgánica.

La evolución de la biomasa evidenció que el tratamiento con menor concentración de miel favoreció la conservación del consorcio microbiano, mientras que el tratamiento con mayor proporción de miel mostró una disminución progresiva de la biomasa a lo largo del periodo experimental. Estos resultados permitieron seleccionar la formulación con 25 % de miel y 75 % de panela orgánica para la elaboración y caracterización del bioproducto fermentado.

El comportamiento observado sugiere que la combinación de miel y panela proporcionó condiciones adecuadas para la adaptación del kéfir, favoreciendo la disponibilidad de carbohidratos fermentables requeridos para la actividad metabólica de los microorganismos. Resultados similares han sido reportados por Fiorda et al. (2017), quienes encontraron que la incorporación de miel en bebidas fermentadas a base de kéfir puede favorecer el desarrollo del

consorcio microbiano cuando se emplean concentraciones adecuadas. Asimismo, Laureys y De Vuyst (2014) señalan que la composición del sustrato influye directamente sobre el crecimiento y estabilidad de las comunidades microbianas presentes en los granos de kéfir.

Aunque ambos tratamientos permitieron la adaptación inicial del cultivo, la formulación con menor proporción de miel presentó una mayor estabilidad de la biomasa, lo que sugiere una mejor compatibilidad entre el consorcio microbiano y las condiciones nutricionales del medio fermentativo empleado.

Adicionalmente, la miel contiene compuestos fenólicos, flavonoides y enzimas con reconocida actividad antimicrobiana, los cuales pueden afectar parcialmente la viabilidad de algunas poblaciones microbianas presentes en el kéfir. Pasupuleti et al. (2017) señalaron que la actividad inhibitoria de la miel depende de factores como el origen botánico, el contenido fenólico, la concentración de azúcares y la presencia de peróxido de hidrógeno, pudiendo limitar el crecimiento microbiano en determinadas condiciones.

A pesar de la reducción general de biomasa, el tratamiento con 25 % de miel mantuvo una mayor estabilidad durante el ensayo, conservando aproximadamente el 60 % de la biomasa inicial al finalizar el periodo experimental. Este resultado indica una mejor capacidad de adaptación del consorcio microbiano en condiciones de menor concentración de miel, lo cual podría favorecer procesos fermentativos más estables y sostenibles para el desarrollo de bebidas funcionales.

Desde el punto de vista biotecnológico, estos hallazgos son relevantes debido a que demuestran la necesidad de implementar estrategias de adaptación progresiva del cultivo cuando se emplea miel como fuente principal de carbono. La aclimatación gradual permite reducir el estrés metabólico y mejorar la tolerancia de los microorganismos frente a las propiedades

inhibitorias del sustrato, favoreciendo la estabilidad fermentativa y la viabilidad celular (Laureys & De Vuyst, 2014).

Finalmente, los resultados obtenidos evidencian que la miel posee un importante potencial como ingrediente funcional y complemento nutricional en bebidas fermentadas a base de kéfir en agua, debido a su contenido de azúcares simples, compuestos fenólicos, minerales y sustancias antioxidantes (Bogdanov et al., 2008; Pasupuleti et al., 2017). Sin embargo, los hallazgos sugieren que resulta complejo utilizarla como único sustrato fermentativo para el desarrollo del consorcio microbiano del kéfir, especialmente en concentraciones elevadas, debido a sus propiedades antimicrobianas naturales y a la alta presión osmótica que ejerce sobre los microorganismos. Diversos estudios han demostrado que la miel presenta actividad inhibitoria asociada a la presencia de peróxido de hidrógeno, flavonoides, compuestos fenólicos y baja actividad de agua, factores que limitan el crecimiento de ciertas bacterias y levaduras fermentativas (Snowdon & Cliver, 1996; Pasupuleti et al., 2017). En este sentido, la combinación de miel con otras fuentes de carbohidratos, como panela o sacarosa, podría favorecer una mejor adaptación microbiana y una fermentación más estable, permitiendo aprovechar simultáneamente las propiedades funcionales de la miel y la actividad probiótica del kéfir.

Análisis Estadístico de la Biomasa de la Adaptación del Kéfir a la Miel

Con el fin de evaluar el comportamiento de la biomasa del kéfir de agua durante el proceso de adaptación a diferentes concentraciones de miel, se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA), utilizando un nivel de significancia de $p < 0.05$. El análisis permitió comparar estadísticamente los tratamientos evaluados: 25 % miel + 75 % panela orgánica y 50 % miel + 50 % panela orgánica.

Tabla 5*Resumen Estadístico por Repetición.*

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
25% Miel	25	408,7	16,348	3,31343333
	25	412	16,48	1,59333333
	25	350	14	1,08333333
50% Miel	25	259,6	10,384	22,2080667
	25	214	8,56	15,84
	25	202	8,08	14,2433333

Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($F = 37.17$; $p = 2.44882E-24$), indicando que la concentración de miel influyó directamente sobre la estabilidad y comportamiento de la biomasa del kéfir de agua.

Tabla 6*Resultados del ANOVA.*

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1805,382733	5	361,0765467	37,172 3322	2,44882E -24	2,277043675
Dentro de los grupos	1398,756	144	9,713583333			
Total	3204,138733	149				

Los mayores valores promedio de biomasa se registraron en el tratamiento con 25 % de miel y 75 % de panela orgánica, mientras que el tratamiento con 50 % de miel y 50 % de panela orgánica presentó una reducción significativa de la biomasa durante el proceso de adaptación. Estos resultados sugieren que concentraciones elevadas de miel pueden generar condiciones menos favorables para el desarrollo del consorcio microbiano, posiblemente asociadas al incremento de la presión osmótica y a la presencia de compuestos bioactivos con actividad antimicrobiana reportados en la literatura (Pasupuleti et al., 2017; Fiorda et al., 2017).

Los hallazgos obtenidos confirman que la formulación con 25 % de miel proporcionó mejores condiciones para la adaptación y estabilidad del kéfir de agua, constituyéndose en la alternativa más adecuada para la producción del bioproducto fermentado.

En términos generales, el tratamiento con menor concentración de miel presentó una mejor adaptación fermentativa, mayor estabilidad de biomasa y mejores condiciones para el desarrollo del bioproducto funcional fermentado.

Caracterización de Bioproducto Fermentado

Con base en los resultados obtenidos durante la fase de adaptación del kéfir de agua, el tratamiento compuesto por 25 % de miel de abejas y 75 % de panela orgánica fue seleccionado para la caracterización fisicoquímica, y sensorial del bioproducto fermentado. Esta formulación presentó una mayor estabilidad de biomasa durante los 25 días de evaluación y diferencias estadísticamente significativas respecto al tratamiento con 50 % de miel ($p < 0.05$), evidenciando mejores condiciones para el crecimiento y mantenimiento del consorcio microbiano.

La mayor estabilidad observada podría atribuirse a una relación más favorable entre la disponibilidad de azúcares fermentables provenientes de la panela y la concentración de compuestos bioactivos presentes en la miel. Aunque la miel aporta compuestos fenólicos, antioxidantes y sustancias con actividad antimicrobiana, concentraciones elevadas pueden generar condiciones de estrés osmótico que afectan parcialmente la actividad metabólica de los microorganismos fermentativos. En consecuencia, la formulación con 25 % de miel permitió obtener un equilibrio adecuado entre funcionalidad, estabilidad fermentativa y potencial tecnológico para el desarrollo de la bebida funcional.

Tabla 7*Resultados de la Caracterización de Bioproducto Fermentado.*

<i>Ítem Evaluado</i>	<i>Parámetros de referencia</i>	<i>Replica 1</i>	<i>Replica 2</i>	<i>Replica 3</i>
pH	3.2 – 4.5	3.5	3.4	3.5
Humedad (%)	≤ 20 %	19%	19,5%	20%
Acidez (mEq/Kg)	≥ 30mEq / Kg	31mEq / Kg	31mEq / Kg	33mEq / Kg
Solidos Solubles (°Brix)	Disminución 20 - 40 °Brix	30 °Brix	29 °Brix	30 °Brix
Fructosa/ Glucosa	≥ 15 %	38%	38%	38%
Cumple	Si	Si	Si	Si

Las pruebas de caracterización fisicoquímica del bioproducto se enfocaron principalmente en parámetros como pH, °Brix y acidez titulable, considerados indicadores fundamentales de la actividad fermentativa en bebidas tipo kéfir. La disminución de los °Brix durante la fermentación evidenció el consumo de azúcares por parte de los microorganismos, mientras que la reducción del pH y el incremento de la acidez titulable reflejaron la producción de ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico y ácido acético, derivados del metabolismo de bacterias ácido-lácticas y levaduras (Laureys & De Vuyst, 2014).

Adicionalmente, la sustitución parcial de sacarosa por miel pudo contribuir al enriquecimiento funcional del bioproducto fermentado debido al aporte de compuestos fenólicos y antioxidantes propios de la miel, los cuales han sido asociados con actividad antioxidante y potencial nutraceutico (Bogdanov et al., 2008; da Silva et al., 2016). Estudios recientes indican que formulaciones de kéfir de agua suplementadas con miel pueden modificar positivamente la dinámica fermentativa y mejorar el perfil funcional de la bebida, particularmente cuando se emplean concentraciones moderadas de miel.

En consecuencia, los resultados obtenidos sugieren que la formulación basada en 25 % de miel y 75 % de panela orgánica representa una alternativa viable para el desarrollo de bebidas fermentadas funcionales, permitiendo mantener la estabilidad microbiológica del kéfir y aprovechar simultáneamente las propiedades bioactivas de la miel de abejas.

Adicionalmente, no existe una normativa específica en Colombia para bebidas fermentadas a base de miel y kéfir de agua, por lo que los parámetros de referencia empleados para la caracterización fisicoquímica del bioproducto se establecieron con base en literatura científica relacionada con bebidas fermentadas probióticas y productos derivados del kéfir.

En este sentido, se consideraron como rangos adecuados valores de pH entre 3.5 y 4.5, acidez titulable entre 30 y 80 mEq/L y una disminución parcial de sólidos solubles como evidencia de actividad fermentativa (Laureys & De Vuyst, 2014; Randazzo et al., 2016). Asimismo, el comportamiento de fructosa y glucosa fue interpretado como indicador del metabolismo microbiano durante el proceso fermentativo.

Figura 9

Componentes Visibles del Sistema De Fermentación de Kéfir de Agua como Bioproducto.



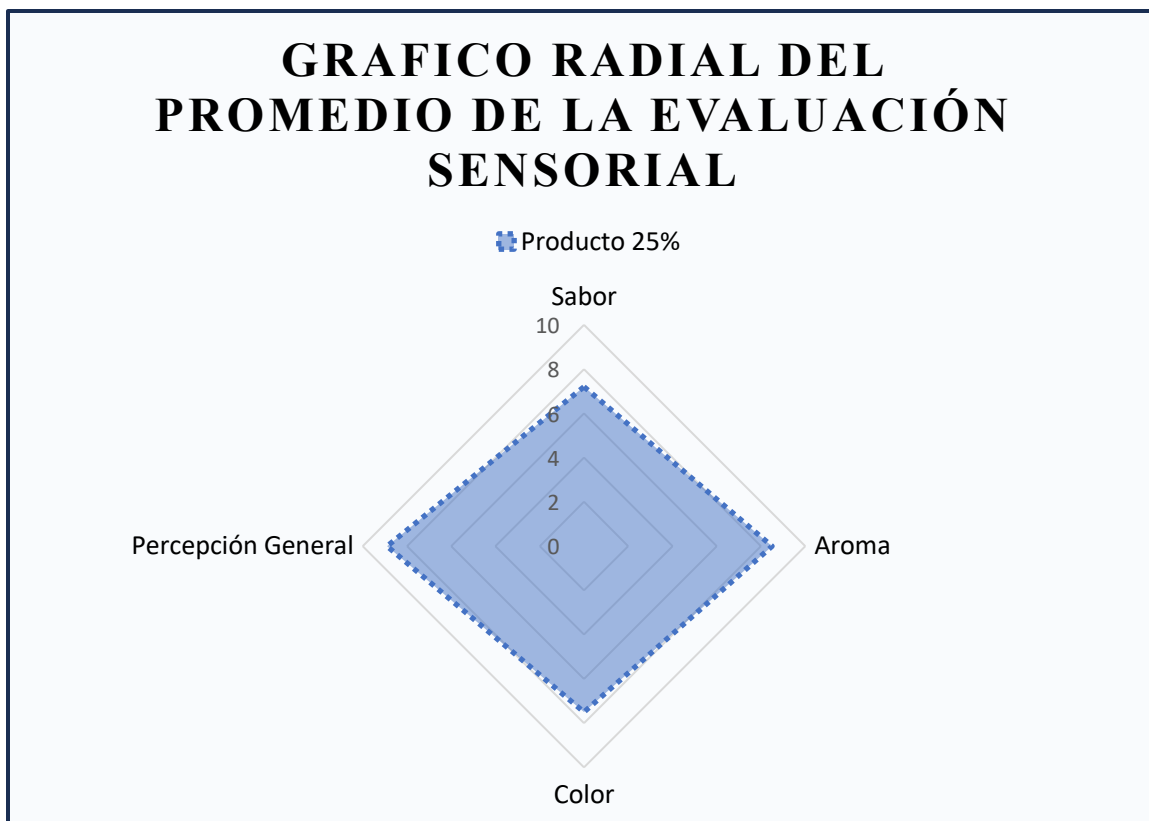
Obtenido de. *Autoría Propia*

Evaluación Sensorial

La evaluación sensorial del bioproducto fermentado elaborado con 25 % de miel de abejas y 75 % de panela orgánica permitió identificar las principales características organolépticas asociadas a la fermentación con kéfir de agua. Durante el análisis sensorial, los evaluadores no entrenados reportaron una bebida con apariencia ligeramente turbia y presencia moderada de efervescencia, atributos característicos de bebidas fermentadas por acción conjunta de bacterias ácido-lácticas y levaduras.

Figura 10

Promedio de la Evaluación Sensorial de Panelistas. Producto 25%: con 75% de Panela Orgánica y 25% de Miel. Producto 50%: con 50% Panela Orgánica y 50% de Miel.



La evaluación sensorial del bioproducto fermentado elaborado con 25 % de miel de abejas y 75 % de panela orgánica permitió identificar las principales características organolépticas asociadas a la fermentación con kéfir de agua. Los 20 panelistas no entrenados utilizando el método de la Escala Hedónica de 9 puntos, describieron una bebida ligeramente turbia, con efervescencia moderada y notas aromáticas ácidas y frutales, características típicas de bebidas fermentadas por bacterias ácido-lácticas y levaduras.

El color ámbar claro fue asociado por los participantes con la presencia de miel y panela, ingredientes percibidos como naturales y mínimamente procesados. En cuanto al aroma, se identificaron notas ligeramente ácidas y frutales derivadas de la producción de compuestos

volátiles durante la fermentación. Respecto al sabor, los evaluadores percibieron un equilibrio entre dulzor y acidez, resultado del consumo parcial de azúcares por los microorganismos y la formación de metabolitos fermentativos. Estas características coinciden con lo reportado para bebidas fermentadas elaboradas con kéfir de agua y sustratos ricos en azúcares naturales (Fiorda et al., 2017).

En términos de aceptabilidad general, la formulación con 25 % de miel presentó una buena respuesta sensorial debido a la combinación de atributos dulces, ácidos y aromáticos, así como a la percepción de un producto natural y funcional. Estos resultados coinciden con investigaciones previas que reportan que la incorporación moderada de miel en bebidas fermentadas puede mejorar las propiedades sensoriales y aumentar la aceptación del consumidor, gracias al aporte de compuestos aromáticos y bioactivos propios de la miel (Fiorda et al., 2017; da Silva et al., 2016).

Los resultados de la escala hedónica mostraron una valoración favorable del producto, destacándose el aroma (8.5) y la percepción global (8.1) como los atributos con mayor aceptación. El sabor obtuvo una calificación promedio de 7.2, mientras que el color registró el valor más bajo (6.0), posiblemente debido a la turbidez característica del proceso fermentativo. No obstante, todos los atributos se ubicaron dentro de rangos de aceptación positiva por parte de los consumidores.

En conjunto, los resultados sensoriales evidencian que la bebida fermentada desarrollada presenta características organolépticas aceptables y potencial para su incorporación dentro del mercado de alimentos funcionales. La combinación de miel de abejas, panela orgánica y fermentación con kéfir de agua permitió obtener un producto innovador con atributos sensoriales

favorables y posibilidades de aprovechamiento para el fortalecimiento de la cadena apícola regional.

Conclusiones

La caracterización fisicoquímica de las muestras de miel producidas en el municipio de Campoalegre (Huila) evidenció que estas cumplen con los parámetros de calidad establecidos por la Norma Técnica Colombiana NTC 1273:2023 y el Codex Alimentarius, especialmente en variables como pH, humedad, acidez y contenido de azúcares reductores. Estos resultados confirman que la miel evaluada presenta condiciones adecuadas de estabilidad, autenticidad e inocuidad, coincidiendo con lo reportado por Bogdanov et al. (2008), quienes describen que mieles de alta calidad presentan contenidos de humedad inferiores al 20 % y elevada proporción de fructosa y glucosa.

Los análisis microbiológicos demostraron una baja carga microbiana y ausencia de coliformes, enterobacterias y mohos, lo que indica adecuadas condiciones higiénicas durante la producción y manejo de la miel. Asimismo, las propiedades fisicoquímicas propias de la miel, como la baja actividad de agua y el pH ácido, contribuyeron a limitar la proliferación de microorganismos contaminantes, en concordancia con lo descrito por Snowdon y Cliver (1996).

El proceso de adaptación del kéfir de agua evidenció que el consorcio microbiano requiere un periodo progresivo de aclimatación para mantener su estabilidad metabólica cuando se emplea miel como fuente de carbono. Se observó que concentraciones elevadas de miel generaron una reducción significativa de la biomasa de los tibicos, debido al efecto osmótico y a la actividad antimicrobiana natural de la miel, aspectos reportados previamente por Laureys y De Vuyst (2014) y Pasupuleti et al. (2017). En este sentido, la formulación con 25 % de miel y 75 % de panela orgánica presentó las mejores condiciones de adaptación y estabilidad fermentativa.

La fermentación realizada con kéfir de agua permitió obtener un bioproducto con características fisicoquímicas compatibles con bebidas fermentadas funcionales, evidenciadas

por la disminución de sólidos solubles, reducción del pH e incremento de la acidez titulable, como resultado de la actividad metabólica de bacterias ácido-lácticas y levaduras presentes en el consorcio microbiano. Estos cambios confirman la viabilidad del uso de miel como ingrediente funcional complementario en procesos fermentativos destinados al desarrollo de bebidas con valor agregado.

La evaluación sensorial mostró una aceptabilidad favorable del bioproducto fermentado, especialmente en atributos como aroma y percepción global del producto. Los panelistas identificaron características asociadas a bebidas naturales y refrescantes, con equilibrio entre dulzor y acidez, lo que evidencia el potencial de aceptación comercial de este tipo de formulaciones. Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que señalan que la incorporación moderada de miel mejora las propiedades organolépticas y funcionales de bebidas fermentadas (Fiorda et al., 2017; da Silva et al., 2016).

Desde el enfoque de la biotecnología alimentaria, esta investigación permitió demostrar que la miel producida en el departamento del Huila posee potencial para ser aprovechada en procesos fermentativos orientados al desarrollo de bebidas funcionales. La combinación de miel y kéfir de agua representa una estrategia innovadora para generar productos con valor agregado, contribuyendo al fortalecimiento de la apicultura regional, la diversificación productiva y el aprovechamiento sostenible de recursos naturales con potencial nutracéutico y funcional.

Impacto

Impacto Social

La presente investigación contribuye al fortalecimiento social y productivo de las comunidades apícolas del municipio de Campoalegre (Huila), al promover alternativas de diversificación de la miel mediante herramientas de biotecnología alimentaria. La innovación en productos constituye un factor determinante para mejorar la competitividad y sostenibilidad de pequeñas organizaciones productivas rurales, especialmente en sectores con limitado acceso a procesos tecnológicos (Quiroga-Parra et al., 2014).

El desarrollo de bebidas funcionales fermentadas representa una oportunidad para que pequeños y medianos apicultores amplíen su portafolio de productos y accedan a mercados especializados con mayor valor agregado, respondiendo a las tendencias actuales de consumo de alimentos naturales y funcionales (Granato et al., 2020). Asimismo, la transferencia de conocimientos relacionados con fermentación, inocuidad y transformación alimentaria favorece el fortalecimiento de capacidades técnicas en los productores locales y promueve procesos de apropiación social del conocimiento.

Adicionalmente, la apicultura posee un importante componente social debido a su capacidad de generar ingresos complementarios para familias rurales y contribuir a la seguridad alimentaria regional (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023). En este sentido, el aprovechamiento biotecnológico de la miel puede incentivar el emprendimiento rural y fortalecer las asociaciones apícolas mediante el desarrollo de productos diferenciados con potencial comercial.

Impacto Ambiental

El proyecto promueve el aprovechamiento sostenible de recursos apícolas mediante la generación de productos con valor agregado a partir de la miel de abejas, incentivando prácticas apícolas responsables y compatibles con la conservación ambiental. Las abejas desempeñan un papel esencial en la polinización de aproximadamente el 75 % de los cultivos destinados al consumo humano, siendo fundamentales para la conservación de la biodiversidad y la estabilidad de los ecosistemas (FAO, 2021).

El fortalecimiento económico del sector apícola puede contribuir indirectamente a la protección de las poblaciones de abejas, debido a que genera mayor interés en la conservación de hábitats naturales y en la implementación de prácticas agrícolas sostenibles. Potts et al. (2010) reportan que la disminución de colonias de abejas representa una amenaza significativa para la productividad agrícola y los servicios ecosistémicos asociados a la polinización.

Asimismo, el empleo de procesos fermentativos biotecnológicos representa una alternativa de transformación con bajo impacto ambiental, debido a que utiliza materias primas naturales y requiere menores niveles de procesamiento industrial en comparación con otros productos alimentarios altamente transformados. El uso de miel y panela como fuentes de carbono favorece el aprovechamiento de recursos naturales regionales y minimiza la incorporación de aditivos sintéticos en el producto final.

Impacto Económico

Desde el punto de vista económico, esta investigación representa una alternativa para incrementar la competitividad del sector apícola regional mediante el desarrollo de productos innovadores y diferenciados. La incorporación de valor agregado en productos apícolas permite ampliar las oportunidades de comercialización y mejorar la rentabilidad de los productores,

especialmente en mercados enfocados en alimentos funcionales y naturales (Salgado-Sánchez et al., 2023).

La transformación de la miel en bebidas fermentadas funcionales puede aumentar significativamente el valor comercial del producto en comparación con su comercialización en estado natural, permitiendo acceder a nichos de mercado relacionados con bebidas probióticas y productos nutracéuticos. La innovación en productos derivados de la apicultura constituye una estrategia clave para fortalecer la competitividad del sector apícola colombiano (Granato et al., 2020).

Adicionalmente, el desarrollo de este tipo de bioproductos puede incentivar la creación de microempresas rurales y fortalecer cadenas productivas asociadas a la transformación alimentaria, comercialización y distribución de productos funcionales. Esto puede generar nuevas fuentes de empleo y dinamizar la economía local mediante procesos de innovación y emprendimiento rural.

Otros Impactos

En el ámbito científico y académico, esta investigación aporta información relevante sobre el comportamiento fermentativo de la miel de abejas como sustrato en sistemas de kéfir de agua, contribuyendo al desarrollo de conocimiento aplicado en biotecnología alimentaria. Los resultados obtenidos permiten ampliar la comprensión sobre la interacción entre compuestos bioactivos de la miel y microorganismos fermentativos, aspecto reportado como de interés en estudios relacionados con alimentos funcionales y fermentaciones probióticas (Laureys & De Vuyst, 2014; Prado et al., 2015).

Asimismo, el estudio fortalece la articulación entre investigación científica y desarrollo regional, promoviendo la aplicación de herramientas biotecnológicas orientadas al

aprovechamiento sostenible de recursos naturales. Desde el punto de vista tecnológico, la investigación establece bases para futuras líneas de trabajo relacionadas con optimización de fermentaciones, evaluación de actividad antioxidante, desarrollo de bebidas funcionales y aprovechamiento de mieles diferenciadas por origen botánico o geográfico.

Finalmente, la investigación contribuye al fortalecimiento de la biotecnología alimentaria aplicada a productos apícolas, alineándose con las tendencias internacionales de desarrollo de alimentos funcionales, sostenibles y con potencial nutracéutico (Pasupuleti et al., 2017; Granato et al., 2020).

Recomendaciones

Se recomienda profundizar en estudios relacionados con la caracterización microbiológica y molecular del consorcio microbiano presente en el kéfir de agua utilizado durante la fermentación, con el fin de identificar las especies predominantes de bacterias ácido-lácticas y levaduras involucradas en el proceso fermentativo. Diversos autores han señalado que la composición microbiológica del kéfir puede influir significativamente en las propiedades funcionales, sensoriales y probióticas del producto final (Laureys & De Vuyst, 2014; Prado et al., 2015).

Para futuras investigaciones, se sugiere evaluar diferentes concentraciones de miel y tiempos de fermentación, con el propósito de optimizar las condiciones del proceso y mejorar la estabilidad microbiológica y sensorial del bioproducto. Los resultados obtenidos en esta investigación evidenciaron que concentraciones elevadas de miel pueden generar efectos inhibitorios sobre el crecimiento del kéfir debido a la presión osmótica y a la presencia de compuestos antimicrobianos naturales, tal como lo reportan Snowdon y Cliver (1996) y Pasupuleti et al. (2017).

Asimismo, se recomienda complementar la caracterización funcional del bioproducto mediante análisis cuantitativos de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y viabilidad probiótica durante el almacenamiento, con el fin de validar científicamente su potencial como bebida funcional. Estudios previos han demostrado que la fermentación puede modificar positivamente la biodisponibilidad de compuestos bioactivos y mejorar las propiedades antioxidantes de bebidas fermentadas a base de miel y kéfir (da Silva et al., 2016; Fiorda et al., 2017).

Desde el punto de vista tecnológico, se recomienda evaluar la estabilidad fisicoquímica y microbiológica del producto durante diferentes periodos y condiciones de almacenamiento, considerando variables como temperatura, carbonatación, pH y supervivencia microbiana. Esto permitiría establecer parámetros de vida útil e inocuidad para una posible aplicación comercial del bioproducto.

También se sugiere desarrollar estudios de aceptación sensorial con un mayor número de consumidores y diferentes segmentos poblacionales, con el propósito de validar el potencial de mercado de la bebida fermentada y determinar preferencias relacionadas con sabor, aroma, dulzor y nivel de acidez. Según Meilgaard et al. (2006), las pruebas sensoriales ampliadas permiten obtener información más representativa sobre la aceptación del consumidor y el posicionamiento potencial de nuevos alimentos funcionales.

Adicionalmente, sería importante investigar el comportamiento fermentativo de mieles provenientes de diferentes orígenes botánicos y especies de abejas, incluyendo mieles de abejas nativas sin aguijón, debido a que la composición fisicoquímica y el contenido de compuestos bioactivos pueden variar significativamente según el origen floral y geográfico (Bogdanov et al., 2008; González Nates, 2023).

Finalmente, se recomienda fortalecer los procesos de transferencia tecnológica y capacitación dirigidos a asociaciones apícolas y pequeños productores, con el fin de promover la implementación de procesos biotecnológicos orientados a la generación de productos con valor agregado. Esto podría contribuir al fortalecimiento económico del sector apícola regional y al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales disponibles en el departamento del Huila.

Referencias Bibliográficas

- Alba Fernández, M. (2005). Muestreo estadístico (Caps. 1–3). Septem Editions. <https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/35263?page=9>
- AOAC International. (2020). Official methods of analysis of AOAC International (21st ed.). AOAC International.
- Becerra Torrejón, D. J., Cabrera Ureña, J. C., & Solano, M. (2016). Efecto antibacteriano de la miel de abeja en diferentes concentraciones frente a *Staphylococcus aureus*. *Revista Científica de Ciencias Médicas*, 19(2), 38–42.
- Bogdanov, S., Ruoff, K., & Oddo, L. P. (2004). Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: A review. *Apidologie*, 35(S1), S4–S17. <https://doi.org/10.1051/apido:2004047>
- Bogdanov, S., Sancho, M. T., & Lüllmann, C. (2008). Honey quality and international regulatory standards: Review by the International Honey Commission. *Bee World*, 89(3), 66–75. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2008.11097604>
- Borda, M. (2013). El proceso de investigación: Visión general de su desarrollo. Universidad del Norte. <https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/69882>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Codex Alimentarius Commission. (2001). Codex standard for honey (CODEX STAN 12-1981, Rev. 2001). FAO/WHO.

- Cauich Kumul, R., Ruiz Ruiz, J. C., Ortíz Vázquez, E., & Segura Campos, M. R. (2015). Potencial antioxidante de la miel de *Melipona beecheii* y su relación con la salud: una revisión. *Nutrición Hospitalaria*, 32(4), 1432–1442.
- da Silva, R. C., Almeida-Lopes, A. C., & Vanetti, M. C. D. (2016). Honey supplementation in fermented beverages: Effects on antioxidant and sensory properties. *Food Research International*, 89, 610–617.
- Diario del Huila. (2023). Huila constituirá la cadena apícola.
- FAO. (2021). The importance of bees and pollination for food production. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fernández, M. A. (2005). Muestreo estadístico. Septem Ediciones.
- Fiorda, F. A., de Melo Pereira, G. V., Thomaz-Soccol, V., Rakshit, S. K., Pagnoncelli, M. G. B., Vandenberghe, L. P. S., & Soccol, C. R. (2017). Development of kefir-based probiotic beverages with DNA protection and antioxidant activities using honey and beetroot. *LWT - Food Science and Technology*, 75, 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.005>
- Gobernación del Huila. (2022). Con proyecto apícola, gobierno “Huila Crece”.
- González Nates, G. R. (2023). Cría y manejo de las abejas sin aguijón: Angelitas. Red Local de Educación.
- Grajales-Conesa, J., Ibarias-Toledo, C., Ruíz-Toledo, J., & Sánchez, D. (2018). Mieles de abejas sin aguijón en el tratamiento de úlceras de pie diabético. *Salud Pública de México*, 60(1), 102–104.

- Granato, D., Nunes, D. S., & Barba, F. J. (2020). An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of functional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 13–22.
- Gueimonde, M., Delgado, S., Mayo, B., Ruas-Madiedo, P., Margolles, A., & de los Reyes-Gavilán, C. G. (2004). Viability and diversity of probiotic *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* populations included in commercial fermented milks. *Food Research International*, 37(9), 839–850. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.04.006>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., ... & Sanders, M. E. (2014). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 11(8), 506–514.
- Laureys, D., & De Vuyst, L. (2014). Microbial species diversity, community dynamics, and metabolite kinetics of water kefir fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(8), 2564–2572. <https://doi.org/10.1128/AEM.03978-13>
- Marsh, A. J., O’Sullivan, O., Hill, C., Ross, R. P., & Cotter, P. D. (2013). Sequence-based analysis of the bacterial and fungal compositions of multiple kombucha samples. *Food Microbiology*, 38, 171–178.
- Meilgaard, M., Civille, G. V., & Carr, B. T. (2006). *Sensory evaluation techniques* (4th ed.). CRC Press.

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). Cifras de producción y comercialización apícola en Colombia.
- NTC 1273. (2023). Miel de abejas. Requisitos. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- Pasupuleti, V. R., Sammugam, L., Ramesh, N., & Gan, S. H. (2017). Honey, propolis, and royal jelly: A comprehensive review of their biological actions and health benefits. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, 1259510. <https://doi.org/10.1155/2017/1259510>
- Prado, M. R., Blandón, L. M., Vandenberghe, L. P. S., Rodrigues, C., Castro, G. R., Thomaz-Soccol, V., & Soccol, C. R. (2015). Milk kefir: Composition, microbial cultures, biological activities, and related products. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1177. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01177>
- Quiroga-Parra, D., Hernández, B., Torrent-Sellens, J., & Ramírez, J. F. (2014). Innovación de productos en empresas de América Latina. *Cuadernos del CENDES*, 31(87), 63–87.
- Salgado-Sánchez, L., et al. (2023). Incorporación de valor agregado a los productos apícolas en Guerrero. *Agro-Divulgación*, 3(3), 11–15.
- Snowdon, J. A., & Cliver, D. O. (1996). Microorganisms in honey. *International Journal of Food Microbiology*, 31(1–3), 1–26. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(96\)00970-1](https://doi.org/10.1016/0168-1605(96)00970-1)
- Steinkraus, K. H. (1996). *Handbook of indigenous fermented foods* (2nd ed.). Marcel Dekker.
- Vázquez, R. P., Herrera, C., & Morales, M. (2021). Probiotics in apiculture: Improving bee health and honey quality. *Journal of Applied Microbiology*, 130(1), 45–55.