UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Caracterización de bebidas fermentadas tipo kombucha elaboradas con mashua (*Tropaeolum tuberosum*) variedad amarilla y variedad morada

---

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Propuesta Tecnológica, previo la obtención del 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: Melanie Dayana Manobanda Jerez

Tutora: Mg. Andrea Verónica Delgado Ramos

Ambato – Ecuador

Enero - 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

Mg. Andrea Verónica Delgado Ramos.

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, 11 de diciembre de 2025



Mg. Andrea Verónica Delgado Ramos

0401305008

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Melanie Dayana Manobanda Jerez, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, 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.



Melanie Dayana Manobanda Jerez

1850596311

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga 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.



Melanie Dayana Manobanda Jerez

1850596311

AUTORA

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 de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:



Presidente del Tribunal



Dr. Carlos Santiago Moreno Miranda

1804285342



Mg. María Daniela Garcés Moncayo

1803571585

Ambato, 06 de enero de 2026.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación, en primer lugar,
a Dios y la Virgen de Guadalupe, por concederme
la fortaleza y la claridad necesarias para culminar esta tesis.
A mis padres, Natalia y Washington, por su apoyo incondicional
y por acompañarme en cada etapa de este proceso.
A mis abuelitos, Lupe y José, por su cariño constante
y por estar siempre pendientes de mí.
A mi novio, Xavier, por sus palabras de aliento en los
momentos más difíciles, por motivarme a continuar
a pesar de los obstáculos, por su paciencia cuando el estrés
me sobrepasaba y por ayudarme a creer en mí misma.

AGRADECIMIENTO

Agradezco, en primer lugar, a Dios y a la Virgen de Guadalupe por darme la fe y la fortaleza necesarias para superar cada una de las dificultades que surgieron durante el desarrollo de este proyecto. Extiendo mi gratitud a mis padres y a mis abuelitos, quienes han sido una guía constante a lo largo de mi vida universitaria, siempre atentos a mis necesidades y dispuestos a brindarme apoyo en los momentos más desafiantes.

Agradezco profundamente a mi novio por su presencia incondicional, por estar a mi lado cuando más lo necesitaba, por ofrecerme un abrazo de aliento en los días difíciles y por darme la motivación para continuar cumpliendo con mis responsabilidades.

Finalmente, agradezco a mis amigos de los últimos semestres, Sebastián, Damaris, Peter y Johan por regalarme sonrisas y apoyo en situaciones complicadas, y por llegar a mi vida en un momento difícil, convirtiéndose en una luz que aportó alegría y compañía.

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 x

ÍNDICE DE FIGURAS xi

ÍNDICE DE ECUACIONES xii

ÍNDICE DE ANEXOS xiii

RESUMEN EJECUTIVO xiv

ABSTRACT xv

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1

1.1 Antecedentes investigativos 1

1.1.1 Cultivos andinos 1

1.1.2 Bebidas fermentadas 3

1.1.3 Kombucha: origen y beneficios 5

1.1.4 Análogos de kombucha: uso de diversos sustratos 7

1.2 Objetivos 8

1.2.1 Objetivo general 8

1.2.2 Objetivos específicos 8

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 9

2.1 Materiales 9

2.2 Métodos 10

2.2.1 Enfoque de la investigación 10

2.2.2 Elaboración de diferentes formulaciones de bebidas tipo kombucha a partir de mashua variedad amarilla y variedad morada, utilizando un inóculo adaptado de SCOBY. 10

2.2.3 Evaluación de la aceptabilidad sensorial de las bebidas fermentadas elaboradas para el reconocimiento de la mejor formulación 14

2.2.4 Análisis de las características físicoquímicas y microbiológicas de la mejor bebida fermentada.....15

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....18

3.1 Análisis y discusión de resultados.....18

3.1.1 Elaboración diferentes formulaciones de bebidas tipo kombucha a partir de mashua variedad amarilla y variedad morada, utilizando un inóculo adaptado de SCOBY.....18

3.1.2 Evaluación de la aceptabilidad sensorial de las bebidas fermentadas elaboradas para el reconocimiento de la mejor formulación.....24

3.1.3 Análisis de las características físicoquímicas y microbiológicas de la mejor bebida fermentada.....28

3.1.4 Análisis microbiológicos de las mejores muestras.....30

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....32

4.1 Conclusiones.....32

4.2 Recomendaciones.....33

MATERIAL DE REFERENCIA.....34

ANEXOS.....38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición nutricional de mashua de variedad morada (Muru-añu) y variedad amarilla (Ckello-añu). 2
Tabla 2 Fenoles totales de mashua de variedad morada (Muru-añu) y variedad amarilla (Ckello-añu).3
Tabla 3 Clasificación de bebidas fermentadas. 4
Tabla 4 Materiales de laboratorio, reactivos y equipos utilizados en la investigación. 9
Tabla 5 Formulaciones de bebidas tipo kombucha con mashua variedad amarilla y morada. 11
Tabla 6 Análisis microbiológicos requeridos para kombucha. 17
Tabla 7 Estadísticos descriptivos, prueba de Friedman Y Wilcoxon de cuatro atributos evaluados en bebidas tipo kombucha. 25
Tabla 8 Datos registrados de las dos mejores muestras del grupo de bebidas amarillas y moradas.....29
Tabla 9 Azúcares totales por inversión (g/L) de mejores bebidas fermentadas.....30
Tabla 10 Polifenoles totales de mejores bebidas fermentadas. 30
Tabla 11 Resultados microbiológicos de los mejores tratamientos. 31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo para elaboración de inóculo adaptado de mashua. 12
Figura 2. Diagrama de flujo de la elaboración de bebidas tipo kombucha. 13
Figura 3. Evolución de pH durante 21 días de inóculo adaptado a mashua. 19
Figura 4. Evolución de ºBrix durante 21 días de inóculo adaptado a mashua. 20
Figura 5. Evolución de acidez durante 21 días de inóculo adaptado a mashua. 21
Figura 6. Evolución de pH durante 7 días de fermentación de bebidas. 22
Figura 7. Evolución de ºBrix durante 7 días de fermentación de bebidas. 23
Figura 8. Evolución de acidez durante 7 días de fermentación de bebidas. 24
Figura 9. Gráfico radial del perfil sensorial de bebidas tipo kombucha. 28

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....15
Ecuación 2.....16

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Curva estándar de ácido gálico.....38
ANEXO 2. Tabla de pH de inóculo adaptado por 21 días. 38
ANEXO 3. Tabla de ºBrix de inóculo adaptado por 21 días. 40
ANEXO 4. Tabla de acidez de inóculo adaptado por 21 días. 41
ANEXO 5. Tabla de pH de bebidas tipo kombucha.....42
ANEXO 6. Tabla de ºBrix de bebidas tipo kombucha. 42
ANEXO 7. Tabla de acidez de bebidas tipo kombucha. 42
ANEXO 8. Modelo de hoja de evaluación de aceptabilidad de las bebidas. 43
ANEXO 9. Modelo de hoja de evaluación de perfil sensorial de las bebidas.....44
ANEXO 10. Troceado de mashua. 45
ANEXO 11. Cocción de mashua. 45
ANEXO 12. Inóculos adaptados a cada variedad de mashua. 46
ANEXO 13. Fermentación de inóculos adaptados a mashua.....46
ANEXO 14. Elaboración de tratamientos por duplicado. 46
ANEXO 15. Evaluación sensorial. 47
ANEXO 16. Análisis de acidez titulable. 47
ANEXO 17. Análisis de grado alcohólico. 47
ANEXO 18. Análisis microbiológicos de las mejores muestras. 48
ANEXO 19. Tablas de gramos de alcohol por gravedad específica 20ºC/20ºC.....49

RESUMEN EJECUTIVO

El consumo creciente de bebidas ultraprocesadas ha impulsado la búsqueda de alternativas fermentadas; sin embargo, hay poca información sobre el uso de tubérculos andinos como la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en kombucha y sobre reducir la dependencia del SCOBY. El objetivo fue caracterizar kombuchas elaboradas con mashua amarilla y morada y determinar si la adaptación previa del inóculo permite obtener fermentaciones estables. Se desarrollaron inóculos adaptados para cada variedad y se prepararon cuatro formulaciones con dos porcentajes de inóculo (20 por ciento y 30 por ciento). Durante siete días se monitorearon pH, grados Brix y acidez titulable. Posteriormente, se realizó un análisis sensorial con panelistas semientrenados para seleccionar las bebidas con mayor aceptación y decidir cuáles serían sometidas a los análisis finales. Los tratamientos con 30 por ciento de inóculo (T2 y T4) obtuvieron las mejores valoraciones. Las muestras seleccionadas se analizaron por métodos fisicoquímicos finales (pH, grados Brix, acidez titulable, azúcares totales y polifenoles) y por pruebas microbiológicas según normativa para *Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Salmonella*, aerobios mesófilos, mohos y levaduras. Los resultados confirmaron que ambas formulaciones cumplieron los criterios de inocuidad y calidad, evidenciando fermentaciones estables y productos aptos para consumo. En conjunto, los hallazgos indican que la mashua es un sustrato viable para kombucha y que los inóculos adaptados permiten fermentaciones consistentes; no obstante, se recomienda optimizar formulaciones para mejorar el perfil sensorial. Este estudio aporta evidencia relevante sobre el potencial tecnológico de la mashua en bebidas fermentadas.

Palabras clave: cultivos andinos, bebidas fermentadas, mashua (*Tropaeolum tuberosum*), fermentación, análogos de kombucha.

ABSTRACT

The growing consumption of ultra-processed beverages has driven the search for fermented alternatives; however, there is little information on the use of Andean tubers such as mashua (Tropaeolum tuberosum) in kombucha and on reducing dependence on SCOBY. The objective was to characterize kombuchas made with yellow and purple mashua and determine whether prior adaptation of the inoculum allows for stable fermentations. Inocula adapted for each variety were developed, and four formulations were prepared with two inoculum percentages (20 percent and 30 percent). pH, Brix degrees, and titratable acidity were monitored for seven days. Subsequently, a sensory analysis was performed with semi-trained panelists to select the most acceptable beverages and decide which ones would undergo final analysis. The treatments with 30 percent inoculum (T2 and T4) obtained the best ratings. The selected samples were analyzed using final physicochemical methods (pH, Brix degrees, titratable acidity, total sugars, and polyphenols) and microbiological tests according to regulations for Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Salmonella, mesophilic aerobes, molds, and yeasts. The results confirmed that both formulations met safety and quality criteria, showing stable fermentation and products suitable for consumption. Overall, the findings indicate that mashua is a viable substrate for kombucha and that adapted inoculants allow for consistent fermentation; however, it is recommended that formulations be optimized to improve the sensory profile. This study provides relevant evidence on the technological potential of mashua in fermented beverages.

Keywords: Andean crops, fermented beverages, mashua (*Tropaeolum tuberosum*), fermentation, kombucha analogues.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

En la actualidad, el consumo de bebidas ultraprocesadas ha aumentado drásticamente debido a que se encuentran disponibles en cualquier supermercado o tienda cercana, permitiendo así que este tipo de alimento sea dominante en los suministros alimentarios de la población **(Millar et al., 2024).** No obstante, este tipo de bebidas generalmente se compone de aditivos y diferentes compuestos formados por procesos térmicos que pueden llegar a ser dañinos para el consumidor, además de que generalmente tienen un bajo aporte nutricional y una alta densidad energética **(Monteiro et al., 2019).** Según **Zhao et al (2024),** existe evidencia que establece un vínculo entre el consumo de productos ultraprocesados y el desarrollo de enfermedades no transmisibles. Estas enfermedades incluyen la obesidad, la diabetes, el síndrome metabólico y un mayor riesgo cardiovascular, condiciones que, en última instancia, pueden contribuir a un aumento de la mortalidad.

La investigación sobre la elaboración de productos fermentados a base de materia prima no convencional como los tubérculos andinos es importante, ya que son ingredientes caracterizados por tener un alto valor nutricional y compuestos de interés que podrían influir en las características de la bebida. Aunque diversos estudios han evaluado kombuchas elaboradas con distintos tipos de té (*Camellia sinensis*) **(Cardoso et al., 2020),** aún no se ha documentado la aplicación de mashua como sustrato principal en bebidas tipo kombucha. Por lo tanto, resulta necesario generar información sobre el comportamiento fisicoquímico, microbiológico y sensorial de estas bebidas durante la fermentación.

En este contexto, las variedades de mashua más consumidas en Ecuador, como la amarilla (*Ckello-añu*) y la morada (*Muru-añu*), presentan diferencias en su composición, lo que sugiere que podrían influir en parámetros como el pH, los grados Brix, contenido de alcohol, acidez y cantidad de polifenoles totales, así como en las características organolépticas y microbiológicas del producto final.

1.1.1 Cultivos andinos

Según **Guacho et al. (2023)**, en Ecuador una parte de la población, mayoritariamente indígena, basa su alimentación en cultivos andinos como la quinua, la zanahoria blanca, la ajipa, la mashua y el yacón, los cuales sustituyen en gran medida las fuentes convencionales de proteínas e hidratos de carbono. Los autores también señalan que, de acuerdo con encuestas aplicadas a personas de comunidades indígenas, los cultivos que han disminuido su producción y se encuentran en riesgo son la haba, melloco, la oca y la mashua. Esta situación representa una amenaza para la población, ya que implica una menor disponibilidad de alimentos nutritivos y un aumento en el consumo de productos ultraprocesados como frituras, gaseosas y dulces, los cuales pueden generar efectos negativos en la salud y poner en riesgo la soberanía alimentaria del país.

1.1.1.2 Mashua

La mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) es un tubérculo que se ha extendido a países Andinos como Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia, ya que crece en zonas que tengan un rango de altitud entre 2400 y 4300 m.s.n.m y a temperaturas que van de 8 a 11ºC **(Arteaga Cano et al., 2022)**. Esta raíz se caracteriza por ser resistente ante plagas y enfermedades y por tener en su composición carbohidratos, proteínas, vitamina C y otros compuestos como polifenoles, flavonoides, antocianinas, antioxidantes, ácidos grasos, glucosinolatos y alcamidas que la convierten en un alimento de alto valor nutricional. Sin embargo, esta especie hoy ha caído en desuso fuera de zonas rurales debido a factores como nuevos hábitos alimenticios y preferencia hacia cultivos importados **(Coloma et al., 2022)**.

En la Tabla 2 se compara la variedad morada (*Muru-añu*) y la amarilla (*Ckello-añu*) para apreciar su potencial nutricional.

Tabla 1

Composición nutricional de mashua de variedad morada (Muru-añu) y variedad amarilla (Ckello-añu).

Componente	Variedad	Contenido (%)	Fuente
Humedad	Morada	86,3	**(Saá, 2019)**
	Amarilla	78,04 ± 2,91	**(Valle, 2017)**
Cenizas	Morada	0,76	**(Saá, 2019)**
	Amarilla	0,59 ± 0,02	**(Cuya, 2009)**
Proteína	Morada	1,23 ± 0,04	**(Gonzales, 2020)**
	Amarilla	1,526 ± 0,002	**(Taipe, 2017)**
Carbohidratos	Morada	11,41	**(Gonzales, 2020)**
	Amarilla	12,606 ± 0,059	**(Taipe, 2017)**
Azúcares reductores	Morada	-	
	Amarilla	19,12 ± 0,06	**(Taipe, 2017)**

En la Tabla 2 se establece la cantidad de fenoles encontrados en la mashua amarilla y morada sin la aplicación de ningún proceso tecnológico.

Tabla 2

Fenoles totales de mashua de variedad morada (Muru-añu) y variedad amarilla (Ckello-añu).

Componentes	Variedad	Contenido	Unidad	Fuente
Fenoles totales	Morada	39,87 ± 0,046	mg de ácido gálico/g	**(Velásquez, 2020)**
	Amarilla	10,51	mg de ácido gálico/g	**(Taipe, 2017)**

Las variedades de mashua han sido objeto de diversas investigaciones que han revelado un amplio espectro de actividades biológicas beneficiosas. En particular, el extracto del tubérculo, en forma de jugo, ha demostrado un prometedor potencial debido a propiedades antibacterianas, así como una significativa capacidad antioxidante, ayudando a neutralizar los radicales libres y proteger las células del daño oxidativo. Además, estudios han indicado que la mashua reduce procesos inflamatorios en el organismo. Un área de especial interés es su acción inhibidora sobre la hiperplasia prostática benigna (HPB), una afección común que afecta a la próstata masculina **(Aguilar-Galvez et al., 2020)**.

Históricamente, la mashua ha sido un pilar en la medicina tradicional de las comunidades andinas, donde se ha empleado para abordar una variedad de dolencias. Entre sus usos tradicionales más destacados se encuentran el tratamiento de enfermedades venéreas, afecciones pulmonares y cutáneas. Asimismo, se ha utilizado para promover la curación de heridas y como un eficaz analgésico para aliviar dolores asociados con problemas renales y de la vejiga, lo que subraya su versatilidad y el conocimiento ancestral de sus propiedades terapéuticas **(Apaza Ticona et al., 2020)**.

La mashua morada y amarilla presentan perfiles diferenciados que influyen en sus características fisicoquímicas y potencial aplicación tecnológica. La variedad morada destaca por su contenido de antocianinas, mientras que la amarilla se caracteriza por un mayor contenido de carotenoides, carbohidratos y proteínas. Estas diferencias pueden repercutir en parámetros como el pH, los grados Brix, acidez y cantidad de polifenoles totales. Si bien existen métodos estandarizados para caracterizarlas, se requiere investigación orientada a evaluar el comportamiento de estas variedades en procesos tecnológicos como la fermentación, especialmente en bebidas tipo kombucha, considerando también su influencia en la calidad microbiológica y sensorial del producto final.

1.1.2 Bebidas fermentadas

Las bebidas fermentadas han sido elaboradas desde tiempos antiguos de manera tradicional en distintas regiones del mundo, con el propósito de prolongar la vida útil de los alimentos y conservar productos de temporada **(Yusufoğlu et al., 2025)**. En la actualidad, estas bebidas son apreciadas porque, a través

de la fermentación, se optimiza el perfil sensorial, se reducen compuestos indeseables como las saponinas, aumenta la biodisponibilidad y digestibilidad de los nutrientes, y se generan compuestos bioactivos como polifenoles, vitaminas, aminoácidos, ácidos orgánicos, entre otros, que contribuyen al bienestar y la salud de los consumidores **(Hidalgo-Fuentes et al., 2024)**.

Existe una gran diversidad de bebidas fermentadas, cuya clasificación depende tanto de la materia prima empleada como del tipo de fermentación aplicada. Por un lado, se distinguen las bebidas fermentadas vegetales y lácteas; mientras que, según la naturaleza de la fermentación, se agrupan en bebidas ácidas, alcohólicas o mixtas **Tabla 3.** Dentro de este grupo, las bebidas más destacadas y que han sido objeto de diversos estudios son el kéfir y la kombucha, debido a su potencial funcional **(Paramithiotis et al., 2024).**

Tabla 3

Clasificación de bebidas fermentadas.

Categoría	Clasificación	Materia prima	Ejemplos
Según materia prima empleada	Bebidas vegetales	Cereales, tubérculos, vegetales, raíces	Pozol, cheka, kvas, boza
		Frutas	Sidra, vino, gilaburu
		Hierbas	Kombucha
	Bebidas lácteas	Leche (vaca, cabra u otros mamíferos)	Kéfir, kumis, leche acidófila, viili
Según el tipo de fermentación			Ácidas, alcohólicas, mixtas

Fuente: (Paramithiotis et al., 2024).

1.1.2.1 Tipos de fermentación

Las bebidas fermentadas se obtienen a partir de la transformación de sustratos orgánicos por acción de microorganismos, principalmente levaduras y bacterias, generando cambios químicos y sensoriales **(Asrani et al., 2019)**. Aunque existen diversos tipos de fermentación en alimentos, en el caso de las bebidas se reconocen principalmente tres categorías: fermentación alcohólica, fermentación ácida y fermentación mixta. La fermentación alcohólica es realizada principalmente por levaduras, las cuales transforman azúcares en etanol y dióxido de carbono. Por otro lado, la fermentación ácida, caracterizada por la producción de ácidos orgánicos como el ácido láctico o acético, es impulsada por bacterias ácido-lácticas o acéticas **(Praveen & Brogi, 2025)**.

Las bebidas de fermentación mixta combinan procesos alcohólicos y ácidos que requieren la interacción de levaduras y bacterias, lo que permite obtener productos con perfiles más complejos tanto en sabor como en composición química. En esta fermentación se pueden obtener diferentes ácidos como el láctico, acético, succínico además de etanol y gases de manera simultánea **(Fang et al., 2023)**. En este contexto, la kombucha se considera una bebida de fermentación mixta, ya que la interacción entre levaduras y bacterias ácido acéticas transforma el azúcar en una combinación de etanol, ácido acético y otros metabolitos bioactivos, otorgándole así su característico sabor ácido-dulce y su potencial funcional **(Chen et al., 2025)**.

1.1.2.2 Consumo de bebidas fermentadas

La fermentación de alimentos ha sido utilizada desde civilizaciones antiguas para poder conservar de mejor manera la carne, verduras y frutas **(Guerra et al., 2022)**. Sin embargo, hoy en día ya se ha ampliado el uso de este proceso para crear productos innovadores que permiten contribuir de manera positiva en aspectos económicos, culturales, sociales y políticos **(Ojha & Tiwari, 2016)**.

Según **Future Marketing Insights Inc (2025)**, en este año el mercado de alimentos y bebidas fermentadas alcanzará los USD 62.200 millones, y se proyecta que para 2035 crezca hasta USD 136.200 millones. Este aumento se atribuye a una mayor conciencia, especialmente en países como México, Brasil, India, Japón, Alemania y Estados Unidos, sobre los beneficios para la salud asociados a estos productos. Dentro de este mercado, los ingredientes probióticos lideran con un 31,3 % debido a su amplio uso, principalmente en bebidas alcohólicas, las cuales representan el 25,3 % del total de alimentos y bebidas fermentadas.

En Ecuador, el proceso de fermentación ha tenido una notable influencia en la gastronomía local, puesto que ha dado lugar a una amplia variedad de alimentos que se consumen desde hace generaciones ya que forman parte de la tradición. Destacan productos como el cacao y el café; sin embargo, también se consumen bebidas fermentadas propias de la región, como la chicha, el chaguarmishqui y el champú **(Guerra et al., 2022).**

1.1.3 Kombucha: origen y beneficios

La kombucha es una bebida fermentada de origen chino que tiene un sabor ácido y ligeramente dulce, está elaborada a partir de tres ingredientes principales: té negro o verde (*Camellia sinensis*), azúcar y un cultivo simbiótico de bacterias y levaduras (SCOBY, por sus siglas en inglés), también conocido como "hongo del té". Este cultivo está compuesto por bacterias acéticas, bacterias ácido-lácticas y diversas levaduras que actúan en simbiosis durante el proceso fermentativo **(Cardoso et al., 2020)**.

Según **Dutta & Paul (2019)**, hay varias investigaciones en donde se menciona que esta bebida tiene origen en el noroeste de China en el 220 a.C, en donde tuvo un gran valor por la dinastía Ling Chi debido a sus supuestas propiedades benéficas. Sin embargo, gracias a la expansión del comercio la

kombucha se extendió hacia otras partes del mundo, volviéndose popular en países como Corea, Japón, Rusia y Alemania durante el siglo XX. En 1960 ya llegó su fama y aceptación en toda Europa **(Jayabalan et al., 2014)**; actualmente la kombucha se consume en todo el mundo y cada vez va ganando más reconocimiento por los beneficios que atribuye a la salud.

Mediante estudios in vitro y estudios con animales se ha comprobado ciertos beneficios que proporciona la kombucha. Por ejemplo, según **Srihari et al. (2013)**, esta bebida puede controlar el estrés oxidativo y reducir el riesgo de metástasis de cáncer de próstata, otro estudio indica que principalmente la kombucha con té verde tiene potencial antimicrobiano contra *Staphylococcus epidermidis, Listeria monocytogenes* y *Micrococcus luteus* **(Battikh et al., 2013)**, también puede tener efecto en el tratamiento y prevención de diabetes ya que puede retrasar la absorción de colesterol LDL y triglicéridos, aumentar de manera significativa el colesterol HDL y además proteger funciones hepatorrenales **(Aloulou et al., 2012).**

1.1.3.1 Parámetros de la kombucha

Según lo establecido en la Instrucción Normativa (IN) N.º 41 de Brasil, emitida por el **Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento (2019)**, los parámetros analíticos para la kombucha son: pH entre 2,5 y 4,2, y un contenido de alcohol inferior al 0,5%. Además, de acuerdo con **Kombucha Brewers International (2023)**, la acidez titulable, expresada como porcentaje de ácido acético, debe encontrarse en un rango de 0,27 a 2,03%, sin embargo, esta asociación menciona un rango de pH de 2,3-3,8.

1.1.3.2 Fermentación y compuestos químicos

La fermentación de kombucha es un proceso que se basa en la interacción simbiótica de levaduras y bacterias estructuradas en una matriz de celulosa. Así, las levaduras, mediante la acción de la enzima invertasa, transforman la sacarosa en fructosa y glucosa, y generan etanol a través de la vía glucolítica. En cambio, las bacterias acéticas intervienen oxidando el etanol para producir ácido acético, gracias a las enzimas alcohol deshidrogenasa y aldehído deshidrogenasa **(de Miranda et al., 2022)**. Es importante mencionar que la microbiota de esta bebida es muy variada dependiendo de diversos factores como las especies locales de levaduras y bacterias, el clima, ubicación, sustrato, tiempo y temperatura de fermentación **(Andrade et al., 2025)**.

Por otra parte, los compuestos químicos que se forman gracias al SCOBY van a depender del sustrato que se utilice, ya que con esto es posible la formación de compuestos nuevos. No obstante, de forma general ya se han identificado compuestos como polifenoles, diversos ácidos orgánicos como el acético, glucónico, cítrico, málico, succínico, tartárico, L-láctico, que han sido encontrados en kombucha con sustrato de *Camellia sinensis* **(de Miranda et al., 2022)**.

1.1.4 Análogos de kombucha: uso de diversos sustratos

Se han realizado investigaciones con diferentes sustratos para obtener productos tipo kombucha o mejor conocidos como análogos de kombucha. Diversos estudios han demostrado que, además del té de *Camellia sinensis*, es posible utilizar infusiones de hierbas **(Battikh et al., 2012)**, jugos de frutas **(Ayed et al., 2017)**, leche, extractos de soya **(Tu et al., 2019)** e incluso plantas alimenticias no convencionales como medios alternativos de fermentación. Estos trabajos han evidenciado que dichos sustratos generan una buena respuesta de cinética de fermentación y además se incrementan sus propiedades benéficas después de este proceso **(Xia et al., 2019)**.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Caracterizar bebidas fermentadas tipo kombucha elaboradas con mashua (*Tropaeolum tuberosum*) variedad amarilla y variedad morada.

1.2.2 Objetivos específicos

- Elaborar diferentes formulaciones de bebidas tipo kombucha a partir de mashua variedad amarilla y variedad morada, utilizando un inóculo adaptado de SCOBY.
- Evaluar la aceptabilidad sensorial de las bebidas fermentadas elaboradas para el reconocimiento de la mejor formulación.
- Analizar las características físicoquímicas y microbiológicas de la mejor bebida fermentada.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1 Materiales

El presente trabajo de titulación tuvo un enfoque experimental y se desarrolló en laboratorios académicos y en el laboratorio de Investigación UODIDE ubicados en la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología en la Universidad Técnica de Ambato.

Para la elaboración de las bebidas fermentadas tipo kombucha se emplearon materias primas como mashua (*Tropaeolum tuberosum*) de variedad amarilla y morada, adquiridas en el mercado mayorista de la ciudad de Ambato, SCOBY y líquido de arranque los cuales fueron obtenidos de una productora local ubicada en el barrio Ficoa-Ambato. En la Tabla 4 se detallan los materiales de laboratorio, reactivos y equipos empleados durante esta propuesta.

Tabla 4

Materiales de laboratorio, reactivos y equipos utilizados en la investigación.

Materiales de laboratorio	Vasos de precipitación
	Probetas
	Matraz Erlenmeyer
	Matraz aforado
	Soporte universal
	Buretas
	Espátulas
	Celdas
	Tubos de ensayo
	Pipetas
	Mecheros de alcohol
Reactivos	Hidróxido de sodio (0,1 N y 1N)
	HCl (1N)
	Solución de fenolftaleína
	Reactivo de Folin Ciocalteu

	Carbonato de sodio 7%
	Ácido gálico
	Fehling A
	Fehling B
	Agua destilada
Equipos	Potenciómetro
	Balanza analítica
	Balanza digital
	Espectrofotómetro UV-VIS
	Vortex
	Plancha de calentamiento
	Cámara de flujo laminar
	Incubadora
	Sorbona

2.2 Métodos

2.2.1 Enfoque de la investigación

El estudio se desarrolló bajo un enfoque experimental, ya que se evaluaron parámetros fisicoquímicos con el fin de determinar la evolución del proceso fermentativo a través de la medición de pH, °Brix y acidez titulable (expresada en ácido acético) esto se lo hizo tanto durante la adaptación del inóculo como a lo largo de la fermentación de las bebidas tipo kombucha. Al final del proceso, se realizó un análisis sensorial para identificar la formulación con mayor aceptación y verificar el cumplimiento de los parámetros finales establecidos en la norma **Kombucha Specification (US 2037:2024)**, que incluyen pH, porcentaje de alcohol etílico, acidez titulable, contenido de azúcares totales (como azúcar invertido) y parámetros microbiológicos.

2.2.2 Elaboración de diferentes formulaciones de bebidas tipo kombucha a partir de mashua variedad amarilla y variedad morada, utilizando un inóculo adaptado de SCOBY.

2.2.2.1 Diseño experimental

Para llevar a cabo el trabajo de investigación se empleó un diseño completamente al azar de tipo 2×2, el cual contempló dos factores, Factor A: variedad de mashua, con dos niveles (morada y amarilla), y

Factor B: proporción de inóculo de kombucha (20% y 30%), con dos niveles. Esto dió lugar a un total de cuatro tratamientos combinados los cuales se establecen en la Tabla 5; se trabajó por duplicado.

En la metodología de **Mulyani et al. (2025)**, se menciona un uso del 20% de inóculo adaptado para fermentar kombucha con filtrado de jengibre rojo como sustrato.

Tabla 5

Formulaciones de bebidas tipo kombucha con mashua variedad amarilla y morada.

Tratamiento	Variedad	Filtrado de mashua (%)	Inóculo adaptado (%)
T1	Amarilla	73	20
T2	Amarilla	63	30
T3	Morada	73	20
T4	Morada	63	30

Nota. La cantidad de azúcar (7%) será la misma en todas las formulaciones.

2.2.2.2 Preparación de inóculo adaptado a la mashua

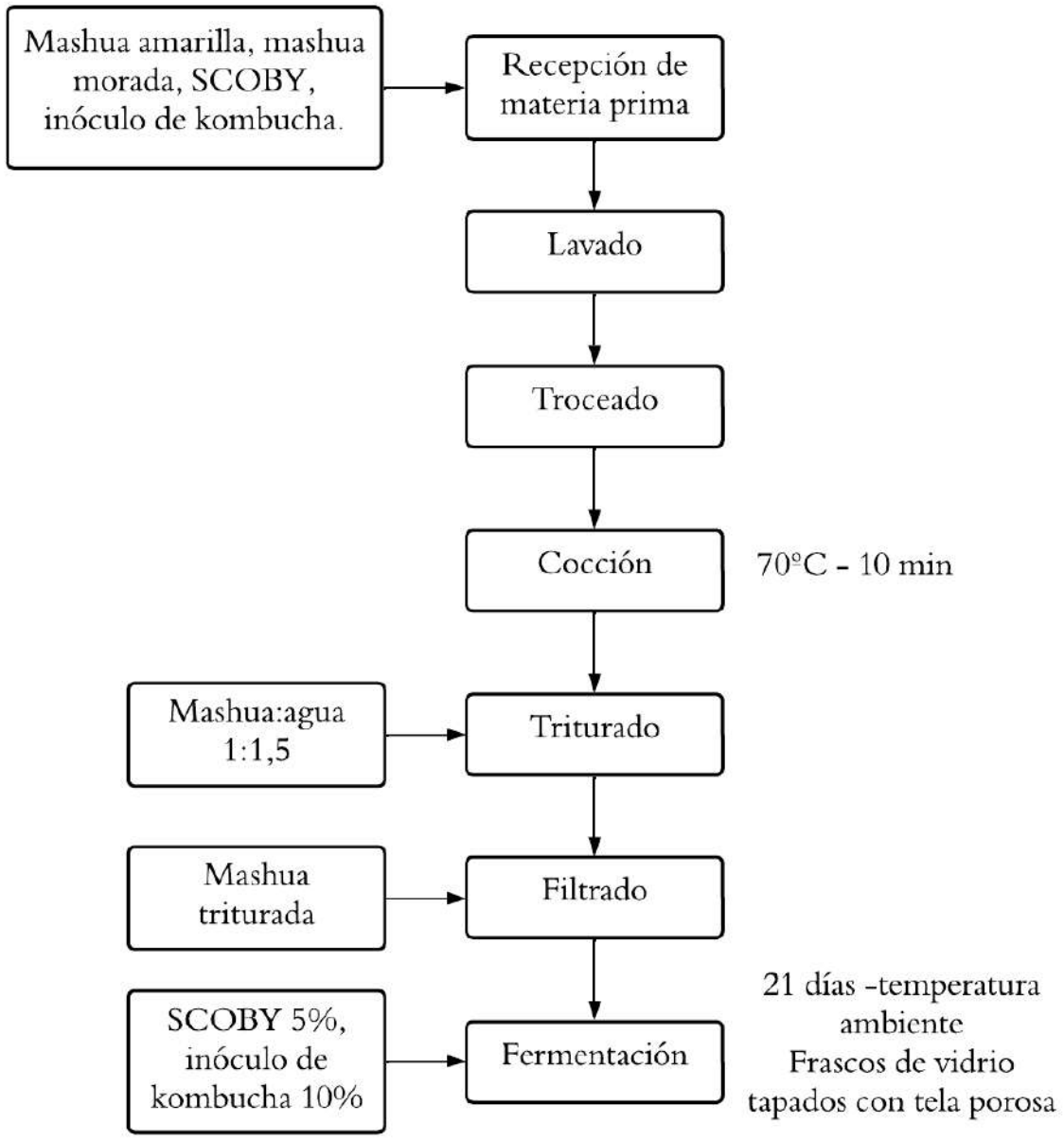
Se elaboraron diferentes formulaciones de bebidas tipo kombucha utilizando sustratos no convencionales, específicamente el filtrado de mashua de las variedades amarilla y morada, además del cultivo simbiótico de bacterias y levaduras (SCOBY), un inóculo de kombucha constituido por té negro previamente fermentado y azúcar morena como fuente de carbono.

Para la elaboración de las bebidas fermentadas se realizó previamente un inóculo adaptado para cada variedad de mashua, con la siguiente formulación: 79% de filtrado de mashua, 10% de inóculo de kombucha, 4% de SCOBY, 7% de sacarosa, es decir se elaboró dos inóculos: uno para mashua amarilla y otro para mashua morada, los cuales se utilizaron para la fermentación posterior. El filtrado se obtuvo mediante un pretratamiento que incluyó lavado, troceado y cocción en agua durante 10 minutos a 80ºC, posteriormente se licuó y filtró para así obtener un líquido base. Finalmente se añadió el inóculo de kombucha (té negro previamente fermentado) junto con el SCOBY a las muestras y se dejó fermentar a temperatura ambiente en frascos de vidrio, los cuales fueron cubiertos con tela porosa durante un período de 21 días.

Cabe destacar que estos inóculos fueron desarrollados como sustratos adaptados para transferir la comunidad microbiana (líquido inoculado) a las fermentaciones experimentales posteriores, por lo que no constituyen bebidas finales aptas para consumo, debido a que los niveles de acidez son intencionalmente elevados para así favorecer el crecimiento de bacterias y levaduras.

Durante el periodo de fermentación se registraron diariamente los valores de pH y °Brix, mientras que la acidez titulable se determinó cada dos días. Estos análisis permitieron evaluar la evolución de los parámetros fisicoquímicos a lo largo del proceso fermentativo.

Figura 1. *Diagrama de flujo para elaboración de inóculo adaptado de mashua.*

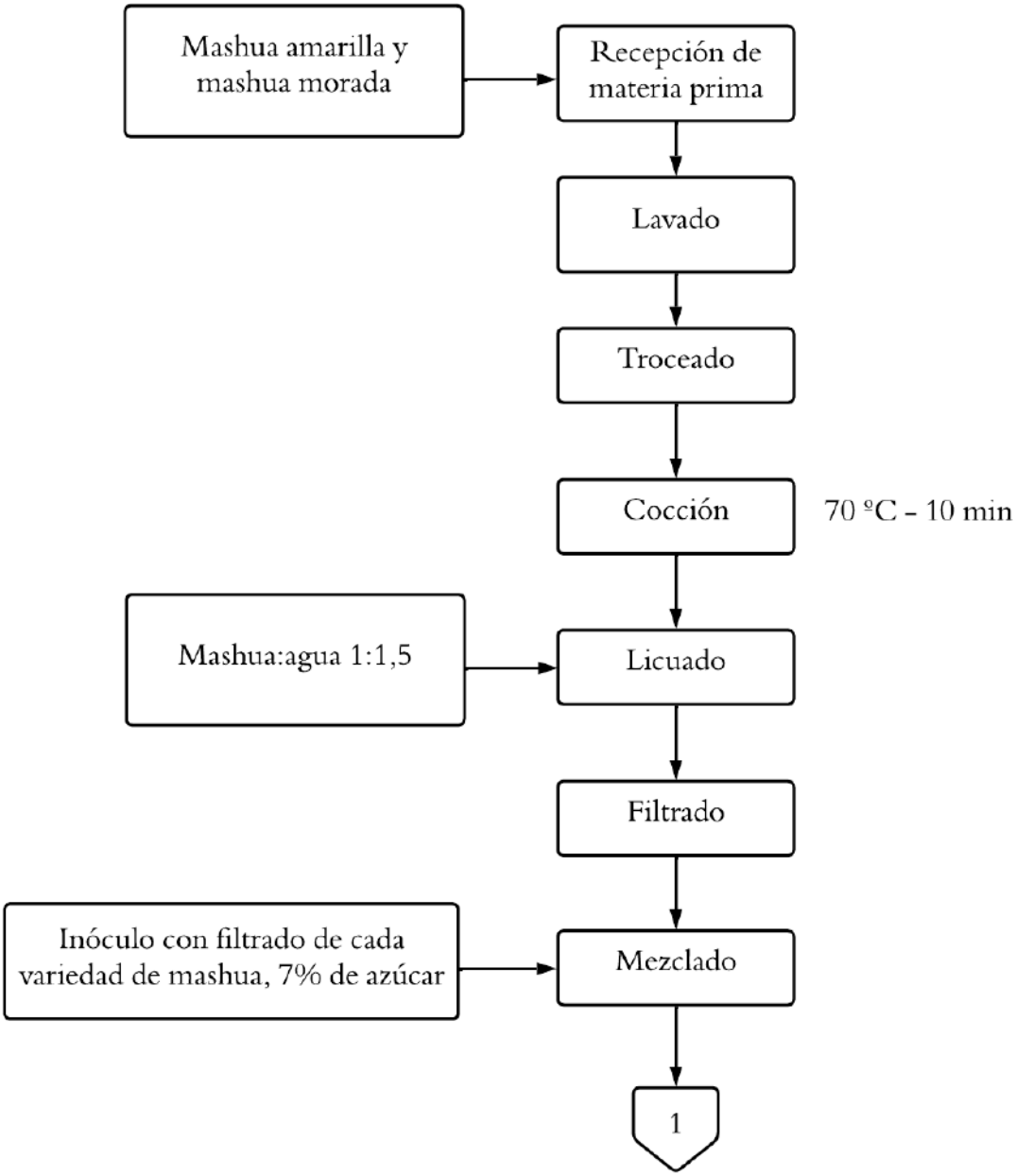


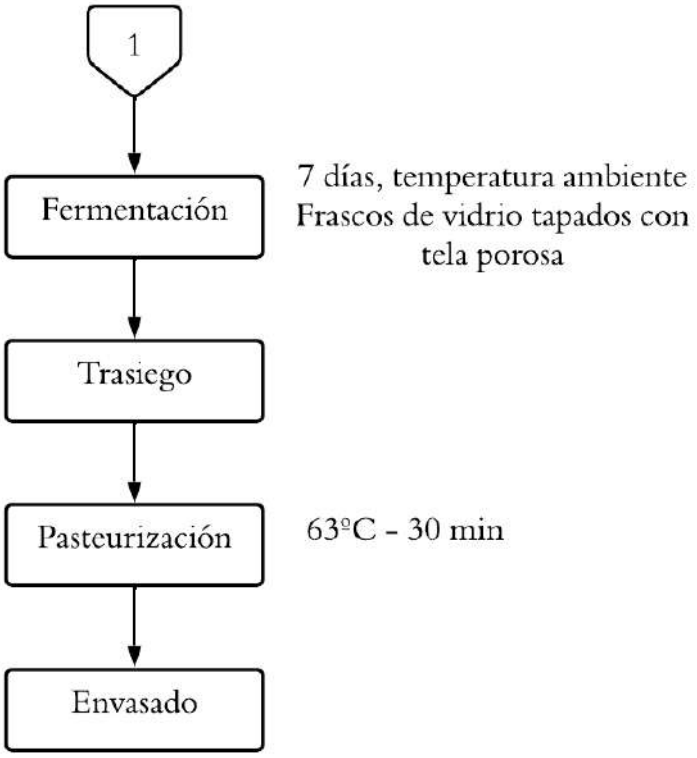
2.2.2.3 Preparación de bebidas tipo kombucha

Se mezcló el inóculo adaptado, filtrado de mashua y azúcar en las proporciones establecidas en la Tabla 4, para así elaborar las bebidas Se dejó fermentar por 7 días a temperatura ambiente en frascos de vidrio tapados con una tela permeable para permitir el ingreso de oxígeno. Durante este periodo de tiempo se analizó el pH, ºBrix y acidez titulable, con la finalidad de comprender la dinámica del proceso de

fermentación. Luego se pasteurizaron las bebidas para detener la fermentación y se mantuvieron en refrigeración a 4ºC.

Figura 2. *Diagrama de flujo de la elaboración de bebidas tipo kombucha.*





2.2.3 Evaluación de la aceptabilidad sensorial de las bebidas fermentadas elaboradas para el reconocimiento de la mejor formulación

Las muestras presentadas fueron codificadas con números aleatorios para evitar sesgos en la evaluación y asegurar objetividad en la recolección de los datos al evitar que el panelista identifique los tratamientos. Posteriormente, se sirvieron las bebidas en vasos plásticos a una temperatura de refrigeración de 7ºC $\pm$ 2ºC para así estandarizar las condiciones.

2.2.3.1 Prueba de aceptabilidad y establecimiento de perfil sensorial

Se presentó una hoja de cata a 30 panelistas semi entrenados durante dos días no consecutivos a la misma hora, en donde se establecieron parámetros para evaluar aceptabilidad y establecer un perfil sensorial de las muestras.

En la prueba de aceptabilidad se evaluaron atributos como color, olor, sabor y aceptabilidad, y se estableció una escala hedónica de 5 puntos que representaron lo siguiente: (5) me gusta mucho, (4) me gusta moderadamente, (3) ni me gusta ni me disgusta, (2) me disgusta, (1) me disgusta mucho.

2.2.3.2 Determinación del mejor tratamiento

En esta etapa se realizó el análisis estadístico de los resultados sensoriales mediante el software SPSS. Para comprender de manera general la distribución de los datos obtenidos se realizó primero un análisis de estadísticos descriptivos: mínimo, máximo, media y desviación estándar. Posteriormente, con el

objetivo de determinar si existían diferencias significativas entre las formulaciones evaluadas, se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman. Esta prueba se ejecutó de manera general con la finalidad de identificar las muestras que más destacan en cuanto al nivel de aceptación y tener un panorama sensorial completo. Una vez obtenidos los estadísticos de Friedman y corroborada la presencia de diferencias significativas ($p < 0,05$), se procedió a realizar comparaciones múltiples mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras relacionadas para identificar específicamente entre qué pares de muestras existían diferencias significativas, lo que permitió establecer la mejor formulación dentro del grupo de bebidas con mashua amarilla y otra en el grupo de bebidas con mashua morada.

2.2.4 Análisis de las características físicoquímicas y microbiológicas de la mejor bebida fermentada.

2.2.4.1 pH y acidez

El pH de las mejores muestras se analizó aplicando la metodología establecida en la norma **AOAC 981.12**. Para ello, se tomaron alícuotas de 30 mL de cada muestra en vasos de precipitación. El electrodo del potenciómetro se enjuagó con agua destilada y se secó cuidadosamente antes de sumergirlo en cada muestra durante 1 minuto, tiempo suficiente para la estabilización de la lectura. Posteriormente, se enjuagó nuevamente el electrodo y se repitió el procedimiento por triplicado para cada muestra.

La acidez titulable se determinó según la metodología establecida en la norma **AOAC 942.15**. Se utilizaron dos métodos dependiendo del color de la bebida, para las bebidas amarillas, se empleó fenolftaleína como indicador y se tituló con NaOH 0,1 N hasta el cambio de color característico (incoloro a rosado tenue). Mientras que para las bebidas moradas, se utilizó el método electrométrico, titulando con NaOH 0,1 N hasta alcanzar un pH de 8,1 ± 0,2, debido a que el color natural de la muestra dificulta observar el viraje con indicadores.

La ecuación 1 establece el cálculo para la acidez expresada en porcentaje de ácido acético **(Wang et al., 2023).**

$$\text{Acidez (g ácido acético/L)} = \frac{V_{NaOH} * M_{NaOH} * 60,053}{V_m}$$

Ecuación 1

Donde:

V_{NaOH} = volumen gastado de NaOH

M_{NaOH} = concentración de NaOH

V_m = volumen de muestra

2.2.4.2 Sólidos solubles totales (SST)

Por otra parte, los sólidos solubles totales de las bebidas tipo kombucha se determinaron mediante un refractómetro ATC de grados Brix de 0 a 32% con gravedad específica siguiendo la referencia metodológica de **Wang et al. (2023).**

2.2.4.3 Contenido de alcohol etílico (%)

Para determinar el porcentaje de alcohol etílico en las bebidas se siguió lo establecido en la norma **NTE INEN 2 322:2002**. En primera instancia, se realizaron mediciones preliminares con un alcoholímetro, las cuales indicaron ausencia de alcohol detectable; no obstante, se procedió con la destilación analítica para cumplir con el protocolo normativo y descartar la presencia de trazas de etanol. Las muestras previamente homogenizadas fueron sometidas a un proceso de destilación, y el destilado obtenido se aforó a un volumen definido para su posterior medición densimétrica a 20 °C. Las densidades registradas no coincidieron con los valores correspondientes a soluciones hidroalcohólicas según las tablas oficiales de conversión etanol–agua, por lo que el contenido de alcohol fue clasificado como no detectable.

La destilación se llevó a cabo siguiendo un procedimiento por arrastre de vapor bajo condiciones controladas. Se colocaron 100 mL de muestra a 20 °C en el matraz de destilación, procurando minimizar la formación de espuma. El calentamiento se realizó de manera gradual, evitando hervores bruscos, hasta recolectar entre 90 y 95 mL de destilado; posteriormente, este volumen se completó a 100 mL con agua destilada. La densidad del destilado se determinó mediante picnómetro a 20 °C, aplicando las correcciones de temperatura correspondientes. Finalmente, la posible concentración de etanol se evaluó utilizando las tablas oficiales de conversión etanol–agua, confirmándose la ausencia de niveles detectables de alcohol etílico en las muestras analizadas.

$$\mathrm{GE} = \frac{\mathrm{m_{destilado}}}{\mathrm{m_{agua}}}$$

Ecuación 2

Donde:

m = masa

2.2.4.4 Azúcares totales por inversión

La cuantificación de azúcares totales por inversión se realizó siguiendo la metodología descrita en la **AOAC 923.09** adaptada a bebidas fermentadas. Para ello, se tomó un volumen conocido de muestra y se ajustó su pH a 7,0 utilizando NaOH 1N. Luego se efectuó la inversión ácida, calentando la muestra con HCl 1N en baño maría a 30ºC por 30 minutos, para hidrolizar los azúcares. Posteriormente, se neutralizó nuevamente la solución. La determinación se realizó empleando los reactivos Fehling A y Fehling B en proporción 1:1, los cuales se llevaron a ebullición suave para luego colocar azul de

metileno como indicador. La muestra invertida se utilizó como titulante sobre la mezcla caliente hasta observar el viraje de azul a rojo ladrillo, correspondiente a la reducción completa del cobre(II). Con el volumen gastado y el factor del reactivo de Fehling se calculó el contenido total de azúcares, el volumen de muestra necesario para reducir el Cu^{2+} indica la cantidad de azúcares reductores totales.

2.2.4.5 Polifenoles totales

Finalmente, los polifenoles totales se determinaron mediante el método de Folin-Ciocalteu. Como primer paso se realizó una curva estándar se realizaron diluciones de ácido gálico a 20mg/L, 50mg/L, 75mg/L, 100mg/L y 150mg/L. En celdas se mezcló 200mL de muestra de bebidas/diluciones con 100mL de reactivo Folin-Ciocalteu y 700mL de Na_2CO_3 al 7% hasta completar 1ml. Adicionalmente, se realizó un blanco que contenía 200mL de agua destilada, 100mL de Folin-Ciocalteu y 700mL de Na_2CO_3 al 7%. Las mezclas reaccionaron durante 1 hora en oscuridad. Transcurrido el tiempo, las celdas se colocaron en el espectrofotómetro para medir la absorbancia a 765 nm, con estos datos se realizó el cálculo de la concentración de polifenoles totales, con la ecuación obtenida en la curva patrón (ANEXO A), los resultados se expresan en mg EAG/L.

2.2.4.6 Análisis microbiológicos

Para determinar los analisis microbiologicos que se tenian que realizar en las bebidas tipo kombucha, se siguio la norma **Kombucha Specification (US 2037:2024)** y lo establecido por **Paz et al. (2025)**, en donde se establece analizar *Escherichia Coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, aerobios mesófilos, mohos y levaduras, para considerar una bebida aceptable se utiliza los datos de la Tabla 6.

Tabla 6

Análisis microbiológicos requeridos para kombucha.

Microorganismo	Unidad	Límites	Normativa
Escherichia coli	/ml	Ausencia	ISO 21528-1:2017
Staphylococcus aureus	UFC/ml	Ausencia	ISO 6888-1
Salmonella	/25 ml	Ausencia	ISO 6579-1:2017
Aerobios mesófilos	UFC/ml	100	ISO 4833-1:2013
Mohos y levaduras	UFC/ml	10	ISO 21527-1:2008

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Elaboración diferentes formulaciones de bebidas tipo kombucha a partir de mashua variedad amarilla y variedad morada, utilizando un inóculo adaptado de SCOBY.

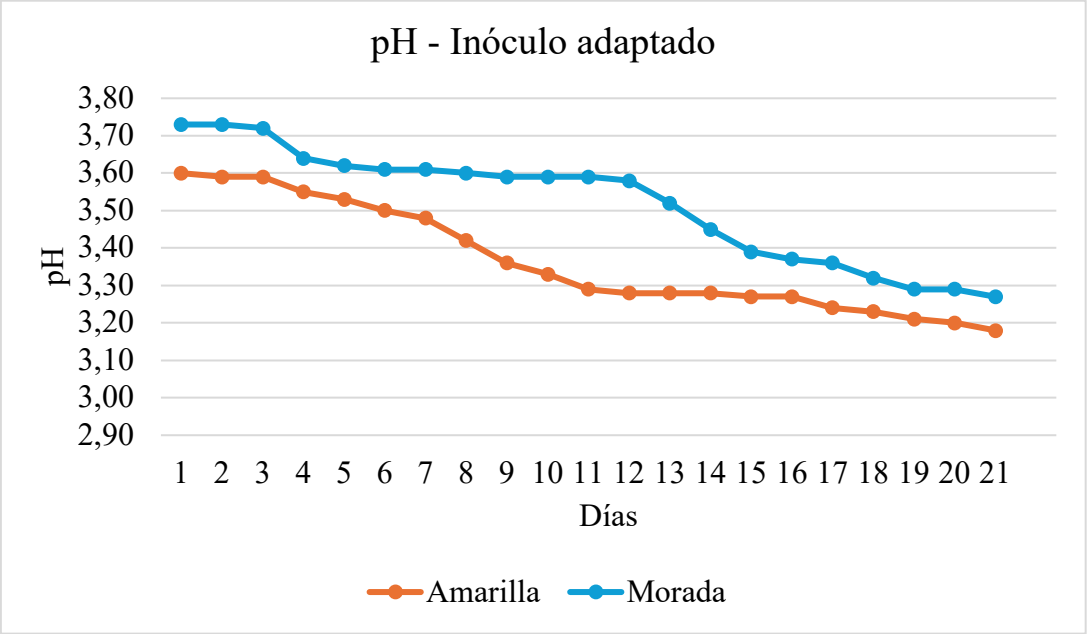
3.1.1.1 Análisis de inóculos adaptados a mashua variedad amarilla y morada

Se registraron los valores de pH, °Brix y acidez titulable durante los 21 días que duró la fermentación del inóculo adaptado a cada variedad de mashua, con el fin de analizar la variación de estos parámetros a lo largo del proceso.

pH

Como se observa en la Figura 3 y en la Tabla del Anexo 2, los valores de pH iniciales de los inóculos elaborados con mashua amarilla y mashua morada presentan una ligera diferencia, registrando valores de 3,59 y 3,73, respectivamente. Esto se atribuye principalmente a la naturaleza del sustrato y al SCOBY agregado, el cual actúa como arranque de la fermentación, promoviendo una acidificación temprana del medio (Cardoso et al., 2020). En estos 21 días se genera un descenso progresivo de pH favoreciendo un ambiente poco favorable para microorganismos de deterioro **(Sanwal et al., 2023)**. En el día 8 se observa que el pH del cultivo con mashua amarilla desciende progresivamente a un pH de 3,42 mientras el cultivo con mashua morada sigue manteniéndose constante, ya en el día 12 se aprecia que el pH del inóculo morado desciende a 3,58 y continúa su decrecimiento en los días posteriores. El pH final termina en valores similares de 3,18 y 3,27 para el inóculo amarillo y morado respectivamente, recalcando que en su formulación se emplearon las mismas proporciones de inóculo de kombucha, SCOBY y azúcar. Esta mínima variación es esperable, ya que pueden intervenir diversos factores biológicos y composicionales. En este sentido, **Meng et al. (2024)**, señalan que las diferencias en la composición microbiana del SCOBY, incluyendo variaciones en las cepas dominantes y su nivel de actividad, pueden influir significativamente en el proceso de fermentación.

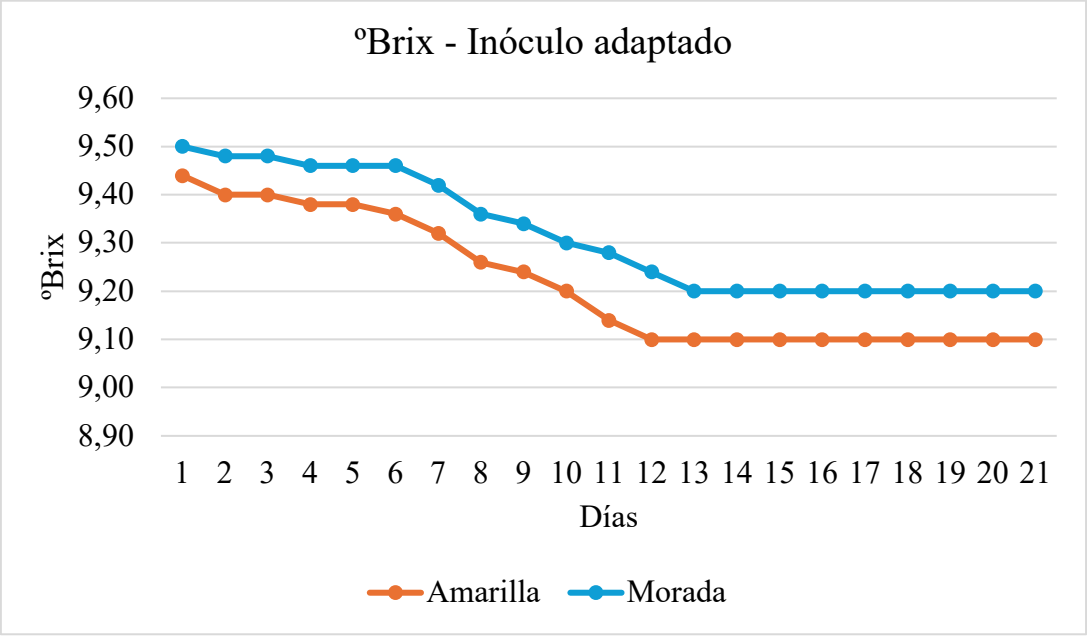
Figura 3. *Evolución de pH durante 21 días de inóculo adaptado a mashua.*



Sólidos solubles totales (ºBrix)

En cuanto a la evolución de sólidos solubles totales (SST), el descenso es progresivo, pero sin mayor variabilidad; los valores de ºBrix de los inóculos de mashua amarilla y morada evolucionaron de la misma manera en los 21 días. El inóculo de mashua morada inició y mantuvo datos ligeramente superiores al de la mashua amarilla, lo cual podría relacionarse con diferencias en la composición de cada tubérculo. La reducción de °Brix suele asociarse con el consumo de carbohidratos (principalmente azúcares reductores) por parte de la comunidad microbiana presente en el SCOBY y en el inóculo de kombucha **(Gonzales, 2020).** El comportamiento obtenido de este parámetro difiere de lo reportado por **Wang et al. (2023)** en análisis de SST en kombucha tradicional, donde se observa una disminución notable: de un valor inicial de 4,87 a un valor final de 3,13 tras 14 días de fermentación a 22 °C; tomando en cuenta así también a la temperatura como un factor que pudo ocasionar interferencia en la fermentación.

Figura 4. *Evolución de ºBrix durante 21 días de inóculo adaptado a mashua.*



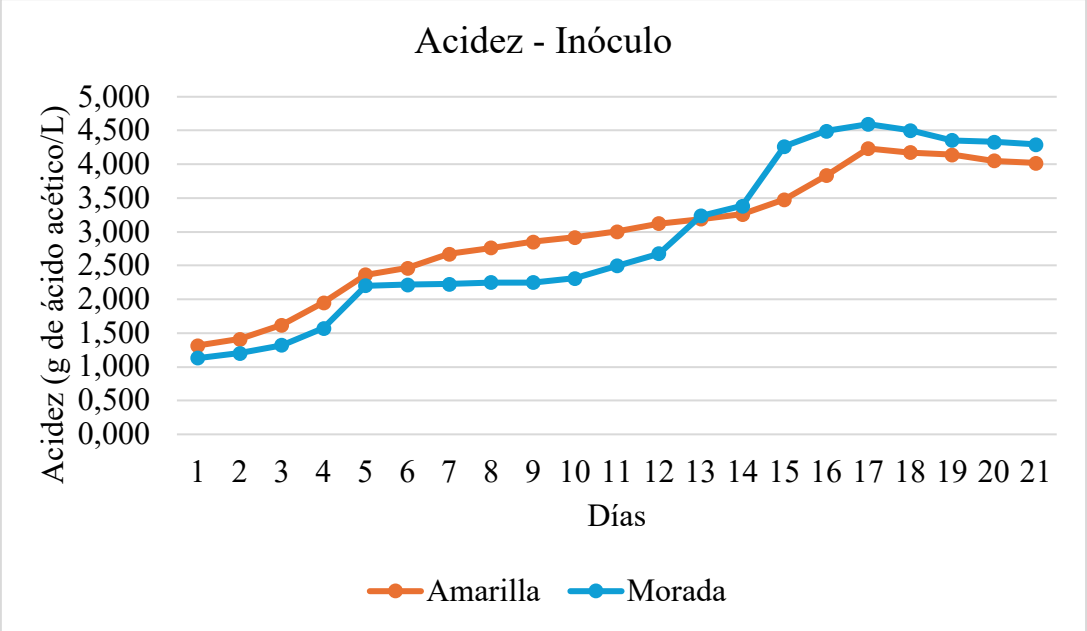
Acidez titulable

Los valores de acidez titulable de los inóculos elaborados con mashua amarilla y morada mostraron un incremento progresivo durante los 21 días de fermentación. Al inicio, el inóculo con mashua amarilla presentó una acidez expresada como ácido acético de 1,317 g/L, ligeramente superior a la de la variedad morada, que registró 1,121 g/L. En los días posteriores, el inóculo con mashua amarilla evidenció una adaptación más favorable, reflejada en una curva de incremento más estable. En contraste, el inóculo con mashua morada mostró una evolución más lenta durante la primera fase del proceso. No obstante, a partir del día 14 se observó un aumento más marcado en la acidez del inóculo con mashua morada, alcanzando 3,384 g/L. Ambos tratamientos registraron sus valores máximos alrededor del día 17, con 4,234 g/L para la variedad amarilla y 4,594 g/L para la variedad morada. De acuerdo con **Chong et al. (2024)**, este comportamiento fermentativo puede atribuirse a variables como el tipo de sustrato, la concentración inicial de azúcares, la disponibilidad de nutrientes y la exposición al oxígeno, factores que influyen directamente en la actividad de levaduras y bacterias acéticas y, por ende, en la cinética de producción de ácido acético.

Los valores de acidez obtenidos en esta investigación difieren de los reportados en otros estudios. Por ejemplo, **Mulyani et al. (2025)** señalaron que en una kombucha elaborada con jengibre rojo se obtuvo una acidez inicial de 0,9 g/L y una acidez final de 2,4 g/L en el día 14 de fermentación. De manera similar, **Barbosa et al. (2021)** reportaron valores de 24 g/L y 27,3 g/L en kombuchas elaboradas con té verde y té negro, respectivamente, en el día 15 de fermentación, utilizando una temperatura de 28 °C. Esta variabilidad confirma que la acidez depende significativamente del tipo de sustrato, las características del inóculo y las condiciones de fermentación utilizadas.

El comportamiento de los inóculos realizados fue adecuado, lo cual es importante ya que las características fisicoquímicas determinan que existe potencial metabólico para poder fermentar los tratamientos en la etapa posterior.

Figura 5. *Evolución de acidez durante 21 días de inóculo adaptado a mashua.*



3.1.1.2 Análisis fisicoquímicos de bebidas tipo kombucha

Con los inóculos adaptados se elaboraron las bebidas tipo kombucha en donde se evaluó la evolución de los mismos parámetros (pH, ºBrix y acidez titulable) durante los 7 días de fermentación de los tratamientos elaborados.

pH

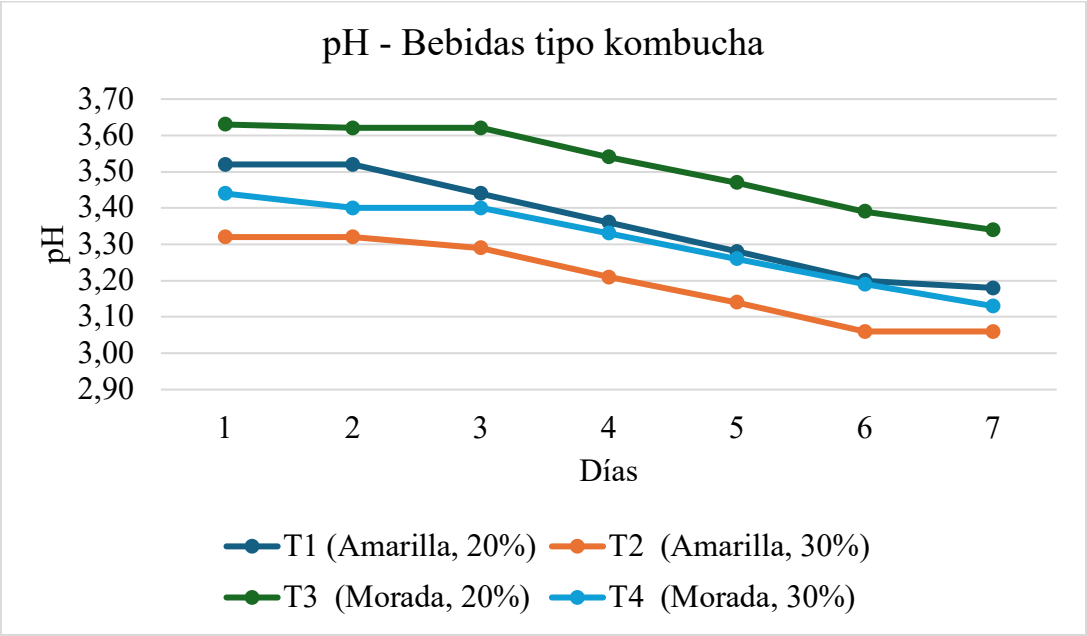
En cuanto al análisis de pH, se observó un descenso progresivo en todos los tratamientos durante los siete días de fermentación. Este comportamiento confirma que el proceso fermentativo de las bebidas tipo kombucha se desarrolló de manera adecuada, puesto que indica que la microbiota del inóculo (levaduras y bacterias acéticas) metabolizó los azúcares disponibles y generó diversos ácidos orgánicos. Entre los compuestos más relevantes en kombucha tradicional se encuentran los ácidos acético, láctico, glucónico, glucurónico y ascórbico **(Aung & Eun, 2021)**.

Se destaca que los tratamientos 2 y 4, formulados con un 30% de inóculo, presentaron una disminución de pH más pronunciada, alcanzando valores finales de 3,06 y 3,13, respectivamente. En contraste, los tratamientos 1 y 3, elaborados con un 20% de inóculo adaptado, registraron pH finales ligeramente superiores (3,18 y 3,34). Esto evidencia que una mayor proporción de inóculo proporciona una carga

microbiana inicial más elevada, lo que acelera la producción de ácidos y, por ende, incrementa la velocidad de acidificación del medio **(Budiari et al., 2022)**.

No obstante, los tratamientos elaborados con mashua morada (T3 y T4) mostraron un descenso de pH más lento en comparación con los formulados con mashua amarilla (T1 y T2). En el día 3 de fermentación, T1 y T2 alcanzaron valores de 3,44 y 3,29, mientras que T3 y T4 registraron valores de 3,62 y 3,40, respectivamente. Esta diferencia podría atribuirse a que la mashua morada presenta mayores concentraciones de metabolitos como los isotiocianatos, compuestos derivados de los glucosinolatos que, aunque poseen propiedades bioactivas con potencial funcional y nutracéutico, también se caracterizan por su actividad antimicrobiana. Esta característica puede generar cierta interferencia en el desarrollo microbiano durante la fermentación **(Luera-Quiñones et al., 2025; Behar et al., 2021).**

Figura 6. *Evolución de pH durante 7 días de fermentación de bebidas.*



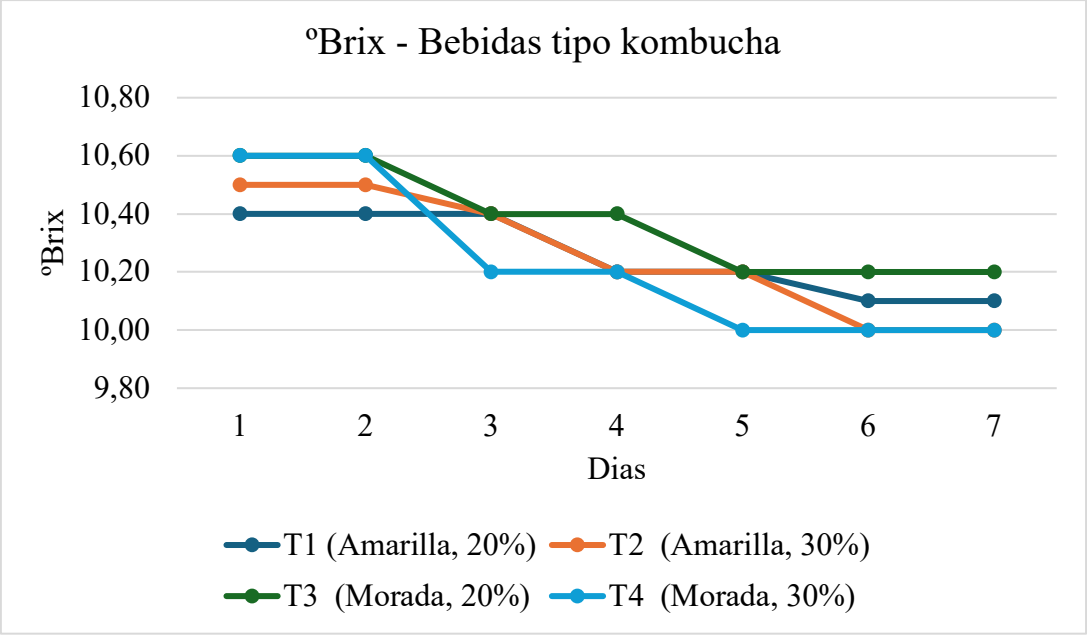
Sólidos solubles totales (ºBrix)

Con respecto a la evolución de ºBrix, se observan valores que muestran una disminución progresiva de este parámetro, pasando de valores iniciales entre 10,40 y 10,60 ºBrix a 10 y 10,20 ºBrix. Esta tendencia confirma que sí ocurrió un consumo de azúcares por parte de los microorganismos presentes en las bebidas. Sin embargo, es importante destacar que los tratamientos T2 y T4, elaborados con 30% de inóculo, logran alcanzar ºBrix más bajos con respecto a los tratamientos T1 y T3. Estas diferencias pueden darse por el porcentaje de inóculo empleado y por la variación del sustrato, ya que la mashua amarilla y morada tienen una composición distinta.

Gonzales (2020), reportó un contenido de carbohidratos fermentables de 12,61% para la variedad amarilla, mientras que **Taipe (2017)** indicó 11,41% para la variedad morada; estas diferencias composicionales pueden influir en los valores registrados en la Figura 7.

La reducción de ºBrix observada en este estudio no fue muy marcada; sin embargo, la tendencia coincide con lo reportado en investigaciones previas sobre fermentaciones de análogos de kombucha. Por ejemplo, **Setyaningsih et al. (2025)** documentaron en una bebida tipo kombucha elaborada con flor de Jamaica una disminución leve de ºBrix, pasando de 12 ºBrix a 11,80 ºBrix entre los días 0 y 7 de fermentación. De manera similar, **Czarnowska-Kujawska et al. (2024)**, reportaron descensos moderados en análogos de kombucha preparados con diferentes infusiones de hierbas, obteniendo reducciones de 9,6 a 7,9 ºBrix en ortiga, de 9,8 a 8,0 ºBrix en hojas de menta y de 9,7 a 9,0 ºBrix en hojas de grosella negra durante el mismo período. Estos resultados respaldan que, aunque la disminución de sólidos solubles totales no siempre es drástica, sí refleja actividad fermentativa.

Figura 7. *Evolución de ºBrix durante 7 días de fermentación de bebidas.*

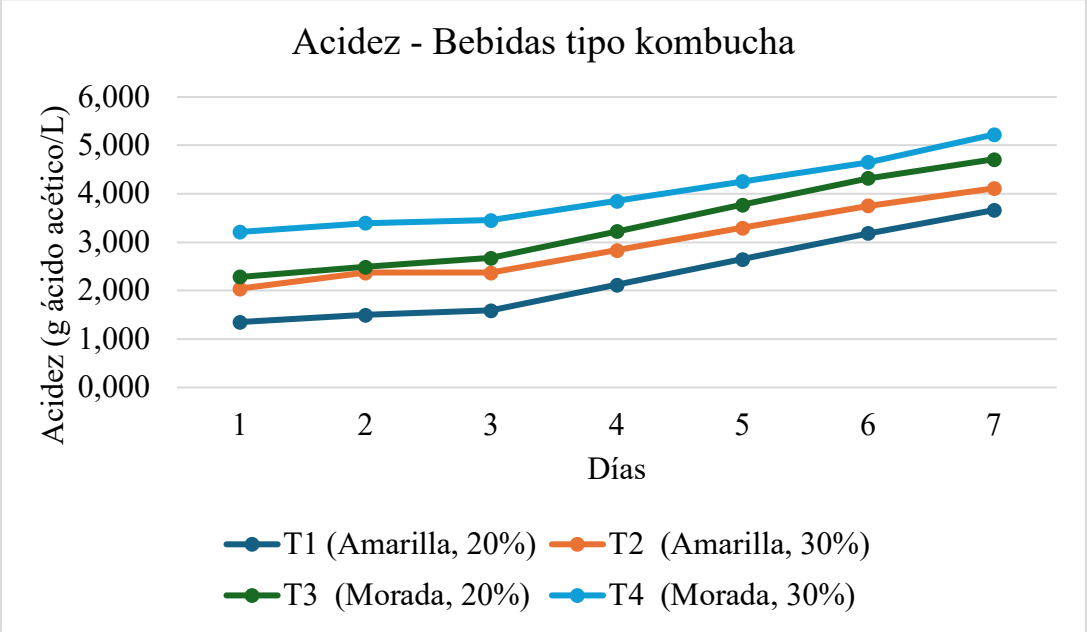


Acidez titulable

En el transcurso del tiempo de fermentación hubo un incremento de acidez en los cuatro tratamientos. Sin embargo, a diferencia del comportamiento de los tratamientos T2 y T4 en cuanto a pH y grados Brix, en la Figura 8 se observa una diferencia. Los tratamientos elaborados con mashua morada (T3 y T4) registraron los valores finales de ácido acético más elevados, con 4,71 g/L y 5,23 g/L, respectivamente.

Este comportamiento podría atribuirse a las características intrínsecas de la materia prima. De acuerdo con los reportes de **Saá (2019)** y **Taipe (2017)**, la mashua morada presenta una acidez titulable considerablemente mayor en estado fresco (77,2%) en comparación con la variedad amarilla (1,59%). Aunque estos valores pueden variar según factores genéticos, ambientales y de cultivo, sugieren que la mashua morada posee una composición natural más ácida y posiblemente un mayor contenido de precursores metabólicos que pueden ser utilizados por los microorganismos durante la fermentación.

Figura 8. *Evolución de acidez durante 7 días de fermentación de bebidas.*



3.1.2 Evaluación de la aceptabilidad sensorial de las bebidas fermentadas elaboradas para el reconocimiento de la mejor formulación

En la Tabla 7 se establecen como primera parte los valores de media y la desviación estándar de los resultados de la cata sensorial, en donde se evaluaron parámetros o atributos de los cuatro tratamientos. Es importante realizar primero un análisis estadístico descriptivo en cualquier análisis sensorial, ya que así se puede tener una tendencia o visión preliminar acerca de qué tratamientos parecen ser los mejores evaluados, al obtener diferencias aparentes que posteriormente deben confirmarse con otras pruebas **(Kessler et al., 2020)**. Según estos parámetros, los tratamientos con mayor aceptabilidad serían el T2 y T4, pertenecientes a las bebidas elaboradas con mayor porcentaje de inóculo (30%).

Seguido de esto, se realizó un análisis no paramétrico de Friedman, para analizar diseños sensoriales que tienen medidas repetidas y en las que se utiliza una escala ordinal, con esto se logra conocer las diferencias existentes entre más de dos tratamientos en las puntuaciones de los panelistas **(García-Gómez et al., 2022)**. También un análisis de Wilcoxon para realizar comparaciones intragrupo entre los tratamientos de cada color (T1 vs. T2 para bebidas amarillas y T3 vs. T4 para bebidas moradas). Se

aplicó esta prueba, puesto que es adecuada para poder conocer o determinar las diferencias que existen en las percepciones sensoriales cuando se relacionan dos muestras del mismo grupo **(Meléndez et al., 2020)**.

Tabla 7

Estadísticos descriptivos, prueba de Friedman Y Wilcoxon de cuatro atributos evaluados en bebidas tipo kombucha.

Tratamientos	**Estadísticos descriptivos**			
	Color	**Olor**	**Sabor**	**Aceptabilidad**
T1, X ± DE	2,95 ± 0,63	2,43 ± 0,86	2,80 ± 0,95	2,72 ± 0,83
T2, X ± DE	3,60 ± 0,74	2,42 ± 0,72	3,28 ± 1,06	3,25 ± 0,93
T3, X ± DE	4,13 ± 0,73	2,33 ± 0,77	2,62 ± 0,87	2,67 ± 0,72
T4, X ± DE	4,13 ± 0,63	2,53 ± 0,76	3,07 ± 0,92	3,02 ± 0,83
Prueba de Friedman	**Rangos promedios**			
T1	1,40[a]	2,48[a]	2,38[a]	2,10[a]
T2	2,37[b]	2,57[a]	3,07[b]	3,22[b]
T3	3,15[c]	2,33[b]	1,87[c]	2,02[c]
T4	3,08[d]	2,62[b]	2,68[d]	2,67[d]
F	42,996	1,008	16,167	22,341
p	<0,001	0,799	0,001	<0,001

Nota. Los valores reportados son valores promedios ± la desviación estándar. Las letras superíndice identifican si hay diferencia significativa entre los tratamientos.

Color

El análisis del atributo color mostró diferencias marcadas entre tratamientos según la prueba de Friedman ($p < 0,001$). Las bebidas elaboradas con mashua morada (T3 y T4) registraron las puntuaciones más elevadas, lo cual se explica por la mayor concentración de pigmentos propios de esta variedad.

Las letras superíndice de la tabla integran los resultados de Friedman con las comparaciones pareadas

realizadas mediante Wilcoxon. En el grupo de bebidas amarillas, la comparación T1–T2 indica que ambas muestras pertenecen a grupos estadísticos distintos, confirmando que el tratamiento con 30% de inóculo (T2) fue sensorialmente superior en este parámetro. En las bebidas moradas, la comparación T3–T4 no evidenció diferencias significativas para el color, razón por la cual ambas comparten la misma letra. La similitud era esperable, dado que ambas comparten el mismo sustrato pigmentado. Este comportamiento concuerda con estudios que señalan que el color influye en la apreciación de bebidas fermentadas **(Dartora et al., 2023).**

Olor

El parámetro olor no presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$), y todas las muestras comparten la misma letra superíndice. Esto demuestra que ni el análisis de Friedman ni las comparaciones pareadas T1–T2 y T3–T4 permitieron identificar contrastes dentro de este atributo. El olor fue, además, una de las características menos valoradas globalmente, probablemente debido a la presencia de compuestos volátiles derivados de la fermentación, como ácidos orgánicos, aldehídos, ésteres y alcoholes superiores, cuya formación tiene un impacto directo en el perfil aromático de las bebidas **(Dartora et al., 2023).**

Sabor

La prueba de Friedman mostró diferencias significativas para el sabor ($p = 0,001$). Las letras superíndice evidencian que, dentro de las bebidas amarillas, T2 obtuvo una valoración superior respecto a T1, coherente con lo observado en la comparación pareada de Wilcoxon. En las bebidas moradas, T4 superó sensorialmente a T3, lo que también se refleja en la asignación de letras diferentes para ambos tratamientos.

La obtención de estos datos sugiere que el 30% de inóculo favoreció la formación de compuestos que aportan sensaciones frescas y ácidas, generando un perfil sensorial más equilibrado. Una mayor carga microbiana inicial puede favorecer el desarrollo de ácidos orgánicos y compuestos volátiles que aportan sabores cítricos y frescos; sin embargo, también puede intensificar notas astringentes o ligeramente rancias **(Sales et al., 2023).**

Aceptabilidad general

La aceptabilidad general evidenció diferencias significativas ($p < 0,001$). Las letras superíndice muestran que, en las bebidas amarillas, T2 fue preferida sobre T1; mientras que, en las bebidas moradas, T4 mostró una ventaja sensorial clara frente a T3. La mayor aceptación de las bebidas elaboradas con 30% de inóculo indica que este nivel favoreció el equilibrio sensorial general.
Este comportamiento es consistente con lo descrito por de **Oliveira et al. (2023)**, quienes destacan que la aceptabilidad del consumidor está influenciada por la interacción entre el tipo de sustrato, el tiempo de fermentación y la dinámica microbiana.

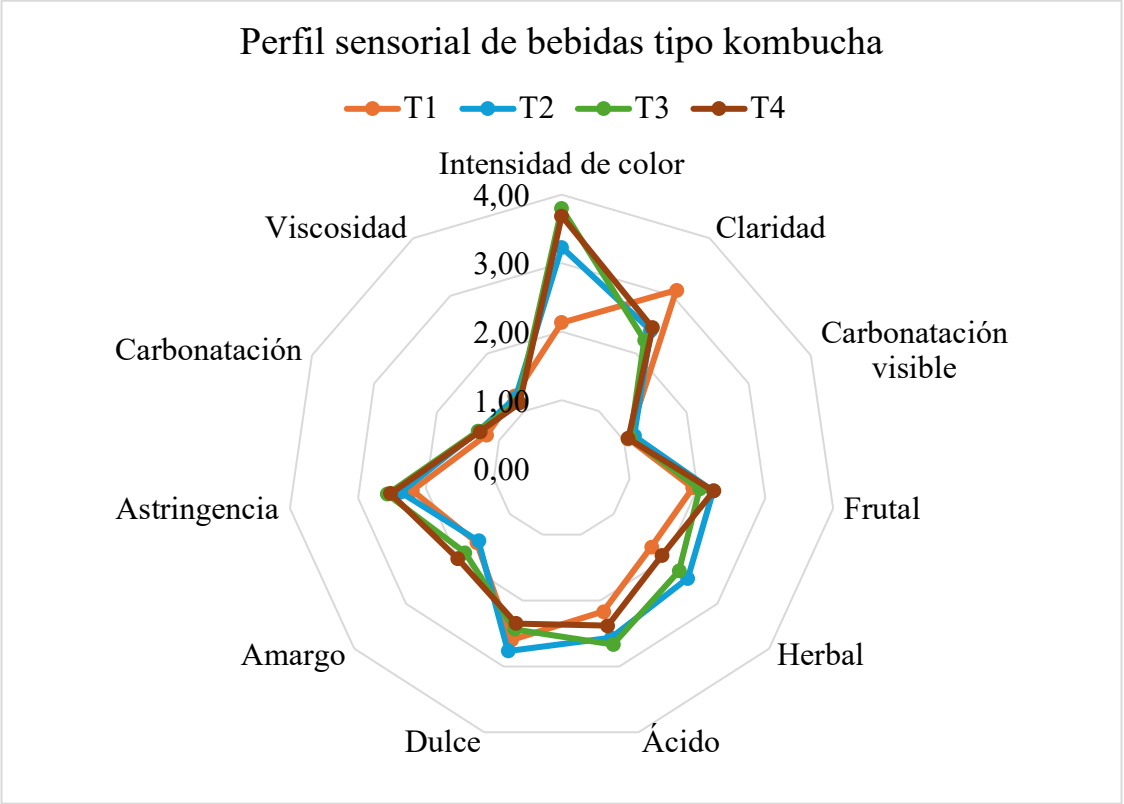
Los resultados obtenidos difieren parcialmente de lo descrito por **Dartora et al. (2023)**, quienes, en un análisis sensorial de kombucha elaborada con té verde, reportaron una mayor preferencia por bebidas más dulces y con menor acidez frente a aquellas fermentadas por más tiempo, aunque sin diferencias significativas. No obstante, esta relación no puede asumirse directamente, dado que las kombuchas fueron elaboradas con sustratos distintos. La formulación influye directamente en el balance dulzor/acidez, por lo que cada matriz requiere condiciones óptimas específicas **(Andreson et al., 2022).** En el caso de las bebidas a base de mashua, los resultados sugieren que una mayor acidez contribuye a una mejor aceptación sensorial. Esto podría deberse a que la mashua posee un sabor y aroma característicos que no siempre resultan agradables, de modo que una fermentación más activa ayuda a modular estas notas y mejorar el perfil sensorial final.

3.1.2.3 Perfil sensorial de bebidas

Para obtener el perfil sensorial de los tratamientos evaluados, se analizaron diversas características correspondientes a parámetros visuales, aroma, sabor y textura en boca. Los promedios de los puntajes otorgados por los panelistas se presentan en la Figura 9. En estos resultados se aprecia que los tratamientos T3 y T4 destacan principalmente en intensidad de color, astringencia y sabor frutal. Esto se relaciona con la mayor concentración de pigmentos y compuestos fenólicos presentes en las bebidas elaboradas con mashua morada, los cuales pueden intensificar tanto la percepción visual como ciertos atributos gustativos. En contraste, los tratamientos T1 y T2 obtuvieron puntajes más altos en los parámetros de claridad, sabor ácido, dulce y astringencia. Estas características podrían estar asociadas a la presencia de ácido acético y polifenoles totales, compuestos que influyen directamente en la percepción de acidez, dulzor residual y características trigeminales como la astringencia **(Soares et al., 2017)**. Además, el equilibrio entre estos compuestos puede contribuir a una mayor armonía sensorial en bebidas fermentadas.

Por otra parte, ninguno de los tratamientos presentó evidencia de carbonatación perceptible, tanto en aspectos visuales como en la sensación en boca. La ausencia de efervescencia es un comportamiento inusual en bebidas tipo kombucha, donde normalmente se genera dióxido de carbono como resultado de la actividad fermentativa. Este resultado sugiere que el sustrato utilizado podría haber limitado la producción de alcohol, el cual es posteriormente transformado en CO_2 durante la fermentación secundaria **(Andrade et al., 2025).**

Figura 9. *Gráfico radial del perfil sensorial de bebidas tipo kombucha.*



3.1.3 Análisis de las características físicoquímicas y microbiológicas de la mejor bebida fermentada

3.1.3.1 pH, ºBrix, acidez titulable y % alcohol etílico

Los valores presentados en la Tabla 9 corresponden a los parámetros fisicoquímicos obtenidos para los tratamientos seleccionados como los de mejor desempeño sensorial: T2, dentro del grupo de bebidas amarillas, y T4, perteneciente a las bebidas elaboradas con mashua morada. En ambos casos, los resultados de pH, °Brix y acidez cumplen con los criterios establecidos en la norma **Kombucha Specification (US 2037:2024)**, la cual indica que el pH no debe superar 4,5, que la acidez titulable puede alcanzar hasta 20 g de ácido acético/L y que el contenido de etanol debe mantenerse por debajo de 0,5% v/v. Esto confirma que las bebidas desarrolladas en esta investigación se encuentran dentro de los parámetros de inocuidad y calidad propuestos internacionalmente para productos de este tipo, garantizando así su aptitud para el consumo.

El contenido de alcohol etílico registrado en estas muestras no coincide con los valores reportados en otras investigaciones. Según **Laureys et al. (2020)**, en kombuchas clasificadas como bebidas sin alcohol se han encontrado concentraciones de etanol entre 0,2 % y 1,1 % (v/v). Estos niveles se consideran adecuados para evitar inhibiciones en el crecimiento de bacterias acéticas, ya que un contenido excesivo de etanol podría interferir negativamente en su actividad metabólica. En contraste, las bebidas elaboradas en este trabajo de investigación presentaron valores inferiores a dicho rango, lo

cual sugiere que el proceso fermentativo pudo haber favorecido una limitada producción de alcohol o una rápida conversión de este por parte de las bacterias acéticas presentes.

Aunque la normativa empleada no establece un valor límite de °Brix, los resultados obtenidos pueden contrastarse con estudios previos. **Sales et al. (2023)** reportan valores finales de 9,7 ± 0,00 °Brix para una kombucha elaborada con té negro tras seis días de fermentación, mientras que un análogo de kombucha producido a partir de cáscara de café alcanzó 10,4 ± 0,14 °Brix. Al compararse con estos antecedentes, se evidencia que las bebidas elaboradas con mashua se encuentran dentro del intervalo de °Brix comúnmente descrito para este tipo de matrices fermentadas, lo cual respalda la consistencia de los resultados obtenidos en esta investigación.

Tabla 8
Datos registrados de las dos mejores muestras del grupo de bebidas amarillas y moradas.

Tratamiento	pH	ºBrix	Acidez	Contenido de alcohol etílico (%)
T2	3,04 ± 0,02	10	0,04	0,00
T4	3,13 ± 0,02	10	0,05	0,00

3.1.3.2 Azúcares totales por inversión

Los datos de azúcares totales también se encuentran dentro del límite máximo establecido en la norma con un valor de 50g/L lo cual indica que las bebidas elaboradas cumplen con los requisitos asociados al contenido total de azúcares, garantizando que el producto final no presente una carga de azúcares excesiva y que el proceso fermentativo se haya desarrollado dentro de parámetros adecuados.

En una bebida tipo kombucha, estos azúcares pueden incluir glucosa, fructosa y sacarosa, que provienen tanto del azúcar añadido como de los carbohidratos propios de la materia prima vegetal. Durante el proceso de fermentación, la sacarosa usada en las bebidas se hidroliza en glucosa y fructosa gracias al consorcio de levaduras, mientras que las bacterias usan estos azúcares para producir ácidos **(Chaluvadi et al., 2024).**

Tabla 9

Azúcares totales por inversión (g/L) de mejores bebidas fermentadas.

Tratamiento	Azúcares totales (g/L)
T2	41,2
T4	46,3

3.1.3.3 Polifenoles totales

Tabla 10

Polifenoles totales de mejores bebidas fermentadas.

Tratamiento	Polifenoles totales mg EAG/L
T2	278,55
T4	660,44

En cuanto a los valores de polifenoles totales expresados en mg de ácido gálico por litro, los resultados obtenidos pueden interpretarse en relación con lo reportado en otros estudios. Por ejemplo, en kombuchas elaboradas a partir de té de vid y té dulce se han registrado concentraciones de aproximadamente 2500 mg EAG/L y 700 mg EAG/L, respectivamente **(Saimaiti et al., 2022)**. Esta comparación evidencia que la cantidad de compuestos fenólicos en una bebida fermentada depende en gran medida del sustrato empleado, ya que cada matriz vegetal posee un perfil específico de metabolitos bioactivos que influye directamente en los niveles finales de polifenoles tras la fermentación. Por esto, los valores observados de los tratamientos T2 y T4 son coherentes con la composición de las variedades de mashua utilizadas.

3.1.4 Análisis microbiológicos de las mejores muestras

En las Tabla 12 se observa que tanto las bebidas elaboradas con mashua amarilla como aquellas formuladas con mashua morada cumplen con los criterios microbiológicos establecidos en la **Kombucha Specification (US 2037:2024)** y en lo reportado por **Paz et al. (2025)**. En las bebidas a base de mashua amarilla se registró ausencia total de los microorganismos analizados, mientras que en las bebidas elaboradas con mashua morada se detectaron 30 UFC/mL de aerobios mesófilos, valor que se mantiene por debajo del límite permitido de 100 UFC/mL, por lo que no representa un riesgo microbiológico.

Estos resultados son coherentes con estudios previos que evidencian la capacidad antimicrobiana de la kombucha. Por ejemplo, **Al-Mohammadi et al. (2021)** demostraron que una kombucha fermentada con té negro presentó actividad inhibitoria frente a microorganismos patógenos como *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 y *Escherichia coli* ATCC 11229, así como frente a hongos filamentosos y levaduras como *Candida albicans* KL-1. De manera similar, **Kaewkod et al. (2019)** reportaron que los metabolitos generados durante la fermentación de kombucha de té verde, negro y oolong mostraron acción antibacteriana contra *Shigella dysenteriae* DMST 1511 y *Salmonella typhi* DMST 22842. Estas evidencias respaldan que la actividad microbiana observada en las bebidas de mashua podría estar relacionada con la producción natural de compuestos bioactivos durante la fermentación.

Tabla 11
Resultados microbiológicos de los mejores tratamientos.

Parámetro	Resultados (bebida amarilla)	Resultados (bebida morada)	Requisito
Escherichia coli por ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Staphylococcus aureus, UFC/mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Salmonella	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Aerobios mesófilos	0	30	Máx. 100 UFC/ml
Mohos y levaduras	0	0	Máx. 10 UFC/ml

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se caracterizaron bebidas tipo kombucha elaboradas con mashua amarilla y morada, evidenciándose que ambas variedades son sustratos adecuados para el proceso fermentativo. Las cuatro formulaciones desarrollaron de manera adecuada los parámetros de pH, ºBrix y acidez titulable durante los 7 días de fermentación, cumpliendo con los requisitos establecidos en las normativas y garantizando productos estables y seguros para el consumo. Asimismo, se observó que la variedad de mashua influyó en la cinética de fermentación, el contenido de polifenoles y la aceptación sensorial; no obstante, todos los tratamientos mostraron buena viabilidad fermentativa.

- Todas las formulaciones con diferentes proporciones de inóculo adaptado presentaron una reducción en pH, una ligera disminución en ºBrix y un incremento de acidez titulable, confirmando una fermentación activa. Las bebidas elaboradas con 30% de inóculo mostraron descensos más notables de pH y ºBrix, evidenciando un mayor consumo de azúcares por parte de levaduras y la consecuente producción de ácidos por bacterias acéticas. En contraste, la acidez fue mayor en las bebidas con mashua morada debido a su composición natural y posibles precursores metabólicos. Estos resultados confirman la adecuada adaptación del SCOBY y la obtención de bebidas fermentadas estables.

- Se evaluaron características sensoriales como sabor, color y aceptabilidad general en las cuatro bebidas, y mediante el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas no paramétricas (Friedman y Wilcoxon) se determinó que los tratamientos con mayor preferencia fueron T2 y T4, correspondientes a las bebidas elaboradas con mashua amarilla y morada, respectivamente, ambas formuladas con 30% de inóculo adaptado. Los análisis estadísticos evidenciaron que una mayor proporción de inóculo mejora el perfil sensorial al generar un mejor equilibrio ácido–dulce. No obstante, el atributo olor obtuvo las puntuaciones más bajas en todas las muestras.

- Las mejores formulaciones (T2 y T4) mostraron un comportamiento fisicoquímico y microbiológico acorde con la normativa utilizada, al presentar valores de pH, acidez titulable, ºBrix y azúcares totales dentro de los rangos establecidos y sin detección de alcohol etílico, evidenciando un proceso fermentativo estable. El contenido de polifenoles reflejó la composición propia de cada variedad, siendo mayor en la bebida de mashua morada. Además, ambas formulaciones cumplieron con los criterios microbiológicos al no presentar microorganismos patógenos y mostrar niveles aceptables de aerobios mesófilos. En conjunto,

estos resultados confirman que las bebidas obtenidas son seguras, estables y cumplen con los parámetros requeridos para este tipo de productos.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda desarrollar y evaluar nuevas formulaciones que permitan optimizar el equilibrio de sabor y olor, ya que, pese al potencial funcional de la mashua, su perfil sensorial natural no resulta del todo agradable para el consumidor. Ajustes en proporciones, mezclas con otros sustratos o la incorporación de ingredientes aromáticos podrían contribuir a mejorar significativamente la aceptabilidad de estas bebidas.

- Es aconsejable dar un valor agregado al residuo sólido obtenido tras el filtrado de la mashua, ya que este material aún contiene compuestos bioactivos y nutrientes de interés. Su incorporación en productos como snacks, harinas funcionales, barras nutritivas o ingredientes para panificación permitiría reducir el desperdicio y aprovechar al máximo la materia prima.

- Se recomienda continuar investigando y diseñando productos innovadores que utilicen mashua como ingrediente principal, aprovechando su valor nutricional. Esto no solo diversifica las alternativas alimentarias para el consumidor actual, sino que también contribuye a la valorización de este cultivo andino, ayudando a su preservación

MATERIAL DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

Aguilar-Galvez, A., Pedreschi, R., Carpentier, S., Chirinos, R., García-Ríos, D., & Campos, D. (2020). Proteomic analysis of mashua (Tropaeolum tuberosum) tubers subjected to postharvest treatments. *Food Chemistry*, *305*, 125485. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.125485

Aloulou, A., Hamden, K., Elloumi, D., Ali, M. B., Hargafi, K., Jaouadi, B., Ayadi, F., Elfeki, A., & Ammar, E. (2012). Hypoglycemic and antilipidemic properties of kombucha tea in alloxan-induced diabetic rats. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, *12*(1), 1–9. https://doi.org/10.1186/1472-6882-12-63/TABLES/1

AOAC INTERNATIONAL. (s. f.). *AOAC Official Method 981.12: pH of acidified foods*. En *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. AOAC International.

AOAC INTERNATIONAL. (s. f.). *AOAC Official Method 942.15: Acidity (Titratable) of Fruit Products*. En *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. AOAC International.

AOAC INTERNATIONAL. (s. f.). *AOAC Official Method 923.09: Invert Sugar in Sugars and Syrups (Lane–Eynon general volumetric method)*. En *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. AOAC International.

Apaza Ticona, L. N., Tena Pérez, V., & Bermejo Benito, P. (2020). Local/traditional uses, secondary metabolites and biological activities of Mashua (Tropaeolum tuberosum Ruíz & Pavón). *Journal of Ethnopharmacology*, *247*, 112152. https://doi.org/10.1016/J.JEP.2019.112152

Asrani, P., Patial, V., & Asrani, R. K. (2019). Production of Fermented Beverages: Shedding Light on Indian Culture and Traditions. *Production and Management of Beverages*, 409–437. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815260-7.00014-6

Battikh, H., Chaieb, K., Bakhrouf, A., & Ammar, E. (2013). ANTIBACTERIAL AND ANTIFUNGAL ACTIVITIES OF BLACK AND GREEN KOMBUCHA TEAS. *Journal of Food Biochemistry*, *37*(2), 231–236. https://doi.org/10.1111/J.1745-4514.2011.00629.X

Budiari, S., Mulyani, H., Filailla, E., Maryati, Y., Devi, A. F., Melanie, H., & Artanti, N. (2022). The physicochemical, antioxidant, and antibacterial properties of turmeric extract fermented with kombucha culture. *AIP Conference Proceedings*, *2493*(1). https://doi.org/10.1063/5.0109979/2827094

Cardoso, R. R., Neto, R. O., dos Santos D'Almeida, C. T., do Nascimento, T. P., Pressete, C. G., Azevedo, L., Martino, H. S. D., Cameron, L. C., Ferreira, M. S. L., & Barros, F. A. R. de. (2020). Kombuchas from green and black teas have different phenolic profile, which impacts their

antioxidant capacities, antibacterial and antiproliferative activities. *Food Research International*, *128*, 108782. https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2019.108782

Chaluvadi, S., Hotchkiss, A. T., Smith, B., McVaugh, B., White, A. K., Guron, G. K. P., Renye, J. A., & Yam, K. L. (2024). Key Kombucha Process Parameters for Optimal Bioactive Compounds and Flavor Quality. *Fermentation 2024, Vol. 10, Page 605*, *10*(12), 605. https://doi.org/10.3390/FERMENTATION10120605

Chen, F.-I., Chang, Y.-T., Khoirunnida, F. L., Pan, H.-Y., Chuang, P.-Y., & Lu, Y.-C. (2025). The Effect of Different Yeast and Bacterial Strain Combinations on the Physicochemical and Metabolic Profile of Kombucha Fermentation. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 101296. https://doi.org/10.1016/J.IJGFS.2025.101296

Cuya, R. (2009). *Efecto de secado sobre la actividad antioxidante de la harina de mashua (Tropaeolum tuberosum R&P)* . Obtenido de [Tesis de grado, Universidad Nacional del Callao]: http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/421

de Miranda, J. F., Ruiz, L. F., Silva, C. B., Uekane, T. M., Silva, K. A., Gonzalez, A. G. M., Fernandes, F. F., & Lima, A. R. (2022). Kombucha: A review of substrates, regulations, composition, and biological properties. *Journal of Food Science*, *87*(2), 503–527. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16029

Fang, L., Wang, W., Dou, Z., Chen, J., Meng, Y., Cai, L., & Li, Y. (2023). Effects of mixed fermentation of different lactic acid bacteria and yeast on phytic acid degradation and flavor compounds in sourdough. *LWT*, *174*, 114438. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2023.114438

Future Marketing Insights Inc. (2025). *Pronóstico del mercado de alimentos y bebidas fermentadas - 2035*. https://www.futuremarketinsights.com/reports/fermented-foods-and-beverages-market

García-Gómez, B., Fernández-Canto, N., Vázquez-Odériz, M. L., Quiroga-García, M., Muñoz-Ferreiro, N., & Romero-Rodríguez, M. Á. (2022). Sensory descriptive analysis and hedonic consumer test for Galician type breads. *Food Control*, *134*, 108765. https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2021.108765

Gonzales, J. A. (2020). Effect of the aqueous solution of «mashua» on the reproductive capacity of male mus musculus and its implication in preimplantation embryonic development. Preclinical test. *Revista de la Facultad de Medicina Humana, 20*(4), 662-669.

Guacho, L. N., Atehortua, M. K., Curruchich, W. A., & Hernández, A. (2023). Consecuencias de la reducción de cultivos andinos: situación nutricional de tres comunidades Kichwa de Ecuador. *Innovare Revista de Ciencia y Tecnología*, *12*(1), 16–22. https://doi.org/10.5377/innovare.v12i1.15954

Guerra, L. S., Cevallos-Cevallos, J. M., Weckx, S., & Ruales, J. (2022a). Traditional Fermented Foods from Ecuador: A Review with a Focus on Microbial Diversity. *Foods*, *11*(13), 1854. https://doi.org/10.3390/FOODS11131854

Hidalgo-Fuentes, B., de Jesús-José, E., Cabrera-Hidalgo, A. de J., Sandoval-Castilla, O., Espinosa-Solares, T., González-Reza, R. M., Zambrano-Zaragoza, M. L., Liceaga, A. M., & Aguilar-Toalá, J. E. (2024). Plant-Based Fermented Beverages: Nutritional Composition, Sensory Properties, and Health Benefits. *Foods 2024, Vol. 13, Page 844*, *13*(6), 844. https://doi.org/10.3390/FOODS13060844

Jayabalan, R., Malbaša, R. V., Lončar, E. S., Vitas, J. S., & Sathishkumar, M. (2014). A Review on Kombucha Tea—Microbiology, Composition, Fermentation, Beneficial Effects, Toxicity, and Tea Fungus. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *13*(4), 538–550. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12073

Kessler, S. J., Jiang, F., & Andrew Hurley, R. (2020). The State of Automated Facial Expression Analysis (AFEA) in Evaluating Consumer Packaged Beverages. *Beverages 2020, Vol. 6, Page 27*, *6*(2), 27. https://doi.org/10.3390/BEVERAGES6020027

Meléndez, R., Giraldo, R., & Leiva, V. (2020). Sign, Wilcoxon and Mann-Whitney Tests for Functional Data: An Approach Based on Random Projections. *Mathematics 2021, Vol. 9, Page 44*, *9*(1), 44. https://doi.org/10.3390/MATH9010044

Ministerio de Agricultura Ganadería y Abastecimiento. (2019). *INSTRUCCIÓN REGLAMENTARIA N.° 41, DE 17 DE SEPTIEMBRE DE 2019 - INSTRUCCIÓN REGLAMENTARIA N.° 41, DE 17 DE SEPTIEMBRE DE 2019 - DOU - Prensa Nacional*. https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-41-de-17-de-setembro-de-2019-216803534

Paramithiotis, S., Patra, J. K., Kotseridis, Y., & Dimopoulou, M. (2024). Fermented Beverages Revisited: From Terroir to Customized Functional Products. *Fermentation 2024, Vol. 10, Page 57*, *10*(1), 57. https://doi.org/10.3390/FERMENTATION10010057

Praveen, M., & Brogi, S. (2025). Microbial Fermentation in Food and Beverage Industries: Innovations, Challenges, and Opportunities. *Foods*, *14*(1), 114. https://doi.org/10.3390/FOODS14010114

Saá, M. (2019). *Evaluación del efecto de secado de la mashua morada tropaeolum tuberosum sobre las propiedades organolépticas y actividad antioxidante* . Obtenido de [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]: http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9033

Sanwal, N., Gupta, A., Bareen, M. A., Sharma, N., & Sahu, J. K. (2023). Kombucha fermentation: Recent trends in process dynamics, functional bioactivities, toxicity management, and potential applications. *Food Chemistry Advances*, *3*, 100421. https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2023.100421

Setyaningsih, W., Warni, W. O. R. S., Larasati, I. D., Yanti, R., & Utami, T. (2025). Bioprocess strategies for maximizing SCOBY growth and evaluating fermentation dynamics on phenolic content and antioxidant activity in Roselle-based Kombucha. *Phytomedicine Plus*, *5*(2), 100791. https://doi.org/10.1016/J.PHYPLU.2025.100791

Taipe, L. (2017). *Fenoles totales y actividad antioxidante en mashua (tropaeolum tuberosum) en estado fresco, soleado y cocido de las variedades amarillo zapallo y negra.* Obtenido de [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]: http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1592

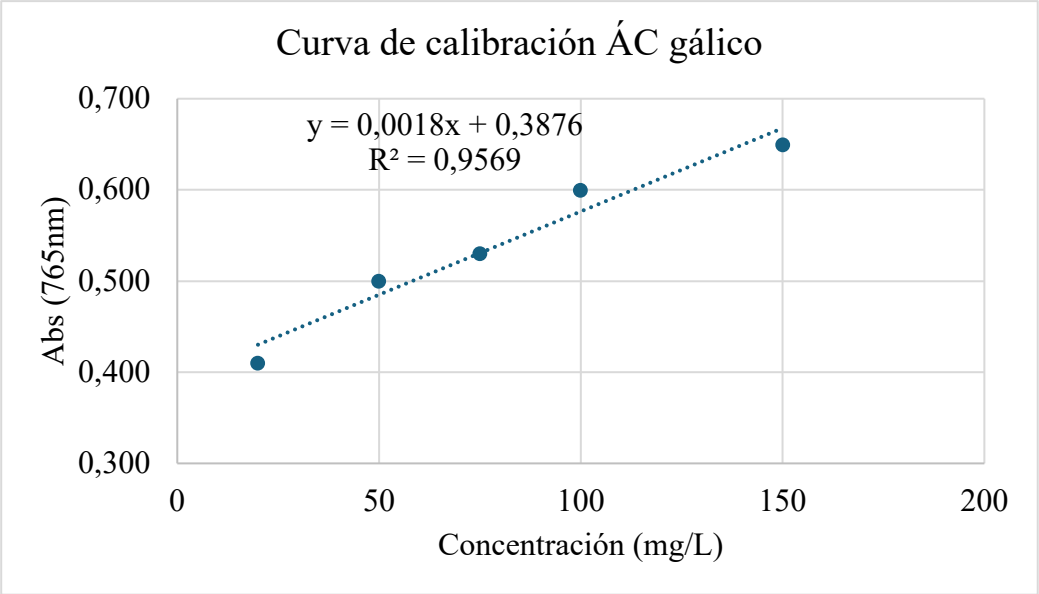
Valle, M. (2017). *Caracterización morfológica y fenología en variedades de Tropaeolum tuberosum (Mashua) de interés medicinal.* Obtenido de [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato].: http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26125

Wang, B., Rutherfurd-Markwick, K., Naren, N., Zhang, X. X., & Mutukumira, A. N. (2023). Microbiological and Physico-Chemical Characteristics of Black Tea Kombucha Fermented with a New Zealand Starter Culture. *Foods*, *12*(12), 2314. https://doi.org/10.3390/FOODS12122314

Yusufoğlu, B., Açar, Y., Kezer, G., Zargarchi, S., Mertoglu, K., & Esatbeyoglu, T. (2025). Exploring the potential of anthocyanin-infused fermented beverages for sustainable health solutions: A pathway to functional food development. *Future Foods*, *12*, 100708. https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2025.100708

ANEXOS

ANEXO 1. Curva estándar de ácido gálico.



ANEXO 2. Tabla de pH de inóculo adaptado por 21 días.

Día	Mashua	pH	DE
1	Amarilla	3,60	± 0,03
	Morada	3,73	± 0,02
2	Amarilla	3,59	± 0,01
	Morada	3,73	± 0,01
3	Amarilla	3,59	± 0,00
	Morada	3,72	± 0,01
4	Amarilla	3,55	± 0,01
	Morada	3,64	± 0,01
5	Amarilla	3,53	± 0,02
	Morada	3,62	± 0,02
6	Amarilla	3,50	± 0,03
	Morada	3,61	± 0,02
7	Amarilla	3,48	± 0,02
	Morada	3,61	± 0,04
8	Amarilla	3,42	± 0,01
	Morada	3,60	± 0,01
9	Amarilla	3,36	± 0,01
	Morada	3,59	± 0,02

10	Amarilla	3,33	± 0,02
	Morada	3,59	± 0,01
11	Amarilla	3,29	± 0,02
	Morada	3,59	± 0,01
12	Amarilla	3,28	± 0,02
	Morada	3,58	± 0,00
13	Amarilla	3,28	± 0,03
	Morada	3,52	± 0,04
14	Amarilla	3,28	± 0,01
	Morada	3,45	± 0,03
15	Amarilla	3,27	± 0,01
	Morada	3,39	± 0,02
16	Amarilla	3,26	± 0,00
	Morada	3,37	± 0,01
17	Amarilla	3,27	± 0,01
	Morada	3,32	± 0,01
18	Amarilla	3,27	± 0,01
	Morada	3,36	± 0,01
19	Amarilla	3,21	± 0,01
	Morada	3,29	± 0,01
20	Amarilla	3,2	± 0,02
	Morada	3,29	± 0,01
21	Amarilla	3,18	± 0,03
	Morada	3,27	± 0,02

ANEXO 3. Tabla de ºBrix de inóculo adaptado por 21 días.

Día	Mashua	ºBrix	DE
1	Amarilla	9,44	± 0,00
	Morada	9,50	± 0,00
2	Amarilla	9,40	± 0,00
	Morada	9,48	± 0,00
3	Amarilla	9,40	± 0,00
	Morada	9,48	± 0,00
4	Amarilla	9,38	± 0,00
	Morada	9,46	± 0,00
5	Amarilla	9,38	± 0,00
	Morada	9,46	± 0,00
6	Amarilla	9,36	± 0,00
	Morada	9,46	± 0,00
7	Amarilla	9,32	± 0,00
	Morada	9,42	± 0,00
8	Amarilla	9,26	± 0,00
	Morada	9,36	± 0,00
9	Amarilla	9,24	± 0,00
	Morada	9,34	± 0,00
10	Amarilla	9,20	± 0,00
	Morada	9,30	± 0,00
11	Amarilla	9,14	± 0,00
	Morada	9,28	± 0,00
12	Amarilla	9,10	± 0,00
	Morada	9,24	± 0,00
13	Amarilla	9,1	± 0,00
	Morada	9,2	± 0,00
14	Amarilla	9,1	± 0,00
	Morada	9,2	± 0,00
15	Amarilla	9,10	± 0,00
	Morada	9,20	± 0,00
16	Amarilla	9,10	± 0,00
	Morada	9,20	± 0,00
17	Amarilla	9,10	± 0,00
	Morada	9,20	± 0,00
18	Amarilla	9,10	± 0,00
	Morada	9,20	± 0,00
19	Amarilla	9,10	± 0,00
	Morada	9,20	± 0,00
20	Amarilla	9,1	± 0,00

	Morada	9,2	± 0,00
21	Amarilla	9,1	± 0,00
	Morada	9,2	± 0,00

ANEXO 4. Tabla de acidez de inóculo adaptado por 21 días.

Día	Mashua	Acidez	DE
1	Amarilla	1,317	± 0,002
	Morada	1,129	± 0,001
2	Amarilla	1,411	± 0,002
	Morada	1,201	± 0,003
3	Amarilla	1,621	± 0,003
	Morada	1,321	± 0,003
4	Amarilla	1,952	± 0,004
	Morada	1,573	± 0,004
5	Amarilla	2,363	± 0,003
	Morada	2,201	± 0,004
6	Amarilla	2,462	± 0,005
	Morada	2,216	± 0,002
7	Amarilla	2,672	± 0,003
	Morada	2,228	± 0,003
8	Amarilla	2,762	± 0,004
	Morada	2,249	± 0,003
9	Amarilla	2,853	± 0,004
	Morada	2,252	± 0,002
10	Amarilla	2,919	± 0,003
	Morada	2,312	± 0,003
11	Amarilla	3,003	± 0,003
	Morada	2,498	± 0,003
12	Amarilla	3,123	± 0,002
	Morada	2,678	± 0,002
13	Amarilla	3,189	± 0,004
	Morada	3,237	± 0,002
14	Amarilla	3,258	± 0,003
	Morada	3,384	± 0,003
15	Amarilla	3,477	± 0,003
	Morada	4,264	± 0,001
16	Amarilla	3,834	± 0,003
	Morada	4,492	± 0,003
17	Amarilla	4,234	± 0,003
	Morada	4,594	± 0,004
18	Amarilla	4,174	± 0,003

	Morada	4,504	± 0,004
19	Amarilla	4,144	± 0,003
	Morada	4,354	± 0,003
20	Amarilla	4,054	± 0,003
	Morada	4,330	± 0,004
21	Amarilla	4,018	± 0,004
	Morada	4,294	± 0,003

ANEXO 5. Tabla de pH de bebidas tipo kombucha.

	pH			
Día	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**
1	3,52 ± 0,003	3,32 ± 0,001	3,63 ± 0,001	3,44 ± 0,002
2	3,52 ± 0,002	3,32 ± 0,003	3,62 ± 0,003	3,40 ± 0,002
3	3,44 ± 0,003	3,29 ± 0,001	3,62 ± 0,002	3,40 ± 0,003
4	3,36 ± 0,001	3,21 ± 0,002	3,54 ± 0,003	3,33 ± 0,002
5	3,28 ± 0,002	3,14 ± 0,003	3,47 ± 0,001	3,26 ± 0,001
6	3,20 ± 0,002	3,06 ± 0,002	3,39 ± 0,002	3,19 ± 0,002
7	3,18 ± 0,003	3,06 ± 0,001	3,34 ± 0,002	3,13 ± 0,003

ANEXO 6. Tabla de ºBrix de bebidas tipo kombucha.

	ºBrix			
Día	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**
1	10,40 ± 0,000	10,50 ± 0,000	10,60 ± 0,000	10,60 ± 0,000
2	10,40 ± 0,000	10,50 ± 0,000	10,60 ± 0,000	10,60 ± 0,000
3	10,40 ± 0,000	10,40 ± 0,000	10,40 ± 0,000	10,20 ± 0,000
4	10,20 ± 0,000	10,20 ± 0,000	10,40 ± 0,000	10,20 ± 0,000
5	10,20 ± 0,000	10,20 ± 0,000	10,20 ± 0,000	10,00 ± 0,000
6	10,10 ± 0,000	10,00 ± 0,000	10,20 ± 0,000	10,00 ± 0,000
7	10,10 ± 0,000	10,00 ± 0,000	10,20 ± 0,000	10,00 ± 0,000

ANEXO 7. Tabla de acidez de bebidas tipo kombucha.

	Acidez			
Día	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**
1	1,351 ± 0,003	2,042 ± 0,002	2,282 ± 0,002	3,213 ± 0,004
2	1,501 ± 0,001	2,372 ± 0,004	2,492 ± 0,003	3,393 ± 0,003
3	1,591 ± 0,004	2,372 ± 0,003	2,672 ± 0,003	3,453 ± 0,003
4	2,123 ± 0,002	2,831 ± 0,004	3,222 ± 0,004	3,852 ± 0,002
5	2,651 ± 0,003	3,294 ± 0,001	3,774 ± 0,002	4,255 ± 0,004
6	3,183 ± 0,002	3,753 ± 0,003	4,324 ± 0,002	4,654 ± 0,003
7	3,663 ± 0,004	4,114 ± 0,002	4,714 ± 0,003	5,225 ± 0,002

ANEXO 8. Modelo de hoja de evaluación de aceptabilidad de las bebidas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

HOJA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

PRUEBA DE ACEPTABILIDAD ESCALA HEDÓNICA

Fecha:

Esta cata tiene por objetivo evaluar la aceptabilidad y las características sensoriales de bebidas fermentadas tipo kombucha elaboradas con inóculo de SCOBY a partir de dos variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*).

Instrucción:

Por favor, pruebe cada muestra en el orden asignado e indique su nivel de agrado. Marque con el número que corresponda a su puntaje de preferencia, según la escala que se muestra a continuación:

5 = me gusta mucho

4 = me gusta moderadamente

3 = ni me gusta, ni me disgusta

2 = me disgusta moderadamente

1 = me disgusta mucho

Característica	238	425	367	127
Color				
Olor				
Sabor				
Aceptabilidad				

A continuación, califique el producto en una escala ordinal de cinco puntos según las características propuestas.

4 = intenso

3 = moderado

2 = débil

1 = ausente

ANEXO 9. Modelo de hoja de evaluación de perfil sensorial de las bebidas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Categoría	Característica	238	425	367	127
Visual	Intensidad de color				
	Claridad				
	Carbonatación visible				
Aroma	Frutal				
	Herbal				
Sabor	Ácido				
	Dulce				
	Amargo				
Textura en boca	Astringencia				
	Carbonatación				
	Viscosidad				

Observaciones:

_____

_____

_____

ANEXO 10. Troceado de mashua.



ANEXO 11. Cocción de mashua.



ANEXO 12. Inóculos adaptados a cada variedad de mashua.



ANEXO 13. Fermentación de inóculos adaptados a mashua.



ANEXO 14. Elaboración de tratamientos por duplicado.



ANEXO 15. Evaluación sensorial.



ANEXO 16. Análisis de acidez titulable.



ANEXO 17. Análisis de grado alcohólico.



ANEXO 18. Análisis microbiológicos de las mejores muestras.



ANEXO 19. Tablas de gramos de alcohol por gravedad específica 20ºC/20ºC

Gravedad específica 20°C/20°C	% v/v	% m/m	G/100 cm^3	Gravedad específica 20°C/20°C	% v/v	% m/m	G/100 cm^3	Gravedad específica 20°C/20°C	% v/v	% m/m	G/100 cm^3
1,000 00	0,00	0,00	0,00	0998 66	0,90	0,71	0,71	0,997 33	180	143	1,43
0,999 97	0,02	0,02	0,02	863	0,92	0,73	0,73	730	182	145	1,45
994	0,04	0,03	0,03	860	0,94	0,74	0,74	727	184	146	1,46
991	0,06	0,05	0,05	85 7	0,96	0,76	0,76	725	186	148	1,48
988	0,08	0,06	0,06	854	0,98	0,77	0,77	722	188	149	1,49
0,999 85	0,10	0,08	0,08	0,998 51	1,00	0,79	0,79	0,997 19	1,90	1,51	1,51
982	0,12	0,10	0,10	848	1,02	0,81	0,81	716	1,92	1,53	1,53
979	0,14	0,11	0,11	845	1,04	0,82	0,82	713	1,94	1,54	1,54
976	0,16	0,13	0,13	842	1,06	0,84	0,84	710	1,96	1,56	1,56
973	0,18	0,14	0,14	839	1,08	0,85	0,85	707	1,98	1,57	1,57
0,999 70	0,20	0,16	0,16	0, 998 36	1,10	0,87	0,87	0,007 04	2,00	1,59	1,59
967	0,22	0,18	0,18	833	1,12	0,89	0,89	701	2,02	1,61	1,61
964	0,24	0,19	0,19	830	1,14	0,90	0,90	698	2,04	1,62	1,62
961	0,26	0,21	0,21	827	1,16	0,92	0,92	695	2,06	1,64	1,64
958	0,28	0,22	0,22	824	1,18	0,93	0,93	692	2,08	1,65	1,65
0,999 55	0,30	0,24	0,24	0,998 21	1,20	0,95	0,95	0,996 89	2,10	1,67	1,67
952	0,32	0,26	0,26	818	1,22	0,97	0,97	686	2,12	1,69	1,69
949	0,34	0,27	0,27	815	1,24	0,98	0,98	683	2,14	1,70	1,70
945	0,36	0,29	0,29	813	1,26	1,00	1,00	681	2,16	1,72	1,72
942	0,38	0,30	0,30	810	1,28	1,01	1,01	678	2,18	1,73	1,73
0,999 39	0,40	0,32	0,32	0,998 07	1,30	1,03	1,03	0,996 75	2,20	1,75	1,75
936	0,42	0,34	0,34	804	1,32	1,05	1,05	672	2,22	1,76	1,76
933	0,44	0,35	0,35	801	1,34	1,06	1,06	669	2,24	1,78	1,78
930	0,46	0,37	0,37	798	1,36	1,08	1,08	667	2,26	1,79	1,79
927	0,48	0,38	0,38	795	1,38	1,09	1,09	664	2,28	1,81	1,81
0,999 24	0,50	0,40	0,40	0,997 92	1,40	1,11	1,11	0,996 61	2,30	1,82	1,82
921	0,52	0,41	0,41	789	1,42	1,13	1,13	658	2,32	1,84	1,84
918	0,54	0,43	0,43	786	1,44	1,14	1,14	655	2,34	1,85	1,85
916	0,56	0,44	0,44	783	1,46	1,16	1,16	652	2,36	1,87	1,87
913	0,58	0,46	0,46	780	1,48	1,17	1,17	649	2,38	1,88	1,88
0,999 10	0,60	0,47	0,47	0,997 77	1,50	1,19	1,19	0,996 46	2,40	1,90	1,89
907	0,62	0,49	0,49	774	1,52	1,21	1,21	643	2,42	1,92	1,91
904	0,64	0,50	0,50	771	1,54	1,22	1,22	640	2,44	1,93	1,92
901	0,66	0,52	0,52	769	1,56	1,24	1,24	638	2,46	1,95	1,94
898	0,68	0,53	0,53	766	1,58	1,25	1,25	635	2,48	1,96	1,95
0,998 95	0,70	0,55	0,55	0,997 63	1,60	1,27	1,26	0,996 32	2,50	1,98	1,97
892	0,72	0,57	0,57	760	1,62	1,29	1,28	629	2,52	2,00	1,99
889	0,74	0,58	0,58	757	1,64	1,30	1,29	626	2,54	2,01	2,00
886	0,76	0,60	0,60	754	1,66	1,32	1,31	624	2,56	2,03	2,02
883	0,78	0,61	0,61	751	1,68	1,33	1,32	621	2,58	2,04	2,03
0,998 80	0,80	0,63	0,63	0,997 48	1,70	1,35	1,34	0,996 18	2,60	2,06	2,05
877	0,82	0,65	0,65	745	1,72	1,37	1,36	615	2,62	2,08	2,07
874	0,84	0,66	0,66	742	1,74	1,38	1,37	612	2,64	2,09	2,08
872	0,86	0,68	0,68	739	1,76	1,40	1,39	609	2,66	2,11	2,10
869	0,88	0,69	0,69	736	1,78	1,41	1,40	606	2,68	2,12	2,11
0,996 03	2,70	2,14	2,13	0,994 75	3,60	2,86	2,84	0,003 49	4,50	3,58	3,55
600	2,72	2,16	2,15	472	3,62	2,88	2,86	346	4,52	3,60	3,57
597	2,74	2,17	2,16	469	3,64	2,89	2,87	344	4,54	3,61	3,58
595	2,76	2,19	2,18	467	3,66	2,91	2,89	341	4,56	3,63	3,60
592	2,78	2,20	2,19	464	3,68	2,92	2,90	339	4,58	3,64	3,61
0,995 89	2,80	2,22	2,21	0,994 61	3,70	2,94	2,92	0,993 36	4,60	3,66	3,63
586	2,82	2,24	2,23	458	3,72	2,96	2,94	333	4,62	3,68	3,65
583	2,84	2,25	2,24	455	3,74	2,97	2,95	330	4,64	3,69	3,66
580	2,86	2,27	2,26	453	3,76	2,99	2,97	328	4,66	3,71	3,68
577	2,88	2,28	2,27	450	3,78	3,00	2,98	325	4,68	3,72	3,69
0,995 74	2,90	2,30	2,29	0,994 47	3,80	3,02	3,00	0,993 22	4,70	3,74	3,71
571	2,92	2,32	2,31	444	3,82	3,04	3,02	319	4,72	3,76	3,73
568	2,94	2,33	2,32	441	3,84	3,05	3,03	316	4,74	3,77	3,74
566	2,96	2,35	2,34	439	3,86	3,07	3,05	314	4,76	3,79	3,76
563	2,98	2,36	2,35	436	3,88	3,08	3,06	311	4,78	3,80	3,77