

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

Evaluación del Proceso de Obtención de una Bebida Análoga al
Té de Kombucha Utilizando Residuos del Banano como Sustrato

ING-2337

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros en Alimentos

Presentado por:

Javier Alfredo Jarrin Diaz

Ronny Eduardo Blanc Quimi

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2023

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi madre Elizabeth Quimi quien ha sido el pilar a lo largo de toda mi vida. Inspirándome en las palabras sabias de Thomas Edison, reconozco que soy el resultado de lo que una gran mujer quiso hacer de mí. A mi familia en especial a mis tías Yadira y Jacqueline Quimi les expreso mi gratitud por su constante apoyo. A mis queridos amigos, quienes han compartido risas, desafíos y momentos inolvidables a lo largo de este viaje académico. Este logro también es de ustedes quienes han sido parte esencial de mi historia, gracias por formar parte de este camino lleno de aprendizaje y crecimiento.

Ronny Blanc

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por haberme apoyado siempre y a mi esposa e hijos por ser quienes me dan la fortaleza para no rendirme.

Javier Jarrín

Declaración Expresa

Nosotros Javier Alfredo Jarrin Diaz y Ronny Eduardo Blanc Quimi acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 6 de febrero del 2024.



Javier Alfredo Jarrin Diaz



Ronny Eduardo Blanc Quimi

EVALUADORES

.....
Ph.D Tania Guzman

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Msc. Manuel Fiallos

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Ecuador es uno de los principales exportadores mundiales de banano, su industria bananera enfrenta considerables desafíos en la gestión de la biomasa residual, impulsando la búsqueda de alternativas sostenibles. Esta investigación se centra en la obtención de una bebida análoga al té de kombucha mediante la utilización de residuos de banano como sustrato, ofreciendo una solución relevante para la problemática ambiental derivada de la gestión inadecuada de estos residuos en la industria bananera ecuatoriana. En este contexto, se empleó el diseño experimental Box-Benkhken para optimizar la elaboración de una bebida más aceptada a partir de jugo de nervadura de banano, infusión de té verde, inóculo madre de SCOBY y jugo de maracuyá. Este enfoque permitió determinar la formulación óptima, evaluar propiedades fisicoquímicas y nutricionales, como el contenido de azúcares, acidez, pH y actividad antioxidante por el método DPPH en la bebida optimizada, y estimar los costos de producción. Los resultados revelaron una formulación óptima que comprende un 45,03% de jugo de nervadura de banano, 32,12% de infusión de té verde, 26,71% de puré de banano y 17,46% de vinagre madre de SCOBY. La actividad antioxidante de la bebida optimizada fue 17,09 % de inhibición por DPPH. El análisis de costos estableció un costo unitario de producción de \$2,30 y un precio de venta de \$4,18, subrayando la viabilidad económica de esta propuesta. La relevancia de este estudio radica en su contribución a la resolución de problemas ambientales y su enfoque hacia la sostenibilidad en la industria alimentaria, fomentando la innovación en la gestión de residuos y la producción de bebidas nutracéuticas. Estas acciones se alinean con las demandas globales de prácticas más sostenibles y eficientes en la gestión de recursos.

Palabras Clave: Kombucha, Biomasa residual del banano, Optimización, Sostenibilidad.

ABSTRACT

Ecuador is one of the world's leading exporters of bananas, its banana industry faces considerable challenges in the management of waste biomass, prompting the search for sustainable alternatives. This research focuses on obtaining a beverage analogous to kombucha tea by using banana waste as a substrate, offering a relevant solution to the environmental problems derived from the inadequate management of this waste in the Ecuadorian banana industry. In this context, the Box-Behnken experimental design was used to optimise the elaboration of a more acceptable beverage from banana rib juice, green tea infusion, SCOBY mother inoculum and passion fruit juice. This approach allowed determining the optimal formulation, evaluating physicochemical and nutritional properties, such as sugar content, acidity, pH and antioxidant activity by the DPPH method in the optimised beverage, and estimating production costs. The results revealed an optimal formulation comprising 45.03% banana rib juice, 32.12% green tea infusion, 26.71% banana puree and 17.46% SCOBY mother vinegar. The antioxidant activity of the optimised beverage was 17.09% inhibition by DPPH. The cost analysis established a unit production cost of \$2.30 and a selling price of \$4.18, underlining the economic viability of this proposal. The relevance of this study lies in its contribution to solving environmental problems and its focus on sustainability in the food industry, encouraging innovation in waste management and the production of nutraceutical beverages. These actions are aligned with global demands for more sustainable and efficient resource management practices.

Keywords: Kombucha, Banana Residual Biomass, Optimization, Sustainability

ÍNDICE GENERAL

ABREVIATURAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
Capítulo 1	1
Introducción.....	1
Descripción del problema	3
Justificación del problema	4
Objetivos	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos.....	6
Marco teórico	6
CAPÍTULO 2.....	15
2.1. Metodología.....	15
2.1.1 Materia prima e ingredientes	15
2.1.2 Descripción del procesamiento de la bebida	15
2.1.3 Diseño experimental	16
2.1.4 Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de la bebida fermentada.....	18
2.1.5 Costos de producción de la bebida fermentada.....	23
CAPÍTULO 3.....	24
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	24
3.1. Optimización de la formulación de la bebida análoga al té de kombucha	24
3.2. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de la bebida fermentada	27
3.4 Diseño de planta	35
CAPÍTULO 4.....	37

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
4.1. Conclusiones.....	37
4.2. Recomendaciones.....	39

ABREVIATURAS

Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast (SCOBY).

Association of Analytical Communities o Asociación Científica Dedicada a la Excelencia Analítica (AOAC).

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elaboración tradicional del té de kombucha. Tomado de Júnior et al., (2022).	8
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Revisión de distintas infusiones utilizadas para la obtención de kombucha	13
Tabla 2. Diseño experimental Box - Behnken	17
Tabla 3. Estimaciones obtenidas del diseño Box - Behnken	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4. Análisis de varianza (ANOVA)	26
Tabla 5. Propiedades físicas y químicas de los componentes y la bebida optimizada	28
Tabla 6. Evaluación de los distintos tratamientos	31
Tabla 7. Costos de producción - bebida análoga del té de kombucha	34

Capítulo 1

Introducción

La kombucha ha experimentado un notable crecimiento en su popularidad a nivel global, atribuido a sus indiscutibles beneficios para la salud (Diez-Ozaeta & Astiazaran, 2022). La composición y calidad de la kombucha están inextricablemente ligadas a una serie de factores determinantes, tales como el tipo y la cantidad de sustrato de azúcar, así como el tiempo y la temperatura de fermentación, factores que ejercen un impacto directo en el contenido de ácidos orgánicos, vitaminas, compuestos fenólicos totales y el contenido alcohólico de la bebida (Fabricio et al., 2022).

Diversos elementos, como la temperatura, el pH, el nivel de oxígeno, el sustrato utilizado, la concentración de azúcar, el origen del cultivo simbiótico de bacterias y levaduras (SCOBY, siglas en inglés), la geometría del recipiente y el tiempo de fermentación, han sido identificados como elementos capaces de influir significativamente en el proceso de fermentación de la kombucha. Estos parámetros pueden generar modificaciones en las características sensoriales, las propiedades químicas, la calidad nutricional y las actividades biológicas de la bebida (Diez-Ozaeta & Astiazaran, 2022).

A pesar de que históricamente el té de *Camellia sinensis* ha sido el sustrato preponderante en la producción de kombucha, investigaciones recientes han explorado diversas materias primas como sustitutos eficaces de este elemento tradicional (Assad et al., 2023; Bhattacharya et al., 2013). Estudios han revelado que la fermentación de kombucha en sustratos alternativos, como infusiones de hierbas, zumos de frutas, leche, soja, plantas alimenticias no convencionales, como el *Malvaviscus arboreus* (Assad et al., 2023, 2023; Costa et al., 2022; de Miranda et al., 2022; Kanurić et al., 2018; Tu et al., 2019), entre otros, ha conducido a resultados satisfactorios en términos de cinética y propiedades biológicas.

Esta evolución ha estimulado investigaciones actuales que buscan reemplazar o complementar la *Camellia sinensis* con otras hierbas, frutas y verduras en la producción de la bebida (de Miranda et al., 2022; Júnior et al., 2022). La incorporación de estos ingredientes se ha materializado mediante infusiones directas o su adición en una segunda fase de fermentación, lo que contribuye a mejorar la aromatización, la aceptación del producto final y el perfil de compuestos bioactivos presentes en la bebida (Kaewkod et al., 2022a; Wispen et al., 2022).

Estos sustratos alternativos se distinguen por su riqueza en compuestos bioactivos, los cuales han demostrado efectos fisiológicos beneficiosos, como propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias, gastroprotectoras y anticancerígenas (Diez-Ozaeta & Astiazaran, 2022). En consecuencia, se ha promovido la investigación en torno a bebidas fermentadas utilizando el SCOBY de kombucha, elaboradas a partir de una variedad de sustratos con el propósito de desarrollar bebidas que posean propiedades aún más atractivas (Kaewkod et al., 2022a).

En la literatura científica, estas bebidas se reconocen como análogas de la kombucha, ampliando, de esta manera, el espectro de sabores y funcionalidades, lo cual ha contribuido al aumento de su aceptación. Actualmente, la kombucha ha recuperado su prominencia y se ha difundido de manera extensiva en el mercado global de bebidas y productos con atributos funcionales (Costa et al., 2022; de Oliveira et al., 2022).

En el contexto de la presente investigación, se empleará dos ingredientes provenientes del banano, los cuales son i) la nervadura de la hoja de banano la cual se desecha una vez que se cosecha banano en la finca y ii) banano residual, obtenido durante el proceso industrial de esta fruta. Estas biomásas residuales se utilizarán como fuente de carbono para la producción de una bebida análoga a la kombucha. Además, se buscará optimizar las variables del proceso con el objetivo de incrementar su grado de aceptación entre los consumidores.

Descripción del problema

Ecuador se distingue como uno de los principales exportadores de banano a nivel mundial, un sector que contribuye significativamente a la generación de riqueza y empleo en el país, como señalan Veliz et al., (2022). El banano es un cultivo de gran importancia tanto desde el punto de vista económico como alimentario en las regiones tropicales y subtropicales, destacándose como la fruta con la mayor producción, volumen y valor comerciales entre todas las frutas frescas a nivel global (FAO, 2021).

Las exportaciones de banano *Cavendish* de Ecuador representan más del 30% de las exportaciones mundiales, y su producción constituye el 40% de la producción mundial (FAO, 2019). Este sector desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico del país, al generar empleo, particularmente en la región costera, y proporcionar alimentos de calidad para los mercados internacionales (de Miranda et al., 2022). En 2018, el banano representó el 30% de los ingresos económicos generados por las exportaciones agrícolas de Ecuador y, en 2020, figuró como uno de los tres productos con mayores ventas al extranjero, junto con el café y el cacao (Veliz et al., 2022). Este crecimiento evidencia la importancia del sector bananero en la economía ecuatoriana.

Sin embargo, a pesar de los beneficios económicos que aporta, el sector agropecuario, incluido el cultivo de banano, enfrenta un desafío ambiental significativo relacionado con la gestión inadecuada de los residuos orgánicos generados, tal como señalan Dutta & Paul, (2019). El cultivo de banano, en particular, genera grandes cantidades de biomasa residual que, tras la cosecha, suele dejarse en el suelo para su descomposición, generando importantes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Huang et al., 2022).

En este contexto, Kaewkod et al., (2022b) destacan la posibilidad de reducir significativamente las emisiones de CO₂ y CH₄, en un 42.2% y 43% respectivamente, si se llevara

a cabo la recuperación y tratamiento de los residuos de banano mediante el procesos físicos, químicos o biológicos, en lugar de permitir su descomposición en el suelo de la finca. Esto subraya el potencial de los residuos de banano para contribuir a la reducción de la huella de carbono. Además, durante su ciclo de vida, las plantas de banano absorben CO₂ a través de una vía fotosintética, acumulando más de un tercio de su masa total, en base seca, en forma de carbono orgánico (Ortiz-Ulloa et al., 2021).

En el marco de este análisis, el sector agrícola se encuentra confrontando desafíos medioambientales asociados con la gestión de residuos. Dichos desafíos podrían ser atenuados mediante la adopción de prácticas sostenibles, específicamente aquellas que involucren la recuperación de residuos y su posible aplicación en la reducción de la huella de carbono. Además de esto, durante el proceso de transformación del banano con el fin de obtener puré de banano, se generan residuos que, en última instancia, ingresan al sistema de agua residual industrial. Este fenómeno da lugar a problemáticas en el tratamiento del agua, atribuibles al incremento en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) ocasionado por la presencia de material orgánico en dichos residuos.

En este trabajo de titulación se propone utilizar las hojas de banano que se generan durante la cosecha del banano y además utilizar banano residual que se generan en una industria procesadora de banano. Estas biomásas se utilizarán como fuente de carbono para el proceso de fermentación en la obtención de bebida análoga al té de kombucha.

Justificación del problema

El banano se destaca como uno de los principales productos agrícolas de Ecuador, respaldado por sistemas intensivos de monocultivo que generan considerables volúmenes de biomasa en pie y una notable cantidad de biomasa residual. Estas fuentes de biomasa residual representan una

valiosa oportunidad para el secuestro de carbono, como lo demuestra el estudio de Ortiz-Ulloa et al., (2021).

Además, se pretende aprovechar los residuos provenientes del procesamiento industrial del banano en una fábrica exportadora de puré de banano ubicada en la ciudad de Guayaquil. Durante la producción de este producto, se generan residuos en forma de rodajas de banano, los cuales suelen ser desechados en el agua residual. Esta práctica dificulta el tratamiento del agua, ya que se produce un aumento en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) debido a la carga orgánica presente en dichos residuos. Esta biomasa se mezclará y empleará como fuente de carbono en el proceso de fermentación para la obtención de una bebida análoga al té de kombucha.

En este sentido, la incorporación de nueva biomasa en la elaboración de bebidas fermentadas se ha convertido en una práctica que no solo modifica los sabores y aromas, sino que también puede aumentar el contenido de compuestos bioactivos y la estabilidad oxidativa de estos productos. Estos productos, conocidos como 'nutracéuticos', son altamente demandados y bien aceptados en el mercado actual, según lo señalado por Ducruet et al., (2017). Sin embargo, la formulación de este tipo de productos puede plantear desafíos considerables (Nunes Filho et al., 2021).

Este estudio promueve la exploración de materias primas alternativas en la elaboración de la bebida kombucha, así como la incorporación de nuevos ingredientes que ejerzan influencia sobre su composición, potencial nutricional y funcionalidad en el contexto de la prevención y mitigación de enfermedades. Dentro de este marco, la optimización de la formulación desempeña un papel esencial en el ámbito de la Ciencia y Tecnología de los Alimentos, y su abordaje requiere enfoques racionales. Específicamente, los diseños experimentales de mezclas emergen como herramientas valiosas para investigar los efectos de los ingredientes y componentes en las formulaciones. Al considerar la complejidad inherente de los alimentos, donde los componentes interactúan entre sí,

se recomienda emplear un diseño que ofrezca la flexibilidad necesaria para capturar estas interacciones.

En este contexto, según Squeo et al., (2021) se destaca el diseño Box-Benhken como una elección propicia para la optimización de mezclas en alimentos. Este diseño presenta la ventaja de contar con un mayor número de puntos experimentales en comparación con el diseño de mezcla simplex centroide, lo que posibilita una mejor estimación de la superficie de respuesta. Por ende, en el marco de la presente investigación, se propone la utilización del diseño Box-Benhken con el fin de determinar la composición óptima en la formulación de la bebida kombucha.

Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el proceso de obtención de una bebida análoga al té de kombucha utilizando residuos de banano como sustrato

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Determinar la formulación óptima de una bebida fermentada elaborada a partir de los residuos del procesamiento del banano y SCOBY mediante el diseño Box-Benhken.
2. Evaluar las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de la bebida fermentada a partir de los residuos del procesamiento del banano y SCOBY
3. Estimar los costos de producción de la bebida fermentada a partir de los residuos del procesamiento del banano y SCOBY.

Marco teórico

1.5.1. Historia de la Kombucha

La kombucha, una bebida ancestral con destacado potencial debido a sus propiedades funcionales tiene sus raíces históricas en la dinastía china "Tsin". Su popularidad se elevó en este

período gracias a la creencia en sus propiedades energéticas y desintoxicantes. Aunque los orígenes precisos de la kombucha no se comprenden completamente, las evidencias sugieren su origen en la región de Manchuria, al norte de China (Jayabalan et al., 2014).

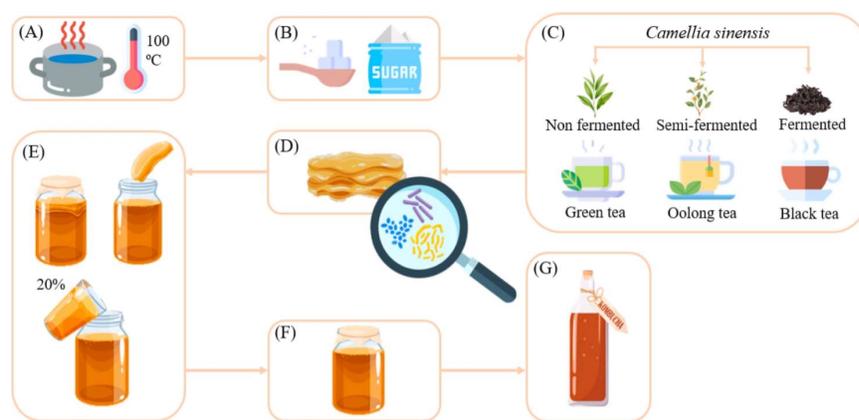
Existe, además, respaldo histórico que indica que la kombucha ha sido consumida durante largo tiempo en China, Rusia y Alemania (Greenwalt et al., 2000). La elaboración de kombucha es una práctica extendida en diversos países asiáticos, como Japón, India, Corea, Java y Filipinas. A pesar de ser una bebida antigua, la kombucha ha experimentado un notable aumento en popularidad en la sociedad occidental en tiempos recientes. Actualmente, se encuentra disponible en numerosas partes del mundo, abarcando regiones como Europa del Este, el Reino Unido, los Estados Unidos, Canadá y Brasil (Bishop et al., 2022).

1.5.2. Mercado global del té de kombucha

El sector global del té fermentado y la kombucha ostenta un valor significativo de 1,84 billones de dólares, y destaca que el principal consumidor de kombucha a nivel mundial es el mercado norteamericano, donde Estados Unidos representa aproximadamente la mitad de la producción total de esta bebida. Entre los destacados consumidores de kombucha, el mercado europeo se posiciona como otro actor clave, siendo el Reino Unido y Rusia líderes en el consumo dentro de esta región. El consumo de bebidas probióticas experimenta un notable aumento en países asiáticos, siendo China uno de los principales impulsores de esta tendencia. Asimismo, los mercados de Oriente Medio y África del Norte han experimentado un incremento en el consumo de kombucha, impulsado por los beneficios para la salud asociados con esta bebida y su carácter no alcohólico. Las proyecciones indican que se anticipa un crecimiento del mercado mundial de kombucha del orden del 500% en los próximos 7 años (*Kombucha Market Size, Industry Share, Growth Analysis, Forecast, 2030, 2023*).

1.5.3. Proceso bioquímico para la obtención del té de kombucha

El proceso de fermentación involucra una simbiosis entre levaduras y bacterias organizadas en una matriz celulósica (SCOBY, siglas en inglés). Las levaduras, mediante la enzima invertasa, catalizan la hidrólisis de la sacarosa en fructosa y glucosa, generando etanol a través de una vía glucolítica. Paralelamente, las bacterias acéticas transforman el etanol en ácido acético mediante las enzimas alcohol deshidrogenasa y aldehído deshidrogenasa. Al final del proceso, se obtienen agua y dióxido de carbono como productos finales, además de la conversión de glucosa en ácido glucónico y glucurónico (Gomes et al., 2018; Leal et al., 2018). Es importante destacar que la fructosa se utiliza de manera menos pronunciada y puede encontrarse en la bebida después de la fermentación (Nummer, 2013).



Images: Flaticon and Freepik (www.flaticon.com and www.freepik.com)

Figura 1. Elaboración tradicional del té de kombucha. Tomado de Júnior et al., (2022).

En la Figura 1, se observa el proceso de elaboración del té de kombucha, el cual se obtiene a través de la fermentación de una infusión de hojas de té negro o verde (*Camellia sinensis*) y azúcar, empleando un cultivo simbiótico de bacterias y levaduras (SCOBY). El resultado es una bebida ligeramente carbonatada y con un carácter ácido. La fermentación ideal se lleva a cabo a una temperatura cercana a los 30°C, durante un período de 7 a 14 días. Durante este proceso, una nueva biopelícula microbiana se forma en la superficie del té. Posteriormente, el nuevo cultivo se retira y puede conservarse sumergido en la bebida fermentada.

El sabor de la kombucha evoluciona a lo largo de la fermentación, otorgándole su característico matiz final, dulce y efervescente. Es fundamental detener la fermentación después de 14 días, ya que prolongarla podría conferirle un sabor agrio similar al del vinagre (Jayabalan et al., 2014).

Una vez completado el período de fermentación, la bebida resultante puede ser filtrada para eliminar los residuos de SCOBY y someterse a una segunda fermentación. Esta etapa, que dura de 2 a 3 días en un recipiente sellado, tiene como propósito carbonatar la kombucha, mediante la producción de dióxido de carbono. Además, brinda la posibilidad de agregar ingredientes como frutas y hierbas para personalizar su sabor. Una vez producida, se recomienda almacenar la kombucha en un entorno refrigerado a 4 °C, lo que mejora su calidad sensorial y reduce la velocidad de fermentación, ya que las bacterias y levaduras continúan siendo viables en la bebida (Dutta & Paul, 2019).

1.5.4. Propiedades funcionales del té de kombucha

La kombucha exhibe una composición rica en fitoconstituyentes de notable valor nutricional, destacándose entre ellos los flavonoides. Estos compuestos son reconocidos por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, así como por su asociación con la reducción de riesgos vinculados a diversas enfermedades. Investigaciones anteriores, tanto in vivo como in vitro, han arrojado resultados prometedores al considerar la kombucha como una bebida funcional (Kaewkod et al., 2022a).

A pesar de la limitada evidencia clínica específica sobre los beneficios para la salud derivados del consumo de kombucha, estudios científicos han identificado una amplia gama de componentes químicos en esta bebida, procedentes tanto del té verde como del té negro. Algunos de estos componentes han demostrado tener efectos positivos en el sistema inmunológico humano y en los procesos metabólicos del organismo (Jayabalan et al., 2014). La kombucha fermentada con té

verde o negro presenta niveles elevados de vitamina C o ácido ascórbico, además de trazas de varias vitaminas del complejo B. Estas vitaminas desempeñan un papel esencial en numerosos procesos bioquímicos y fisiológicos en el cuerpo humano, y dado que no pueden ser sintetizadas internamente, deben ser adquiridas a través de la dieta para mantener niveles saludables (Chambial et al., 2013). Se ha corroborado la presencia de vitamina C y diversas vitaminas B hidrosolubles, como tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantoténico, B6, biotina, B9 y cobalamina, en la kombucha (Wintergerst et al., 2006).

Así mismo, en la mayoría de los casos, se observa que la kombucha presenta concentraciones de antioxidantes superiores a las encontradas en el té original. Se postula que ciertos compuestos fenólicos de peso molecular reducido experimentan modificaciones estructurales mediadas por enzimas durante el proceso de fermentación (Pure & Pure, 2016). Además, estudios han evidenciado un aumento en la actividad antioxidante a medida que se extiende el tiempo de fermentación.

Es crucial destacar que este incremento en la actividad antioxidante está intrínsecamente vinculado al tipo de té empleado, la microbiota presente en el SCOBY, y la duración del proceso de fermentación, todos los cuales influyen en la formación de metabolitos durante y después de la fermentación (Jayabalan et al., 2008). En consecuencia, se debe considerar que la kombucha podría constituir una fuente potencialmente rica en antioxidantes (Chakravorty et al., 2019).

1.5.5. Normativa alimentaria del té de kombucha

Las normativas alimentarias actuales regulan su pH, contenido alcohólico y transparencia informativa para garantizar seguridad y calidad (de Miranda et al., 2022).

Desde una perspectiva regulatoria internacional, la Asociación Nacional de Salud Ambiental (NEHA) delineó en 2013, a través del Journal of Environmental Health (JEH), una guía sobre "Procedimientos y Análisis de Riesgos en la Fermentación de Kombucha", bajo el Código Modelo

de Administración de Alimentos y Medicamentos de la FDA (2009). Esta guía abarca la inocuidad alimentaria y el análisis de riesgos mediante el sistema de puntos críticos de control (APPCC) a lo largo de la cadena de producción de kombucha.

En 2018, Uganda propuso una norma que detalla requisitos y métodos de muestreo y prueba para bebidas de kombucha, estableciendo límites microbiológicos y químicos, pautas de manipulación e higiene, y parámetros analíticos (alcohol, acidez acética y láctica, azúcar total).

El Centro de Control de Enfermedades de Columbia Británica (BCCDC), Canadá, emitió un documento con recomendaciones para un plan de inocuidad alimentaria en la producción comercial de kombucha. El énfasis está en riesgos biológicos y químicos, destacando el monitoreo de pH y etanol, con límites críticos establecidos.

Kombucha Brewers International (KBI), una entidad global, presenta un código de prácticas para productores de kombucha, buscando estándares de calidad y seguridad alimentaria. Ofrece un programa de certificación que indica conformidad con rigurosos estándares de fabricación, especificando procesamiento, ingredientes, higiene, etiquetado y perfiles analíticos (químicos y microbiológicos).

En 2017, KBI colaboró con senadores estadounidenses en una propuesta de ley de kombucha, definiendo criterios como fermentación por cultivo simbiótico, contenido alcohólico $\leq 1,25\%$, y derivación de ingredientes específicos. La "Ley de la Kombucha" aún espera aprobación en EE. UU. (S. 926/HR 1961).

Considerando la seguridad microbiológica, el pH es crucial, siendo ácidos (pH 4,0-4,5) y muy ácidos (pH < 4,0) considerados seguros. La NEHA sugiere prácticas como pasteurización, adición de conservantes y refrigeración para garantizar la inocuidad de la kombucha. La FDA establece que un pH ≤ 4.2 es crítico, recomendando desechar cultivos contaminados. En casos de pH < 2,5, se aconseja añadir té fresco (Nummer, 2013).

1.5.6. Bebidas análogas al té de kombucha

La literatura ya ha abordado el uso de diversos productos en la preparación de kombucha. Ejemplos incluyen infusiones de hierbas, flores de malva de cera, café, hojas de roble, eucalipto, laurel, zumos de frutas, leche y productos de soja, que han demostrado ser efectivas alternativas para la fermentación con kombucha SCOBY (de Miranda et al., 2022). La revisión de algunos de estos estudios se puede observar en la tabla 1.

Estos sustratos se destacan por su composición química rica en compuestos bioactivos, que no solo favorecen diversos efectos fisiológicos, sino que también tienen potenciales beneficios asociados a actividades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias, gastroprotectoras y anticancerígenas (Greenwalt et al., 2000; Pure & Pure, 2016). Por esta razón, se ha impulsado la investigación de bebidas fermentadas con kombucha SCOBY elaboradas a partir de diferentes sustratos, especialmente con el objetivo de desarrollar nuevas bebidas con propiedades más atractivas (Jayabalan et al., 2014; Kaewkod et al., 2022a).

Por otro lado, Pure & Pure, (2016), analizó el uso de la cáscara de banano en la kombucha, esta mostró la mayor actividad antioxidante al inhibir el 94,62% de DPPH, en comparación con las bebidas fermentadas de té negro y hoja de ortiga. No se observó actividad antibacteriana en ninguna de las muestras. En el estudio se concluyó que la cáscara de banano, como material herbal de desecho, y la hoja de ortiga son buenos ingredientes para ser utilizados como sustrato para hacer una bebida antioxidante de kombucha.

Tabla 1. Revisión de distintas infusiones utilizadas para la obtención de kombucha

Sustrato	Concentración de sustrato	Sacarosa	SCOBY	Bebida previamente fermentada	Tiempo de fermentación (días)	Temperatura ($\pm 3^{\circ}\text{C}$)	Referencia
Infusiones: Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i> L.), hierba luisa (<i>Lippia citriodora</i>), romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>), hinojo (<i>Foeniculum vulgare</i>) y hierbabuena (<i>Mentha-piperita</i>)	10 g/L	20 g/L	1%	–	21	Temperatura ambiente	Battikh, Bakhrouf y Ammar, 2012
Infusión de bálsamo de limón (<i>Melissa officinalis</i> L.)	5 g/L	70 g/L	–	0,1	7	28°C	Velicanski et al., 2014
Infusión de café (<i>Coffea</i> sp.) y café instantáneo	10 g/L	100 g/L	3%	–	7	24°C	Watawana, Jayawardena y Waisundara, 2015
Infusiones: Eucalipto rojo de río (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>) y laurel mexicano (<i>Litsea glaucescens</i>)	10 g/L	10 g/L	0.25%	0,1	7	25°C	Gamboa-Gómez et al., 2016
Infusión de hojas de roble (<i>Quercus resinosa</i> , <i>Quercus arizonica</i> , <i>Quercus convallata</i>)	10 g/L	100 g/L	2.5%	0,1	7	25°C	Vázquez-Cabral et al., 2017
Infusión de flores de milenrama (<i>Achillea millefolium</i> L.) y extractos acuosos subcríticos de flores de milenrama	1,13 g/500 ml y 2,26 g/500 ml	35 g/500 ml	–	0,1	7	25°C	Vitas et al., 2018
Infusión de Rooibos (<i>Aspalathus linearis</i>)	8 g/L	80 g/L	3%	0,1	14	27°C	Gaggia et al., 2019
Infusión de flores de malva de cera (<i>Malvavicus arboreus</i>)	5 g/L	50 g/L	2.5 %	0,01	14	24°C	Silva et al., 2021

Adaptado de Miranda et al., (2022)

Además, se ha evaluado los efectos de la suplementación con kombucha y harina de banano verde (HBV) en ratas Wistar alimentadas con dieta de cafetería (CAF). Los resultados de esta investigación indicaron que la ingesta de dieta de cafetería alteró el perfil lipídico y hepático de los animales y el consumo de kombucha y HBV no previno estos cambios. El alto nivel de polifenoles de la kombucha no ejerció un efecto hepatoprotector como antioxidante. Sin embargo,

esta suplementación generó mayor saciedad en los animales, lo que llevó a un menor aumento de peso hasta el final del experimento (Urrutia et al., 2021).

1.5.7. Diseño de experimento Box - Behnken

El diseño de experimento Box-Behnken (DEBB) es un método de diseño factorial que se utiliza para estudiar el efecto de tres o más factores en una respuesta. Los DEBB se emplean para generar superficies de respuesta de orden superior utilizando menos ejecuciones que las requeridas por una técnica factorial convencional. Este diseño se basa en la utilización de los doce nodos de los bordes medios y los tres nodos centrales para ajustar una ecuación de segundo orden.

Para obtener una factorial completa, se añade el compuesto central al diseño Box-Behnken, lo que implica tomar tres muestras adicionales en el centro. Estos diseños posicionan puntos en los puntos medios de los bordes de la región cúbica de diseño, así como puntos en el centro (Maity, 2023). Es un diseño de bajo costo y fácil de implementar, lo que lo hace ideal para aplicaciones en alimentos y bebidas.

El diseño de experimento Box-Behnken se basa en el diseño factorial de tres niveles, pero utiliza una serie de puntos de prueba estratégicos para reducir el número de experimentos necesarios. Los puntos de prueba se encuentran en las esquinas, centros y caras de un cubo (Ferreira et al., 2007).

El DEBB se puede utilizar para estudiar una variedad de respuestas en alimentos y bebidas. Por ejemplo, se puede utilizar para estudiar el efecto de los ingredientes, los procesos de elaboración o las condiciones de almacenamiento en el sabor, la textura, la estabilidad o la calidad nutricional de los alimentos y bebidas (Dwivedi & Sharma, 2015).

CAPÍTULO 2

2.1. Metodología

La investigación se enfocó en la evaluación integral de la producción de una bebida análoga a la kombucha, utilizando hojas de banano, puré de banano, té verde y vinagre madre. Se llevaron a cabo diversas etapas, como lavado, trituración, infusión, filtración, fermentación aeróbica y anaeróbica, carbonatación y pasteurización. Mediante un diseño experimental Box-Benhken se analizaron factores críticos, y la bebida se sometió a evaluación mediante una escala de aceptación. Se realizaron análisis de pesticidas, pH, densidad, azúcares, acidez titulable y capacidad antioxidante. Determinándose el costo de producción mediante el balance de materia y energía.

2.1.1 Materia prima e ingredientes

Como materia prima para la elaboración de la bebida fermentada análoga a la kombucha, se utilizaron las hojas de banano provenientes de una finca convencional de banano Cavendish en el recinto Mariscal Sucre, Guayas, Ecuador, recolectadas durante la cosecha del banano y sometidas a un proceso meticuloso de limpieza. El puré de banano, obtenido como desecho de una empresa procesadora, fue recuperado y almacenado a -18°C para preservar su frescura. El vinagre madre del SCOBY. La hoja de té verde (*Camellia sinensis*) se adquirió de un mercado local. Como insumo, se utilizó agua potable que antes se había ablandado.

2.1.2 Descripción del procesamiento de la bebida

El proceso de producción siguió un riguroso conjunto de pasos para asegurar la calidad y el sabor distintivo del producto. Las fases/etapas del proceso se observan en el Anexo A1. Lavaron las hojas de banano y las de té verde para eliminar cualquier partícula de suciedad receptaron la materia prima. Durante este proceso, en el caso de las hojas de banano, se separó el envés de la nervadura.

Las nervaduras de banano limpias se trituraron en un equipo similar a un trapiche, extrayendo jugo y generando bagazo como subproducto. En la fase de infusión, se sometió al té verde a agua a 80°C durante 20 minutos, utilizando 10 gramos de té verde por litro de agua destilada. La infusión resultante se filtró para eliminar cualquier residuo de las hojas. El siguiente paso consistió en la filtración del jugo obtenido de las nervaduras de banano, separando cualquier resto del bagazo generado en la trituración. A continuación, se procedió al mezclado del jugo de nervadura de banano, la infusión de té verde y el puré de banano, previamente pesado y filtrado, a 80°C durante 20 minutos.

La mezcla resultante se sometió a una nueva filtración para asegurar una textura suave y homogénea en la bebida, eliminando partículas. Posteriormente, se llevó a cabo una fermentación aeróbica enfriando la bebida a 30°C e inoculándola con SCOBY, permitiendo una fermentación que se extendió hasta 14 días. Al final de la fermentación, la bebida se filtró de nuevo para separar sedimentos y extraer el SCOBY, para luego pasar por una segunda fermentación anaeróbica 4 días. La bebida fue carbonatada mediante dióxido de carbono de grado alimenticio para mejorar su palatabilidad y sensación refrescante. Finalmente, se envasó en botellas de vidrio ámbar de 330 ml para preservar su calidad y sabor hasta el consumo. Como medida adicional, la bebida se pasteurizó durante 15 minutos a 80°C para garantizar la seguridad y estabilidad del producto, reduciendo la carga microbiana y deteniendo el proceso de fermentación.

2.1.3 Diseño experimental

Para la formulación de la bebida, se implementó un diseño experimental Box-Benhken con el propósito de analizar cuatro factores fundamentales: JNB (Jugo de Nervadura de Banano), ITV (Infusión de Té Verde), PB (Puré de Banano) y VMS (Vinagre Madre del SCOBY), generando así un conjunto de 26 tratamientos distintos. La variable de interés fue el grado de aceptación de la bebida.

Tabla 2. Diseño experimental Box - Benhken

Tratamiento	x1.JNB (g)	x2. ITV (g)	x3. PB (g)	x4. VMS (g)
1	40	30	15	17,5
2	50	30	15	17,5
3	40	35	15	17,5
4	50	35	15	17,5
5	45	32,5	5	15
6	45	32,5	25	15
7	45	32,5	5	20
8	45	32,5	25	20
9	40	32,5	15	15
10	50	32,5	15	15
11	40	32,5	15	20
12	50	32,5	15	20
13	45	30	5	17,5
14	45	35	5	17,5
15	45	30	25	17,5
16	45	35	25	17,5
17	40	32,5	5	17,5
18	50	32,5	5	17,5
19	40	32,5	25	17,5
20	50	32,5	25	17,5
21	45	30	15	15
22	45	35	15	15
23	45	30	15	20
24	45	35	15	20
25	45	32,5	15	17,5
26	45	32,5	15	17,5

Nota: x1.JNB: Jugo de nervadura de banano; x2.ITV: Infusión de té verde; x3.PB: Puré de banano; x4.VMS: Vinagre madre de SCOBY.

Elaborado por los autores

La evaluación del grado de aceptación se llevó a cabo mediante un panel compuesto por 10 catadores semientrenados. Cada catador recibió una serie de 26 muestras de bebida, cada una servida en copas numeradas para evitar cualquier sesgo.

Durante el proceso de evaluación, los catadores aplicaron una escala de puntuación que iba del 1 al 5. En esta escala, el valor 1 representó una percepción de "muy poco aceptable", mientras que el valor 5 indicó una percepción de "muy aceptable" para cada muestra analizada. Esta

metodología de evaluación proporcionó una visión amplia y detallada del nivel de aceptación de las diferentes formulaciones de la bebida.

El uso de la escala permitió a los evaluadores expresar sus preferencias de manera cuantitativa, contribuyendo a la identificación de la fórmula más atractiva y preferida por el panel de jueces. El grado de aceptación de la bebida se calculó como la media de las puntuaciones otorgadas por los catadores, proporcionando una medida consolidada y objetiva del nivel de aceptación global.

2.1.4 Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de la bebida fermentada

2.1.4.1. Contenido de agroquímicos en el jugo de nervadura de banano

La metodología empleada para analizar el jugo de nervadura de banano en búsqueda de residuos de pesticidas se fundamenta en dos técnicas distintas, cada una con sus respectivos métodos estandarizados y validados, el Screening Pesticida-Cromatografía gaseosa GC-MS/MS mediante el método ISP 915 2021 y el Screening Pesticida-Cromatografía líquida LC-MS/MS a través del método ISP 901 2016. Ambas técnicas, desarrolladas por laboratorios subcontratados, se apoyan en la metodología QuEChERS, la cual facilita una extracción ágil y sencilla de los pesticidas presentes en la muestra de jugo, seguida de una limpieza destinada a eliminar posibles interferencias.

La aplicación conjunta de estas técnicas ofrece una amplitud significativa en la detección de pesticidas, abarcando una gama extensa de compuestos, desde organoclorados, organofosforados y otros volátiles hasta pesticidas no volátiles o sensibles al calor, como piretroides y herbicidas. Esto asegura una cobertura integral para identificar y cuantificar diversos tipos de residuos de pesticidas en el jugo de nervadura de banano, lo cual es esencial para salvaguardar la seguridad alimentaria y la calidad del producto.

2.1.4.2. pH

Para llevar a cabo la evaluación del pH en las muestras de las bebidas fermentadas tipo kombucha, se empleó el equipo PCSTestr 35, especializado en la medición precisa del pH. En cada vaso de precipitado, se tomaron aproximadamente 20 ml de cada muestra, compuestas de jugo de nervadura de banano, puré de banano, té verde y vinagre madre en diversas proporciones. El equipo se insertó en la muestra hasta que el resultado se estabilizara.

Este análisis se ejecutó tanto en el día de inicio de la fermentación como en el día 7, permitiendo así determinar la evolución del nivel de acidez o alcalinidad en cada muestra a lo largo del proceso de fermentación. La finalidad de esta prueba consistió en proporcionar información esencial sobre el pH de la mezcla y su relación con la aceptación del producto final por parte de los catadores. De esta manera, se estableció una conexión entre este parámetro y la calidad percibida, brindando una comprensión más profunda de cómo la variación en el pH podría afectar la percepción y preferencia del producto.

2.1.4.3. Densidad

Con el propósito de determinar la densidad de una bebida fermentada tipo kombucha, elaborada con jugo de nervadura de banano, puré de banano, té verde y vinagre madre en diversas proporciones, se utilizó un refractómetro ATC con escala SG wort. El proceso de medición inició con la preparación de una muestra representativa de la bebida fermentada, asegurándose de mezclarla adecuadamente para garantizar uniformidad en la composición. Posteriormente, con el refractómetro ATC debidamente calibrado, se aplicaron una o dos gotas de la muestra sobre el prisma del instrumento. Es crucial destacar que se evitó la formación de burbujas de aire y se cerró la tapa con suavidad para preservar la integridad del análisis.

La lectura de la gravedad específica (SG wort) se llevó a cabo a través del ocular del refractómetro, ajustando el enfoque hasta obtener una clara distinción entre las áreas claras y

oscuras en el campo visual. La gravedad específica se registró en la escala SG wort del refractómetro. El siguiente paso consistió en calcular la densidad (D) utilizando la ecuación 1:

$$D=(SG*1000+1000)/1000 \quad (1)$$

Donde SG= gravedad específica de la sustancia

Este valor proporcionó información sobre la concentración de azúcares en la bebida y, por ende, permitió evaluar la evolución del proceso fermentativo.

La importancia de esta metodología radica en su capacidad para seguir el proceso fermentativo, determinar el grado de fermentación y evaluar la calidad del producto final. Los datos obtenidos son fundamentales para la investigación, ya que contribuyen a comprender y mejorar la producción de la bebida fermentada, centrándose en la evaluación de una formulación con propiedades organolépticas mejoradas y mayor aceptación por parte de los panelistas.

2.1.4.4. Azúcares

La medición de los azúcares en una bebida fermentada elaborada a partir de jugo de nervadura de banano, puré de banano y vinagre madre se lleva a cabo mediante un procedimiento específico utilizando un refractómetro como herramienta analítica. Para llevar a cabo este proceso, se requieren ciertos materiales, incluyendo un refractómetro, una muestra representativa de la bebida fermentada y un gotero o pipeta para manipular la muestra.

El procedimiento comenzó con la preparación de la muestra, asegurando que se obtuvieran al menos 5 ml de la bebida fermentada para realizar la medición. Se utilizó el gotero o pipeta para depositar una gota de esta muestra sobre el prisma del refractómetro, asegurando una distribución uniforme, evitando la formación de burbujas y cerrando la tapa con suavidad. Se ajustó el enfoque hasta lograr una clara distinción entre las áreas claras y oscuras en el campo visual del

refractómetro. Para obtener mediciones precisas, se verificó la calibración del refractómetro y se mantuvo la muestra a una temperatura mínima de 20 grados Celsius.

La lectura de la concentración de azúcar se realizó observando la escala del refractómetro, indicando la concentración en grados Brix. Esta medida representó la proporción de sacarosa disuelta en la solución, donde cada grado Brix equivalía a un gramo de sacarosa presente en 100 gramos de solución.

Este procedimiento se llevó a cabo con cada muestra en el día del inicio de la fermentación, permitiendo determinar la relación de la concentración de sólidos solubles en cada una. El objetivo de esta prueba fue proporcionar información esencial sobre la cantidad de azúcares presentes en la mezcla y su conexión con la aceptación del producto final por parte de los catadores, estableciendo así una relación entre este parámetro y la calidad percibida.

2.1.4.5. Acidez titulable

La metodología utilizada para determinar la acidez titulable en la materia prima y en la formulación con mejor aceptación de la bebida análoga al té de kombucha, elaborada a partir de jugo de nervadura de banano, puré de banano y vinagre madre, se dividió en etapas específicas. El proceso comenzó con la preparación de la muestra, donde la higiene fue prioritaria al lavar y desinfectar tanto las manos como los materiales utilizados. Luego, se midieron precisamente 25 g de muestra en una cápsula de vidrio, seguido por una homogeneización rigurosa mediante agitación.

La fase de titulación representó un paso crucial, donde se añadió agua destilada y un indicador fenolftaleína a la muestra. Posteriormente, se procedió a la titulación con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 M hasta que el indicador cambió de color, indicando el punto de equivalencia ácido-base. Se registró el volumen de NaOH utilizado para titular la muestra, un dato esencial para el cálculo posterior de la acidez titulable en porcentaje de ácido tartárico.

El cálculo de la acidez titulable se llevó a cabo mediante una fórmula específica que involucra el volumen de NaOH utilizado, la normalidad de la solución de NaOH y la masa de la muestra. Esta fórmula proporcionó el porcentaje de ácido acético presente en la muestra analizada, siendo este ácido orgánico característico de frutas y verduras. Ver Ecuación 2:

$$\% \text{ ácido acético} = (V * N * 100) / m \quad (2)$$

donde:

V es el volumen de NaOH utilizado para titular la muestra (en mL)

N es la normalidad de la solución de NaOH (en N)

m es la masa de la muestra (en g)

En el contexto específico de la bebida análoga al té de kombucha, la acidez titulable se utiliza para evaluar el contenido de ácido tartárico, el cual se forma durante la fermentación de la glucosa por las bacterias y levaduras presentes en el vinagre madre. Un nivel alto de acidez titulable indica un sabor más ácido en la bebida, mientras que un nivel bajo sugiere un sabor más dulce, siendo esta medida fundamental para la evaluación sensorial y la calidad del producto final.

2.1.4.6. Actividad antioxidante

La evaluación de la capacidad antioxidante de la bebida fermentada de mayor aceptación se llevó a cabo in vitro en las muestras mediante ensayos espectrofotométricos empleando el método basado en el 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), siguiendo el protocolo establecido por Kedare & Singh (2011). Este método implica que una molécula antioxidante, al poseer un enlace A-H débil, reacciona con el radical libre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo, $\lambda=517$ nm), ocasionando la decoloración de la molécula durante el proceso de evaluación.

Es relevante señalar que esta prueba específica fue aplicada exclusivamente a la bebida cuya formulación logró la mejor aceptación por parte de los panelistas. Este enfoque permitió dirigir el análisis hacia la variante más prometedora y significativa en términos de preferencia sensorial.

2.1.5 Costos de producción de la bebida fermentada

La metodología empleada para determinar el costo de producción de la bebida fermentada involucra un análisis a través del balance de materia y energía del proceso de elaboración. Los cálculos correspondientes a este balance se llevaron a cabo utilizando una hoja de cálculo en Excel, lo que permitió la evaluación cuantitativa de los insumos y productos en cada etapa del proceso. Además, se diseñó el diagrama del proceso empleando VISIO de Microsoft, proporcionando una representación visual detallada de las diferentes fases y flujos de trabajo involucrados en la producción de la bebida fermentada.

El balance de materia se centró en identificar y cuantificar los materiales que entraban y salían del proceso, desde los ingredientes iniciales hasta los subproductos y desechos generados. Por otro lado, el balance de energía permitió evaluar el flujo y la transformación de la energía en cada etapa del proceso, ofreciendo información valiosa sobre el consumo y la eficiencia energética durante la elaboración de la bebida fermentada.

Estos análisis detallados no solo brindaron una comprensión más profunda del funcionamiento del proceso de producción, sino que también se convirtieron en herramientas fundamentales para determinar con precisión el costo de producción de la bebida fermentada, al considerar tanto los recursos materiales como los aspectos energéticos implicados en cada fase del proceso.

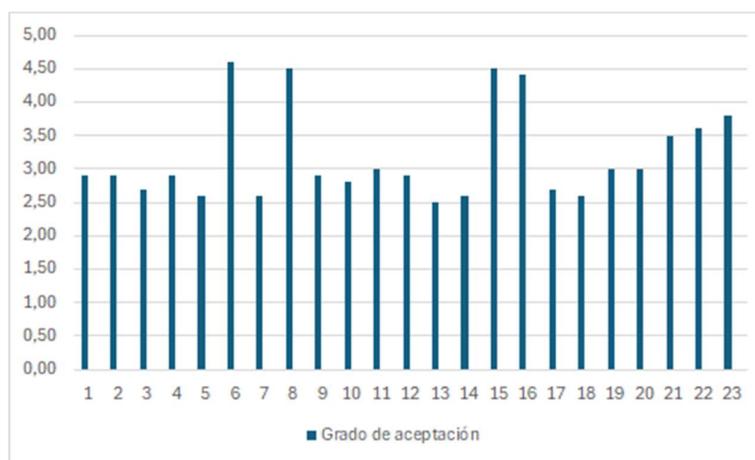
CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Optimización de la formulación de la bebida análoga al té de kombucha

En la Figura 3, se presenta la media de aceptabilidad otorgada por los jueces para cada tratamiento. Los valores oscilan entre 2.5 y 4.6. El Tratamiento 6 destaca con la mayor puntuación de aceptabilidad, alcanzando un valor de 4.6, seguido por los Tratamientos 8 y 16 con puntuaciones de 4.5 y 4.4, respectivamente. En contraste, los Tratamientos 5 y 13 obtuvieron las puntuaciones más bajas con 2.6 y 2.5, respectivamente. Estos resultados reflejan la variabilidad en la aceptación de las diferentes formulaciones de la bebida, indicando que ciertos tratamientos fueron más preferidos por los jueces en comparación con otros.

Figura 3. Media de aceptabilidad otorgado por jueces



Los resultados derivados del diseño Box-Behnken, Ver Tabla 3, ponen de manifiesto que el grado de aceptación de la bebida se encuentra influenciado por las cuatro variables independientes examinadas: jugo de nervadura de banano (x_1), infusión de té verde (x_2), puré de banano (x_3) y vinagre madre de SCOBY (x_4). El coeficiente de determinación (R^2) del modelo se sitúa en 0,8722, indicando que aproximadamente el 87,22% de la variabilidad en el grado de aceptación de la

bebida puede explicarse mediante el modelo. Este alto valor sugiere que el modelo proporciona una representación robusta de la relación entre las variables independientes y la variable dependiente.

	Estimado	Std. Error	t-valor	Pr(> t)	Significancia
(Intercept)	40.675.000	1.806.323	225.181	8,47E-09	***
x1	-0,083333	1.042.881	-0,0799	0.93753	
x2	-0.083333	1.042.881	-0,0799	0.93753	
x3	6.966.667	1.042.881	6,6802	1,52E-05	***
x4	0.500000	1.042.881	0.4794	0.63959	
x1:x2	0.250000	1.806.323	0.1384	0.89204	
x1:x3	0.200000	1.806.323	0.1107	0.91353	
x1:x4	0.050000	1.806.323	0.0277	0.97834	
x2:x3	-0.575000	1.806.323	-0,3183	0.75529	
x2:x4	-0.325000	1.806.323	-0,1799	0.85999	
x3:x4	-0.525000	1.806.323	-0,2906	0.77591	
x1^2	-9.691.667	1.474.857	-6,5713	1,79E-02	***
x2^2	-2.491.667	1.474.857	-1,6894	0.11496	
x3^2	-3.016.667	1.474.857	-2,0454	0.06161	.
x4^2	-1.841.667	1.474.857	-1,2487	0.23379	

Nota: '***': Altamente significativo ($p < 0.05$)

Elaborado por los autores

El F-estadístico significativo (6.338) y el p-value bajo (0.0009818) proporcionan una fuerte evidencia de que el modelo es significativo y tiene poder predictivo. El modelo se puede utilizar

para estimar el grado de aceptación de la bebida en función de los niveles variables de los ingredientes.

El análisis de varianza (ANOVA) llevado a cabo en el marco del diseño Box-Behnken revela información significativa sobre la influencia de las variables independientes en el grado de aceptación de la bebida elaborada.

Tabla 3. Análisis de varianza (ANOVA)

	G.L.	S.C.	M.C.	Valor-F	Pr (>F)
FO(x1, x2, x3, x4)	4	585,58	146,395	11,2170	0,0036800
TWI(x1, x2, x3, x4)	6	3,27	0,545	0,0417	0,9995692
PQ(x1, x2, x3, x4)	4	569,12	142,281	10,9017	0,0004223
Residuales	13	169,67	13,051		
Falta de ajuste	10	168,80	16,880	58,3741	0,0032588
Error aleatorio	3	0,87	0,289		

G.L.: Grados de libertad; S.C.: Sumas de cuadrados; M.C. Medias cuadradas; Pr: Significancia

Elaborada por los autores

Los resultados, resumidos en la Tabla 4, muestran que el modelo exhibe una significancia global (FO(x1, x2, x3, x4)) con un valor de p muy bajo (0.0003680), lo que respalda la relevancia colectiva de las variables independientes en la aceptación de la bebida. Por otro lado, el análisis individual de los términos cuadráticos (TWI(x1, x2, x3, x4)) y cuadráticos puros (PQ(x1, x2, x3, x4)) también presenta niveles significativos de importancia ($p=0.9995692$ y $p=0.0004223$ respectivamente).

La evaluación de los residuos indica que existen componentes de falta de ajuste (Lack of fit) y error puro (Pure error). El componente de falta de ajuste exhibe un nivel considerable de

relevancia ($p=0.0032588$), señalando la necesidad de mejorar el modelo para reflejar con mayor precisión la relación entre las variables independientes y el grado de aceptación de la bebida.

Al examinar los coeficientes de los términos del modelo, se observa que el jugo de nervadura de banano (x_1) tiene un efecto negativo, aunque no significativo, en la aceptación de la bebida. Por otro lado, la infusión de té verde (x_2) muestra un efecto negativo, aunque no significativo, en la aceptación de la bebida. En contraste, el puré de banano (x_3) presenta un efecto positivo y significativo, mientras que el vinagre madre de SCOBY (x_4) tiene un efecto positivo y significativo en la aceptación de la bebida.

Los efectos cuadráticos de las variables independientes revelan que el jugo de nervadura de banano (x_1^2) tiene un efecto negativo y significativo, la infusión de té verde (x_2^2) muestra un efecto positivo, el puré de banano (x_3^2) tiene un efecto negativo, y el vinagre madre de SCOBY (x_4^2) presenta un efecto negativo y no significativo. En cuanto a las interacciones entre las variables independientes, se observa que estas tienen efectos pequeños, aunque no significativos, en la aceptación de la bebida.

Finalmente, el punto estacionario del modelo, donde los efectos son nulos, se encuentra en los siguientes valores de las variables independientes: x_1 : 45,02898, x_2 : 32,12410, x_3 : 26,70765, x_4 : 17,45555. El análisis de regresión indica que el jugo de nervadura de banano y el puré de banano tienen un efecto positivo en el grado de aceptación, mientras que la infusión de té verde tiene un efecto negativo.

3.2. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de la bebida fermentada

3.2.1. Contenido de agroquímicos en el jugo de nervadura de banano

El presente estudio se enfocó en la evaluación de la presencia de pesticidas en el jugo de nervadura de banano mediante dos técnicas de detección: cromatografía gaseosa GC-MS/MS y cromatografía líquida LC-MS/MS. Estas técnicas se seleccionaron debido a su capacidad para

identificar pesticidas volátiles y no volátiles, respectivamente, utilizando la metodología QuEChERS para la extracción de muestras.

Se analizaron exhaustivamente 250 parámetros de pesticidas, abarcando una amplia diversidad de compuestos. Ver Anexo A1. Los resultados obtenidos de ambas técnicas indican que todos los parámetros evaluados se encontraron por debajo de los límites establecidos, demostrando de manera concluyente la ausencia de presencia significativa de pesticidas en el jugo de nervadura de banano.

3.2.2. Propiedades físicas – químicas

Se evaluaron las características físicas y químicas de los elementos constituyentes empleados en la elaboración de la bebida análoga al té de kombucha, así como de la formulación optimizada de dicha bebida, cuyos resultados se detallan en la Tabla 5. Se constata que el jugo de nervadura de banano exhibe un pH congruente con el valor reportado en el estudio de Tan et al., (2019).

Tabla 4. Propiedades físicas y químicas de los componentes y la bebida optimizada

Componentes	pH	Brix	Azúcares (g/l)	Acidez (%)
Jugo de nervadura de banano	6,12	4,00	12,20	5,50
Infusión de té verde	5,27	1,30	0,00	0,00
Vinagre madre (SCOBY)	3,50	12,00	1,25	8,00
Puré de banano	6,50	17,00	14,00	4,50
Bebida análoga a la kombucha optimizada	3,29	5,60	15,10	1,50

Elaborado por los autores

La obtención del pH registrado en el puré de banano puede atribuirse a la presencia inherente de ácidos orgánicos naturales presentes en la fruta madura. Se reconoce que los bananos, según su nivel de maduración y la variedad específica, presentan fluctuaciones en su pH. La maduración conlleva la descomposición de azúcares en componentes menos ácidos, lo cual incide en un aumento del pH en el puré de banano. Además, el proceso de trituración o preparación del puré puede ejercer una influencia marginal en su pH, mediado por la exposición al aire, factores ambientales y los tratamientos ácidos inherentes al procedimiento empleado.

El pH de la infusión de té verde tiende a ser ligeramente ácido debido a la presencia de ácidos fenólicos y otros compuestos orgánicos presentes en las hojas de té (Teixeira Oliveira et al., 2023). Estos compuestos, como los taninos y los ácidos fenólicos, contribuyen a la acidez natural del té. El té verde es conocido por contener catequinas y ácido clorogénico, entre otros componentes, que pueden influir en su perfil de pH (Costa et al., 2022). Estos compuestos tienden a conferir al té verde su característico sabor ligeramente amargo y astringente, contribuyendo así a su nivel de acidez. El valor específico del pH puede variar dependiendo de factores como la concentración de té utilizado, la temperatura y el tiempo de infusión, así como la variabilidad natural en la composición química de las hojas de té (Jakubczyk et al., 2022; Kim et al., 2016).

El vinagre madre de SCOBY y la bebida optimizada están dentro de los parámetros establecidos para el té de kombucha (Bishop et al., 2022; Jakubczyk et al., 2022; Teixeira Oliveira et al., 2023).

Por otro lado, Los grados Brix miden la concentración de sólidos solubles totales en una solución, generalmente expresados como porcentaje de sacarosa por peso. En el del jugo de nervadura de banano el valor obtenido podría deberse a la presencia de pequeñas cantidades de carbohidratos, sales y ácidos orgánicos solubles (Tan et al., 2019). Es importante tener en cuenta que las hojas de banano están compuestas principalmente por celulosa, fibras y agua, y su contenido de azúcares suele ser relativamente bajo. La infusión de té verde muestra bajo contenido

en °Brix debido a la baja cantidad de azúcares y ácidos orgánicos característico de esta bebida (Teixeira Oliveira et al., 2023). En el caso del puré de banano, el contenido de azúcar puede variar dependiendo de la madurez de los bananos utilizados para hacer el puré. Los bananos maduros tienden a tener un mayor contenido de azúcar, lo que aumentaría el grado Brix del puré así como el contenido de azúcares.

Durante el proceso de fermentación del té de kombucha, se observan cambios significativos en propiedades clave como el pH y los grados Brix. Inicialmente, el té de kombucha exhibe un pH ligeramente ácido. Sin embargo, a medida que avanza la fermentación, la interacción entre las bacterias y levaduras presentes, en particular las especies de la levadura *Saccharomyces* y las bacterias ácido-tolerantes como las del ácido acético, tiene un impacto significativo en el pH (Chakravorty et al., 2019; Greenwalt et al., 2000; Teixeira Oliveira et al., 2023). Estos microorganismos consumen los azúcares disponibles en el té y generan ácidos como el ácido acético y el ácido láctico como subproductos metabólicos. Esta producción de ácidos conlleva a una disminución gradual del pH, alcanzando valores tan bajos como 3 o incluso inferiores, estableciendo un entorno altamente ácido que inhibe el crecimiento de microorganismos no deseados (Diez-Ozaeta & Astiazaran, 2022; Dutta & Paul, 2019). Paralelamente, los grados Brix, que indican la concentración de azúcares solubles en una solución, también experimentan cambios significativos durante el proceso de fermentación del té de kombucha.

En este contexto, se evidencia una marcada heterogeneidad en los niveles de acidez entre los distintos tratamientos, lo que potencialmente incide en aspectos cruciales como la capacidad de conservación del producto final y su nivel de aceptación sensorial. Ver Tabla 6.

Tratamiento	JNB	ITV	PB	VMS	pH ₀	Brix ₀
1	40	30	15	17,5	4,21	4,0
2	50	30	15	17,5	4,21	4,2
3	40	35	15	17,5	4,20	4,0
4	50	35	15	17,5	4,23	4,0
5	45	32,5	5	15	4,35	3,0
6	45	32,5	25	15	4,16	5,0
7	45	32,5	5	20	4,24	2,8

8	45	32,5	25	20	4,12	5,0
9	40	32,5	15	15	4,21	4,1
10	50	32,5	15	15	4,26	4,0
11	40	32,5	15	20	4,15	4,0
12	50	32,5	15	20	4,22	4,0
13	45	30	5	17,5	4,26	2,9
14	45	35	5	17,5	4,27	2,8
15	45	30	25	17,5	4,13	5,1
16	45	35	25	17,5	4,14	5,0
17	40	32,5	5	17,5	4,24	2,8
18	50	32,5	5	17,5	4,30	2,9
19	40	32,5	25	17,5	4,13	5,0
20	50	35	25	17,5	4,15	5,0
21	45	30	15	15	4,22	4,2
22	45	35	15	15	4,31	4,0
23	45	30	15	20	4,15	4,0

Tabla 5. Evaluación de los distintos tratamientos

Tratamiento	pH ₀	°Brix ₀	pH ₇	°Brix ₇	°Brix _f	pH _f	Aceptación
1	4,21	4,00	3,60	2,80	3,36	4,00	3,00
2	4,21	4,20	3,70	2,40	3,44	4,20	3,50
3	4,20	4,00	3,57	2,00	3,31	4,70	3,20
4	4,23	4,00	3,61	3,00	3,36	5,50	3,10
5	4,35	3,00	4,00	3,00	3,25	4,00	2,90
6	4,16	5,00	3,52	3,60	3,29	5,60	4,60
7	4,24	2,80	4,00	2,20	3,10	2,00	2,80
8	4,12	5,00	3,65	3,80	3,32	5,60	4,00
9	4,21	4,10	3,55	2,20	3,31	5,00	3,00
10	4,26	4,00	3,85	2,00	3,00	2,00	2,70
11	4,15	4,00	3,56	2,20	3,28	5,00	3,00
12	4,22	4,00	3,65	2,20	3,00	2,00	2,50
13	4,26	2,90	4,00	2,50	3,00	2,00	2,80
14	4,27	2,80	3,78	2,20	3,00	2,00	2,70
15	4,13	5,10	3,49	3,60	3,29	5,50	3,00
16	4,14	5,00	3,55	3,00	3,31	5,40	3,90
17	4,24	2,80	3,86	1,60	3,00	2,00	2,90
18	4,30	2,90	3,85	1,80	3,38	4,80	3,00
19	4,13	5,00	3,49	3,60	3,30	5,20	3,00
20	4,15	5,00	3,44	3,20	3,34	5,00	3,00
21	4,22	4,20	3,67	2,60	3,36	5,20	3,00
22	4,31	4,00	3,95	2,20	3,00	2,00	2,80
23	4,15	4,00	3,55	2,40	3,35	5,00	3,00

Nota: JNB: Jugo de nervadura de banano; ITV: Infusión de té verde; PB: Puré de banano; VMS: Vinagre madre de SCOBY.

Elaborado por los autores

Los microorganismos presentes, en particular el consorcio simbiótico conocido como SCOBY (symbiotic culture of bacteria and yeast), se encargan de metabolizar los azúcares presentes en el té inicial. Conforme progresa la fermentación, estos azúcares son consumidos por las bacterias y levaduras para su metabolización en ácidos y otros compuestos. Este consumo de azúcares conduce a una reducción en los grados Brix a lo largo del proceso, reflejando la disminución en la concentración de azúcares disponibles en la solución.

La concentración y actividad del SCOBY en la formulación del té de kombucha pueden ejercer una influencia significativa en la velocidad y la magnitud de estos cambios. Una mayor concentración de SCOBY puede acelerar la fermentación, intensificando así los procesos de metabolización de azúcares y producción de ácidos, lo que repercute en una disminución más rápida del pH y los grados Brix del té de kombucha. En conjunto, estos cambios reflejan la complejidad y dinámica de la fermentación de esta bebida, en la que la interacción de microorganismos específicos y la concentración de la comunidad simbiótica influyen en la evolución de sus propiedades químicas durante su elaboración.

3.2.3. Actividad antioxidante de la bebida optimizada

La capacidad antioxidante de la bebida análoga de kombucha optimizada por el método Box-Behnken se evaluó utilizando el ensayo in vitro basado en la reacción de reducción del radical libre estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), con una longitud de onda de 517 nm. Los resultados indican un valor promedio de capacidad antioxidante de 17,095, obtenido mediante el ensayo DPPH. Lo cual refleja la capacidad de la bebida análoga de kombucha optimizada para neutralizar los radicales libres (Teixeira Oliveira et al., 2023). Un valor más alto sugiere una mayor capacidad antioxidante, lo que es positivo para la salud debido a la capacidad de los antioxidantes para combatir el estrés oxidativo en el cuerpo. Este resultado puede atribuirse a la combinación específica de ingredientes y concentraciones optimizadas durante el proceso de formulación, que

incluye jugo de nervadura de banano, infusión de té verde, puré de banano y vinagre madre de SCOBY.

3.3. Costos de producción de la bebida fermentada

El análisis de los costos de producción revela una desglosada detallada de los gastos asociados con la fabricación de 16800 litros de té de kombucha por mes (33600 unidades/mes). Los costos se distribuyen en varias categorías fundamentales, comenzando con los elementos primarios y materiales empleados en el proceso, tales como hojas de banano, té verde, agua potable, SCOBY, maracuyá, botellas de vidrio, cajas de cartón, tapas y etiquetas. Estos elementos representan una proporción sustancial del desembolso total, influyendo directamente en el costo de producción.

Además, se contemplan los costos asociados con equipos y dispositivos esenciales para la producción, incluyendo fermentadores, ollas de cocción, filtros, mesas de trabajo, pasteurizador, entre otros. La amortización de los equipos se estableció para 60 meses.

La mano de obra, compuesta por operarios, personal administrativo y gerencial, constituye otra área significativa de gasto. Estos costos reflejan la contribución humana al proceso productivo y a la gestión de este, siendo parte integral de la estructura de costos. Por último, se incluyen los servicios básicos como agua, energía, transporte, teléfono e internet, que representan gastos esenciales para la operación de la planta de producción. Estos servicios, aunque individuales, contribuyen colectivamente a la infraestructura necesaria para la ejecución efectiva del proceso. Ver tabla 7.

Tabla 6. Costos de producción - bebida análoga del té de kombucha

Campo	Unidad	Cantidad	Costo por kilo/uni	Costo prod/16800L
Materia prima y materiales				\$ 47.065,20
Hoja de banano	kg	6300	\$ 0,2	\$ 1.260,00
Té verde	kg	210	\$ 45,0	\$ 9.450,00
Agua potable	L	21000	\$ 0,001	\$ 21,00
SCOBY	kg	210	\$ 2,5	\$ 525,00
Maracuya	kg	2100	\$ 3,0	\$ 6.300,00
Botellas de vidrio	paca (100)	336	\$ 85,0	\$ 28.560,00
Cajas de cartón	unidad	2730	\$ 0,0	\$ 109,20
tapas	paca (100)	336	\$ 1,0	\$ 336,00
etiquetas	paca (100)	336	\$ 1,5	\$ 504,00
Equipos y auxiliares				\$ 151.740,00
Amortización a 60 meses				\$ 2.529,00
Balanzada industrial	unidad	1	\$ 500,00	\$ 500,00
Fermentador Bandejas	unidad	5	\$ 1.000,00	\$ 5.000,00
Olla de coccion	unidad	1	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
Filtro	unidad	2	\$ 1.000,00	\$ 2.000,00
Mesas de trabajo	unidad	1	\$ 500,00	\$ 500,00
Pasteurizador	unidad	1	\$ 60.000,00	\$ 60.000,00
Cuchillos	unidad	10	\$ 2,00	\$ 20,00
Trapiche	unidad	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
Bomba	unidad	2	\$ 2.500,00	\$ 5.000,00
Barriles	unidad	10	\$ 50,0	\$ 500,00
Envasadora	unidad	1	\$ 45.000,00	\$ 45.000,00
Jabas	unidad	20	\$ 7,50	\$ 150,00
Bandejas	unidad	4	\$ 10,00	\$ 40,00
Pallets	unidad	10	\$ 3,00	\$ 30,00
Monta carga	unidad	1	\$ 30.000,00	\$ 30.000,00
Mano de obra				\$ 22.250,00
Operarios	persona	15	\$ 550,00	\$ 8.250,00
Personal Administrativo	persona	10	\$ 1.200,00	\$ 12.000,00
Gerente	persona	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
Servicios básicos				\$ 5.270,00
Agua				\$ 2.000,00
Energía				\$ 1.000,00
Transporte				\$ 2.000,00
Teléfono				\$ 70,00
Internet				\$ 200,00
Total por mes				\$ 226.325,20

Elaborado por los autores

El desglose mensual de costos para la producción del té de kombucha, valorado en \$226,325.20, se distribuye entre las categorías fundamentales de gastos mencionadas anteriormente. Este análisis exhaustivo no solo ofrece una perspectiva integral de los costos inherentes a la producción, sino que también actúa como punto de partida crucial para evaluar la viabilidad económica del negocio. Asimismo, permite la identificación de áreas susceptibles de

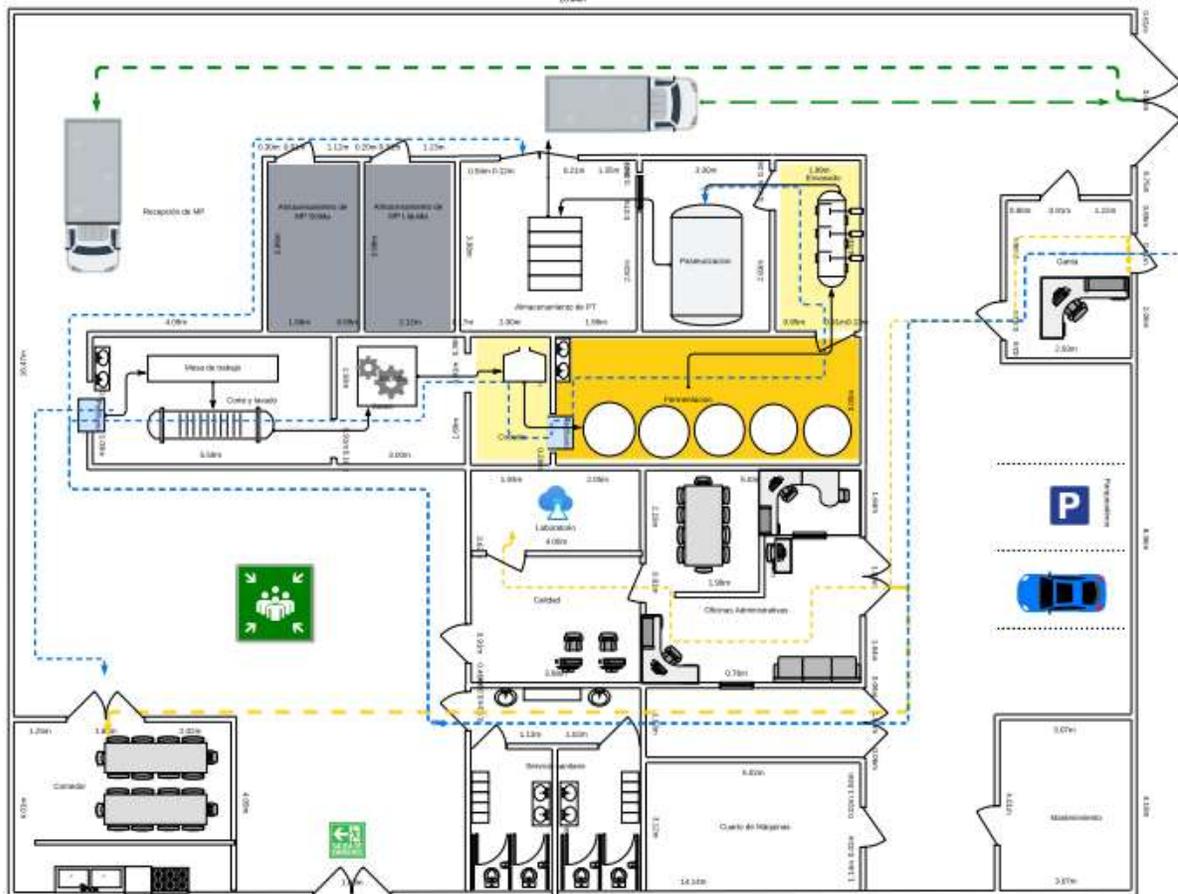
optimización y la toma de decisiones estratégicas para mejorar tanto la eficiencia operativa como la competitividad en el mercado.

El costo de producción de cada unidad de la bebida similar al té de kombucha se determinó en \$2,30, estableciendo un margen de utilidad del 30%. Esto resultó en un precio de venta de \$4,18 por unidad. No obstante, este valor de venta se posiciona por debajo del precio vigente en los supermercados locales. Esta discrepancia podría atribuirse al hecho de que los supermercados, al comercializar el producto, deben considerar aspectos adicionales, como la espera para recibir el pago de sus productos y los costos asociados al mantenimiento del espacio en la góndola, así como otros gastos inherentes a la venta minorista. Estos factores pueden influir en el precio final al consumidor en el entorno minorista, justificando la diferencia de precios entre el valor de venta directa y el precio al público en los supermercados.

3.4 Diseño de planta

En el Plano 1 se presenta el diseño de instalaciones para una industria de producción a escala mediana de la bebida similar a la kombucha, abarcando áreas fundamentales como: producción, control de calidad, complejo administrativo, área sanitaria, comedores y mantenimiento. Esta disposición se adoptó siguiendo las recomendaciones del software Corelap. Entre las principales medidas asignadas fueron: al departamento de producción con un área de 120 m², la de calidad de 24 m², almacenamiento de 32m², la administrativa de 100 m², comedor de 28 m² y la de mantenimiento de 12 m². Este diseño resultó en una planta de dimensiones totales de 26 m de longitud por 21 m de ancho, alcanzando una superficie total de 546 m². Durante la planificación, se consideraron cuidadosamente los riesgos de biocontaminación en las áreas críticas, siendo identificadas las zonas inertes mediante el color blanco, las áreas sensibles con el color amarillo y las regiones altamente sensibles con el color naranja.

Plano 1. Layout propuesto para el diseño de una planta procesadora de la bebida análoga a la Kombucha



Leyendas

Recorrido de Transporte	
Recorrido de operarios	
Recorrido de personal administrativo	
Flujo de operaciones	
Zona inerte	
Zona sensible	
Zona ultrasensible	
Area Gris	
Pediluvio	
Parqueos	
Zona de encuentro	
Salida de emergencia	

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

La aplicación del diseño Box-Behnken permitió determinar la formulación óptima de la bebida kombucha, destacando la influencia significativa del puré de banano en la aceptabilidad. Este enfoque no solo optimiza el proceso, sino que también evidencia la importancia de considerar interacciones cuadráticas para lograr la máxima aceptación. El análisis de los resultados reveló que el puré de banano y la interacción cuadrática en la cantidad de jugo de nervadura de banano son variables clave que afectan la aceptación del producto. La formulación de la bebida que tiene la mayor aceptación es la que contiene 45,0289g de jugo de nervadura de banano, 32,1241g de infusión de té verde, 26,7076g de puré de banano y 17,4555g de vinagre madre de SCOBY. Esta información es crucial para la producción a gran escala, permitiendo ajustes precisos en la formulación para maximizar la aceptación del consumidor.

El estudio verifica la ausencia de pesticidas en el jugo de nervadura de banano. Las diferencias en pH y grados Brix entre los elementos del té de kombucha indican variaciones químicas. Durante la fermentación, los microorganismos y la concentración de SCOBY influyen en cambios significativos en el pH y los grados Brix, revelando la complejidad dinámica del proceso. Estas variaciones pueden atribuirse a la actividad microbiana del SCOBY y ofrecen información valiosa sobre la evolución de la bebida, permitiendo ajustes para garantizar la consistencia en propiedades organolépticas. La actividad antioxidante de la bebida optimizada fue de 17,095 % de inhibición.

El análisis de costos detalla exhaustivamente los gastos vinculados a la producción mensual de 16800 litros de té de kombucha (33600 unidades/mes). Los costos se distribuyen en categorías como materiales, equipos, mano de obra y servicios básicos. La suma mensual de \$226,325.20 se

desglosa para evaluar la viabilidad económica, identificar áreas de optimización y tomar decisiones estratégicas. El costo unitario de producción es de \$2,30, con un margen de utilidad del 30%, resultando en un precio de venta de \$4,18, inferior al de los supermercados debido a consideraciones adicionales en el entorno minorista.

4.2. Recomendaciones

Explorar variaciones en tiempo, temperatura y concentración microbiana podría mejorar aún más la calidad y consistencia del producto final.

Es necesario profundizar el impacto nutricional del uso de la bebida análoga de kombucha a base de residuos del banano por medio de estudios adicionales in-vitro.

Analizar la presencia de metales pesados en la bebida.

Bibliografía

- Assad, M., Ashaolu, T. J., Khalifa, I., Baky, M. H., & Farag, M. A. (2023). Dissecting the role of microorganisms in tea production of different fermentation levels: A multifaceted review of their action mechanisms, quality attributes and future perspectives. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(10), 265. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03701-5>
- Bhattacharya, S., Gachhui, R., & Sil, P. C. (2013). Effect of Kombucha, a fermented black tea in attenuating oxidative stress mediated tissue damage in alloxan induced diabetic rats. *Food and Chemical Toxicology*, 60, 328-340. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.07.051>
- Bishop, P., Pitts, E. R., Budner, D., & Thompson-Witrick, K. A. (2022). Chemical Composition of Kombucha. *Beverages*, 8(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/beverages8030045>
- Chakravorty, S., Bhattacharya, S., Bhattacharya, D., Sarkar, S., & Gachhui, R. (2019). 10 - Kombucha: A Promising Functional Beverage Prepared From Tea. En A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Non-Alcoholic Beverages* (pp. 285-327). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815270-6.00010-4>
- Chambial, S., Dwivedi, S., Shukla, K. K., John, P. J., & Sharma, P. (2013). Vitamin C in Disease Prevention and Cure: An Overview. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 28(4), 314-328. <https://doi.org/10.1007/s12291-013-0375-3>
- Costa, M. A. D. C., Dias Moreira, L. D. P., Duarte, V. D. S., Cardoso, R. R., São José, V. P. B. D., Silva, B. P. D., Grancieri, M., Corich, V., Giacomini, A., Bressan, J., Martino, H. S. D., & Barros, F. A. R. D. (2022). Kombuchas from Green and Black Tea Modulate the Gut Microbiota and Improve the Intestinal Health of Wistar Rats

- Fed a High-Fat High-Fructose Diet. *Nutrients*, 14(24). Scopus.
<https://doi.org/10.3390/nu14245234>
- 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>
- de Oliveira, Í. A. C. L., Rolim, V. A. O., Gaspar, R. P. L., Rossini, D. Q., de Souza, R., & Bogsan, C. S. B. (2022). The Technological Perspectives of Kombucha and Its Implications for Production. *Fermentation*, 8(4). Scopus.
<https://doi.org/10.3390/fermentation8040185>
- Diez-Ozaeta, I., & Astiazaran, O. J. (2022). Recent advances in Kombucha tea: Microbial consortium, chemical parameters, health implications and biocellulose production. *International Journal of Food Microbiology*, 377, 109783.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109783>
- Ducruet, J., Rébenaque, P., Diserens, S., Kosińska-Cagnazzo, A., Héritier, I., & Andlauer, W. (2017). Amber ale beer enriched with goji berries – The effect on bioactive compound content and sensorial properties. *Food Chemistry*, 226, 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.047>
- Dutta, H., & Paul, S. K. (2019). 8 - Kombucha Drink: Production, Quality, and Safety Aspects. En A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Production and Management of Beverages* (pp. 259-288). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815260-7.00008-0>
- Dwivedi, G., & Sharma, M. P. (2015). Application of Box–Behnken design in optimization of biodiesel yield from Pongamia oil and its stability analysis. *Fuel*, 145, 256-262.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.12.063>

- Fabricio, M. F., Mann, M. B., Kothe, C. I., Frazzon, J., Tischer, B., Flôres, S. H., & Ayub, M. A. Z. (2022). Effect of freeze-dried kombucha culture on microbial composition and assessment of metabolic dynamics during fermentation. *Food Microbiology*, *101*. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103889>
- FAO. (2021). *BANANA MARKET REVIEW - Preliminary results 2020*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/cb5150en/cb5150en.pdf>
- FAO. (2019). *FAO and partners intensify efforts to help countries combat banana disease threat*. <https://www.fao.org/news/story/en/item/1235747/icode/>
- Ferreira, S. L. C., Bruns, R. E., Ferreira, H. S., Matos, G. D., David, J. M., Brandão, G. C., da Silva, E. G. P., Portugal, L. A., dos Reis, P. S., Souza, A. S., & dos Santos, W. N. L. (2007). Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods. *Analytica Chimica Acta*, *597*(2), 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.07.011>
- Greenwalt, C. J., Steinkraus, K. H., & Ledford, R. A. (2000). Kombucha, the Fermented Tea: Microbiology, Composition, and Claimed Health Effects. *Journal of Food Protection*, *63*(7), 976-981. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-63.7.976>
- Huang, X., Xin, Y., & Lu, T. (2022). A systematic, complexity-reduction approach to dissect the kombucha tea microbiome. *eLife*, *11*. Scopus. <https://doi.org/10.7554/eLife.76401>
- Jakubczyk, K., Kupnicka, P., Melkis, K., Mielczarek, O., Walczyńska, J., Chlubek, D., & Janda-Milczarek, K. (2022). Effects of Fermentation Time and Type of Tea on the Content of Micronutrients in Kombucha Fermented Tea. *Nutrients*, *14*(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/nu14224828>

- 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>
- Jayabalan, R., Subathradevi, P., Marimuthu, S., Sathishkumar, M., & Swaminathan, K. (2008). Changes in free-radical scavenging ability of kombucha tea during fermentation. *Food Chemistry*, 109(1), 227-234. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.037>
- Júnior, J. C. D. S., Meireles Mafaldo, Í., de Lima Brito, I., & Tribuzy de Magalhães Cordeiro, A. M. (2022). Kombucha: Formulation, chemical composition, and therapeutic potentialities. *Current Research in Food Science*, 5, 360-365. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.023>
- Kaewkod, T., Sangboonruang, S., Khacha-Ananda, S., Charoenrak, S., Bovonsombut, S., & Tragoolpua, Y. (2022a). Combinations of traditional kombucha tea with medicinal plant extracts for enhancement of beneficial substances and activation of apoptosis signaling pathways in colorectal cancer cells. *Food Science and Technology (Brazil)*, 42. Scopus. <https://doi.org/10.1590/fst.107521>
- Kaewkod, T., Sangboonruang, S., Khacha-Ananda, S., Charoenrak, S., Bovonsombut, S., & Tragoolpua, Y. (2022b). Combinations of traditional kombucha tea with medicinal plant extracts for enhancement of beneficial substances and activation of apoptosis signaling pathways in colorectal cancer cells. *Food Science and Technology*, 42, e107521. <https://doi.org/10.1590/fst.107521>
- Kanurić, K. G., Milanović, S. D., Ikonić, B. B., Lončar, E. S., Iličić, M. D., Vukić, V. R., & Vukić, D. V. (2018). Kinetics of lactose fermentation in milk with kombucha

- starter. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(4), 1229-1234.
<https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.02.002>
- Kim, Y., Lee, K.-G., & Kim, M. K. (2016). Volatile and non-volatile compounds in green tea affected in harvesting time and their correlation to consumer preference. *Journal of Food Science and Technology*, 53(10), 3735-3743.
<https://doi.org/10.1007/s13197-016-2349-y>
- Kombucha Market Size, Industry Share, Growth Analysis, Forecast, 2030*. (s. f.).
Recuperado 5 de diciembre de 2023, de
<https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/kombucha-market-100230>
- Maity, S. (2023). 2—Applications of selected response surface design of experiments and advanced control charts in textile engineering. En R. Chattopadhyay, S. K. Sinha, & M. L. Regar (Eds.), *Textile Calculation* (pp. 13-55). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99041-7.00015-1>
- Nunes Filho, R. C., Galvan, D., Eftting, L., Terhaag, M. M., Yamashita, F., Benassi, M. de T., & Spinosa, W. A. (2021). Effects of adding spices with antioxidants compounds in red ale style craft beer: A simplex-centroid mixture design approach. *Food Chemistry*, 365, 130478.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130478>
- Ortiz-Ulloa, J. A., Abril-González, M. F., Pelaez-Samaniego, M. R., & Zalamea-Piedra, T. S. (2021). Biomass yield and carbon abatement potential of banana crops (*Musa* spp.) in Ecuador. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(15), 18741-18753. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09755-4>
- Pure, A. E., & Pure, M. E. (2016). Antioxidant and Antibacterial Activity of Kombucha Beverages Prepared using Banana Peel, Common Nettles and Black Tea

- Infusions. *Applied Food Biotechnology*, 3(2), Article 2.
<https://doi.org/10.22037/afb.v3i2.11138>
- Squeo, G., De Angelis, D., Leardi, R., Summo, C., & Caponio, F. (2021). Background, Applications and Issues of the Experimental Designs for Mixture in the Food Sector. *Foods*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/foods10051128>
- Tan, J. S., Phapugrangkul, P., Lee, C. K., Lai, Z.-W., Abu Bakar, M. H., & Murugan, P. (2019). Banana frond juice as novel fermentation substrate for bioethanol production by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21, 101293. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101293>
- Teixeira Oliveira, J., Machado da Costa, F., Gonçalves da Silva, T., Dotto Simões, G., dos Santos Pereira, E., Quevedo da Costa, P., Andrezza, R., Cavalheiro Schenkel, P., & Pieniz, S. (2023). Green tea and kombucha characterization: Phenolic composition, antioxidant capacity and enzymatic inhibition potential. *Food Chemistry*, 408, 135206. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135206>
- Tu, C., Tang, S., Azi, F., Hu, W., & Dong, M. (2019). Use of kombucha consortium to transform soy whey into a novel functional beverage. *Journal of Functional Foods*, 52, 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.10.024>
- Urrutia, M. A. D., Ramos, A. G., Menegusso, R. B., Lenz, R. D., Ramos, M. G., Tarone, A. G., Cazarin, C. B. B., Cottica, S. M., da Silva, S. A. V., & Bernardi, D. M. (2021). Effects of supplementation with kombucha and green banana flour on Wistar rats fed with a cafeteria diet. *Heliyon*, 7(5), e07081.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07081>
- Veliz, K., Chico-Santamarta, L., & Ramirez, A. D. (2022). The Environmental Profile of Ecuadorian Export Banana: A Life Cycle Assessment. *Foods*, 11(20), Article 20.
<https://doi.org/10.3390/foods11203288>

Wintergerst, E. S., Maggini, S., & Hornig, D. H. (2006). Immune-Enhancing Role of Vitamin C and Zinc and Effect on Clinical Conditions. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 50(2), 85-94. <https://doi.org/10.1159/000090495>

Wispen, S., Somsong, P., Santivarangkna, C., Tiyaon, P., Chathiran, W., Matthews, K. R., & Srichamnong, W. (2022). Changes in Bioactive Compounds, Antioxidant Activities and Chemical Properties of Pickled Tea By-Product Fermentation: Promising Waste Management and Value-Added Product. *Fermentation*, 8(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100472>

ANEXO 1

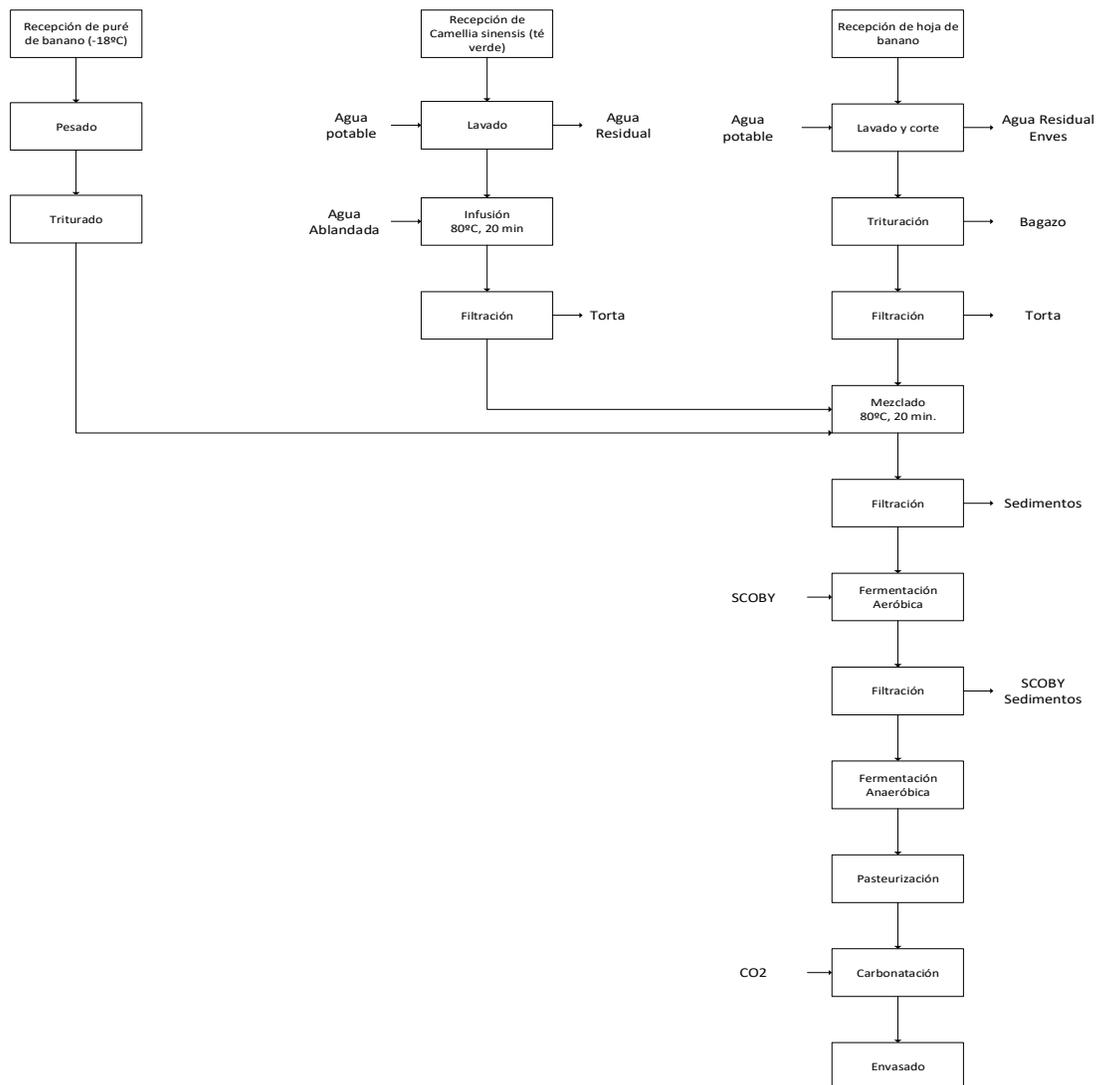


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso

Elaborado por los autores

1. Recepción de la materia prima:

- La hoja de banano proviene de una finca convencional de banano Cavendish, ubicada en el recinto Mariscal Sucre, Guayas, Ecuador. La muestra fue recolectada durante la cosecha del banano. Las hojas son seleccionadas y limpiadas meticulosamente.

- El puré de banano se obtiene como desecho de una empresa procesadora de puré de banano, recuperando el producto que originalmente se descartaba. Este puré se almacena a -18°C para preservar su frescura.

- La hoja de té verde (*Camellia sinensis*) se adquiere de un mercado local.

2. Lavado y corte:

- Las hojas de banano se lavan para eliminar cualquier partícula de suciedad, y durante este proceso, se separa el envés de la nervadura.

- Las hojas de té verde también se lavan para garantizar la eliminación de impurezas.

3. Trituración:

- Las nervaduras de banano limpias se trituran en un equipo similar a un trapiche, extrayendo el jugo y generando bagazo como subproducto.

4. Infusión de té verde:

- El té verde se infunde en agua a 80°C durante 20 minutos, utilizando 10 gramos de té verde por litro de agua destilada. Posteriormente, la infusión se filtra para eliminar cualquier residuo de las hojas.

5. Filtración del jugo de la nervadura de banano:

- El jugo obtenido del trapiche se filtra para separar cualquier resto del bagazo de la nervadura.

6. Mezclado:

- En esta etapa, se mezcla el jugo de nervadura de banano, la infusión de té verde y el puré de banano, previamente pesado y filtrado, a 80°C durante 20 minutos.

7. Filtración:

- La mezcla se filtra para eliminar partículas sólidas, asegurando una textura suave y homogénea en la bebida.

8. Fermentación aeróbica:

- La bebida se enfría a 30°C y se inocula con SCOBY, permitiendo una fermentación aeróbica que se extiende hasta un máximo de 14 días.

9. Filtración:

- Después de la fermentación, la bebida se filtra nuevamente para separar sedimentos y extraer el SCOBY.

10. Fermentación anaeróbica:

- La bebida fermentada pasa por una segunda fermentación, esta vez de tipo anaeróbica, durante 4 días.

11. Pasteurización:

- Para garantizar la seguridad y estabilidad del producto, la bebida se pasteuriza, reduciendo la carga microbiana y deteniendo el proceso de fermentación.

12. Carbonatación:

- La bebida se carbonata mediante dióxido de carbono de grado alimenticio, para mejorar su palatabilidad.

13. Envasado:

- Finalmente, la bebida se envasa en botellas de vidrio ámbar de 330 ml, asegurando la preservación de su calidad y sabor hasta el consumo.