

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Evaluación del uso de mezquite y cardenche como sustratos
alternativos para la producción de kombucha.

Por:

ALMA JIMENA GRANILLO MELO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:
INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**Saltillo, Coahuila, México
diciembre 2025**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Evaluación del uso de mezquite y cardenche como sustratos
alternativos para la producción de kombucha.

Por:

ALMA JIMENA GRANILLO MELO

TESIS

Que se somete a la consideración del H. jurado examinador como
requisito para obtener el título de:

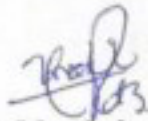
INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Aprobada por:



Dr. Armando Robledo Olivo

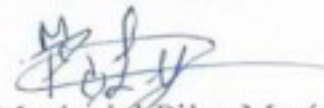
Asesor principal



Dra. Ana Verónica Charles

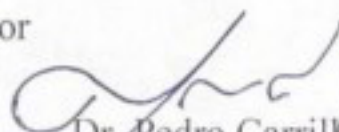
Rodríguez

Coasesor



MC. María del Pilar Marín

Cortez



Dr. Pedro Carrillo López

Coordinador de la División de Ciencia Animal



Saltillo Coahuila.

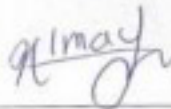
diciembre de 2025

MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADÉMICA

La suscrita Alma Jimena Granillo Melo, alumna del programa docente de Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos, con número de matrícula 41205899 y autora de la presente tesis manifiesta que:

1. Reconozco que el plagio académico constituye un delito que está penado en nuestro país.
2. Las ideas, opiniones, datos e información publicadas por otros autores y que han sido incluidas en este trabajo, han sido debidamente citadas, reconociendo la autoría de la fuente original.
3. Toda la información consultada ha sido analizada e interpretada por el suscrito y redactada según su criterio y apreciación, de tal manera que no se ha incurrido en el "copiado y pegado" de dicha información.
4. Reconozco la responsabilidad sobre los derechos del autor de los materiales bibliográficos consultados por cualquier vía y manifiesto no haber hecho mal uso de ellos.
5. Entiendo que la función y alcance de mi comité de asesoría está circunscrito a la orientación de guía respecto a la metodología de investigación realizada para el presente trabajo, así como el análisis e interpretación de los resultados obtenidos. Por lo tanto, eximo de toda responsabilidad relacionada al plagio académico a mi comité de asesoría y acepto que cualquier responsabilidad al respecto es únicamente mía.

ATENTAMENTE



Alma Jimena Granillo Melo

Tesista

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a la vida, por permitirme llegar hasta aquí y seguir continuando con mis metas.

A mis padres, Herminio Granillo Carbajal y Lirio Melo Monroy, mis pilares y ejemplo a seguir, quienes me han enseñado el valor de la dedicación, y han sido mi fortaleza, fuente de inspiración y de apoyo en todo momento. Su amor fue sido fundamental para mi crecimiento y éxito. Gracias por su confianza y siempre creer en mi sin importar nada.

A mi hermana y primas, Ayslin Estrella Granillo Melo, Heidi Marilyn Miranda Melo y Itzel Sarai Miranda Melo, quienes han demostrado que la distancia no puede separar una familia. Su apoyo incondicional que me brindan cuando lo necesito y por siempre estar pendiente de mí. Estoy agradecida por tenerlos en mi vida.

A mi novio José Eduardo Mendoza Trujillo, quien ha sido parte fundamental de este logro, gracias por apoyarme en todo momento y alentarme para seguir adelante.

A las amistades que forme durante la carrera, Virginia Araceli Infante Rodríguez, Delia Y. Altunar Pablo, Leydi Yaneth Hernández Ramírez, Zoe Gonzales Cruz, Julia Gabriela Carranza Salazar y José Miguel Téllez Pérez, por siempre escucharme y apoyarme en cada momento, infinitas gracias por hacerme sentir como en familia estando tan lejos de casa.

A mis profesores de licenciatura por siempre creer en mí y motivarme a seguir adelante.

A mi asesor, Dr. Armando Robledo Olivo, a quien agradezco su guía, orientación y paciencia durante todo el proceso de investigación y elaboración de esta tesis. Su experiencia y conocimiento han sido fundamentales para mi crecimiento y aprendizaje.

Al Técnico Académico TLQ Carlos Alberto Arévalo Sanmiguel, por todo su apoyo y orientación en las técnicas y análisis experimentales dentro de los laboratorios del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

A mi universidad, Autónoma Agraria Antonio Narro por darme las herramientas necesarias para seguir con mi aprendizaje y formación, tiene totalmente mi gratitud.

DEDICATORIAS

Dedico esta tesis a mi querida familia, cuyo apoyo, aliento y amor incondicional han sido base de cada uno de mis logros. A mis padres Herminio Granillo Carbajal y Lirio Melo Monroy por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, por siempre creer en mi incluso en los momentos más difíciles. A mi hermana Aislyn Estrella Granillo Melo, por ser mis compañeros de vida y mis mejores amigos. A mis abuelos maternos Macaria Monroy Martínez y Victorino Melo Islas, quienes fueron mis segundos padres siempre, por estar presentes en todo momento de mi vida. Este logro es tanto mío como de ustedes. Gracias por estar siempre a mi lado y por inspirarme a seguir adelante, sin ustedes nada de esto habría sido posible, con alegría y orgullo para ustedes.

RESUMEN

En la actualidad, existe un creciente interés por desarrollar alimentos y bebidas con beneficios nutraceuticos que contribuyan a la prevención de enfermedades crónicas asociadas al estrés oxidativo y al alto consumo de productos industrializados con exceso de azúcares añadidos. Ante esta problemática alimentaria y de salud pública, se ha buscado la incorporación de ingredientes funcionales de origen vegetal que aporten compuestos bioactivos y mejoren el perfil nutricional de alimentos fermentados como la kombucha. En este trabajo se evaluó el uso de harina de vaina de mezquite (*Prosopis glandulosa*) y harina de tuna de cardenche (*Cylindropuntia imbricata*) como sustratos alternativos para la elaboración de kombucha mediante fermentación líquida. La kombucha se formuló con tres tratamientos: sustrato tradicional con azúcar, con harina de mezquite y con harina de cardenche, monitoreando diversos parámetros bioquímicos y fisicoquímicos durante la fermentación. Se observaron diferencias significativas entre las variantes, destacando que la kombucha con cardenche presentó la mayor concentración de proteínas solubles y acidez, así como un mayor contenido de sólidos solubles, indicando una fermentación más activa. En cambio, la kombucha con mezquite mantuvo un pH ligeramente superior, lo que se asoció con una bebida de menor acidez y mayor estabilidad tecnológica. En términos funcionales, las kombuchas formuladas con mezquite y cardenche mostraron una capacidad antioxidante notable, alcanzando valores de inhibición superiores al 95% en la prueba de DPPH, lo cual superó al tratamiento tradicional con azúcar. Estos resultados confirmaron que la incorporación de ingredientes nativos enriqueció la bebida con metabolitos bioactivos derivados de los sustratos y del proceso fermentativo. El estudio demuestra la viabilidad del aprovechamiento biotecnológico de recursos vegetales regionales para la producción de una bebida fermentada funcional, contribuyendo a la valorización local de especies de zonas áridas y ofreciendo una alternativa saludable a bebidas comercialmente establecidas.

Palabras clave: *Kombucha, Fermentación, Recursos vegetales nativos, Propiedades antioxidantes, Bioprocesos alimentarios.*

ABSTRACT

Currently, there is a growing interest in developing foods and beverages with nutraceutical benefits that contribute to the prevention of chronic diseases associated with oxidative stress and the high consumption of processed products with excess added sugars. Faced with this food and public health challenge, efforts have focused on incorporating functional ingredients of plant origin that provide bioactive compounds and improve the nutritional profile of fermented foods such as kombucha. This study evaluated the use of mesquite pod flour (*Prosopis glandulosa*) and cardenche prickly pear flour (*Cylindropuntia imbricata*) as alternative substrates for kombucha production via liquid fermentation. The kombucha was formulated with three treatments: a traditional substrate with sugar, with mesquite flour, and with cardenche flour, monitoring various biochemical and physicochemical parameters during fermentation. Significant differences were observed between the variants, with the kombucha made with cardenche showing the highest concentration of soluble proteins and acidity, as well as a higher soluble solids content, indicating a more active fermentation. In contrast, the kombucha made with mesquite maintained a slightly higher pH, which was associated with a beverage of lower acidity and greater technological stability. In functional terms, the kombuchas formulated with mesquite and cardenche showed a remarkable antioxidant capacity, reaching inhibition values above 95% in the DPPH test, which surpassed the traditional treatment with sugar. These results confirmed that the incorporation of native ingredients enriched the beverage with bioactive metabolites derived from the substrates and the fermentation process. The study demonstrates the viability of the biotechnological use of regional plant resources for the production of a functional fermented beverage, contributing to the local valorization of species from arid zones and offering a healthy alternative to commercially established beverages.

Keywords: *Kombucha, Fermentation, Native plant resources, Antioxidant properties, Food bioprocesses.*

INDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. HIPÓTESIS	12
III. OBJETIVOS.....	12
3.1 Objetivo general.....	12
3.2 Objetivos específicos.....	13
IV. ANTECEDENTES.....	14
4.1 Kombucha.....	14
4.2 Temperatura y pH durante la fermentación de kombucha	15
4.3 SCOBY	16
4.4 Componentes químicos de la kombucha y sus efectos beneficiosos.....	17
4.5 Proceso metabólico del SCOBY	18
4.6 Perfil sensorial del kombucha.....	19
V. METODOLOGÍA	21
5.1 Materia prima y reactivos	21
5.2 Caracterización de material vegetal en seco	24
5.3 Análisis bioquímicos en sustratos y kombuchas.....	27
5.4 Preparación de kombucha con diferentes sustratos	31
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
6.1 Obtención y caracterización bioquímica de las tunas de cardenche y las vainas de mesquite	33
6.2 Caracterización del material.....	34
6.3 Producción de kombucha mediante fermentación en medio líquido utilizando harina de cardenche y de mesquite como sustratos y análisis de perfil antioxidante...36	
VII. CONCLUSIONES	40
VIII. BIBLIOGRAFIA	41

I. INTRODUCCIÓN

La kombucha es una bebida funcional sin alcohol o con bajo contenido de alcohol, ligeramente ácida y carbonatada. Se originó en China mediante un procesamiento tradicional de fermentación de té negro, endulzado con microorganismos probióticos, llamados SCOBY (cultivo simbiótico de bacterias y levaduras). Posteriormente, se extendió a Japón, a Rusia, y a Europa del Este, alcanzando popularidad mundial durante la Segunda Guerra Mundial (Kapp & Sumner, 2018; Laavanya et al., 2021). En la actualidad, se ha expandido a las sociedades occidentales y, más recientemente, a Europa y Estados Unidos.

Se prevé que el mercado mundial de kombucha experimente una notable expansión, con un crecimiento anual compuesto (CAGR) del 14.8% entre 2025 y 2035, y una valoración total de 12,280.3 millones USD al final del período previsto. Una confluencia de hábitos de consumo saludables, tendencias en bebidas funcionales y un cambio cultural generalizado hacia el bienestar preventivo impulsan esta trayectoria ascendente. La kombucha, una antigua bebida de té fermentado, es cada vez más reconocida por sus propiedades probióticas, que favorecen la salud digestiva, refuerzan el sistema inmunitario y ayudan a la desintoxicación. Estos beneficios han posicionado a la kombucha como una bebida destacada en la categoría más amplia de bebidas funcionales. Los ensayos químicos de la bebida de kombucha han indicado la presencia de una variedad de compuestos benéficos para la salud, incluidos ácidos orgánicos, principalmente ácido acético, glucónico y glucurónico (Leal-Martínez, J. et al. 2018). Permatasari et al. (2021) investigaron los efectos del té de kombucha a base de uva de mar (*Coccoloba uvifera*) sobre los niveles de glucosa en sangre, colesterol y PGC-1 α en ratones albinos suizos, demostrando que la kombucha redujo estos niveles y mostró un buen potencial y actividad como alimento funcional antienvjecimiento.

Hoy en día, la kombucha saborizada domina el mercado representando una participación estimada del 61.7% en 2025. Este dominio está impulsado por la innovación en los perfiles de sabor, desde mezclas frutales clásicas como mango y bayas hasta infusiones botánicas como hibisco, lavanda y jengibre y cúrcuma. A medida que los consumidores buscan una experiencia saludable y sensorial, las marcas invierten activamente en I+D para ofrecer productos con

etiqueta limpia, bajos en azúcar y orgánicos, con mayor durabilidad. El Análisis del crecimiento anual del mercado de kombucha, revela cambios cruciales en el rendimiento e indica patrones de generación de ingresos (Tabla 1), estimando la trayectoria de crecimiento a lo largo de los años. El primer semestre del año, o H1, abarca de enero a junio. El segundo semestre, H2, abarca los meses de julio a diciembre.

Tabla 1. evaluación comparativa de la variación de la CAGR durante seis meses para el año base (2024) y el año actual (2025) en la industria global de kombucha

Particular*	Tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) de valor
H1	13.9% (2024 a 2034)
H2	14.4% (2024 a 2034)
H2	14.4% (2025 a 2035)
H2	14.8% (2025 a 2035)

*El primer semestre del año (H1) abarca de enero a junio. El segundo semestre (H2), abarca los meses de julio a diciembre.

En el primer semestre (S1) de la década, de 2024 a 2034, se espera que el negocio crezca a una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) del 13.9%, seguida de una mayor tasa de crecimiento del 14.4% en el segundo semestre (S2) de la misma década. Para el período posterior, del S1 de 2025 al S2 de 2035, se proyecta que la TAC aumente al 14.4% en el primer semestre y se mantenga elevada en el 14.8% en el segundo semestre. En el primer semestre (S1), el sector experimentó un aumento de 50 puntos básicos (pb), mientras que en el segundo semestre (S2), el negocio experimentó un aumento de 40 pb (Kombucha Market Size, Share & Outlook 2025-2035, 2025).

Por otra parte, el alto consumo de bebidas azucaradas es uno de los principales factores de riesgo asociados al aumento de obesidad, diabetes tipo 2 y otras enfermedades metabólicas, impulsando estrategias globales para reducir la ingesta de azúcares añadidos. Ante esta problemática, existe un creciente interés por el desarrollo de alternativas naturales de edulcoración que mejoren el perfil nutricional de estas bebidas, pero sin afectar su calidad sensorial.

En este contexto, ingredientes de origen vegetal como la harina de mesquite (*Prosopis* spp.) y la harina de cardenche (*Cylindropuntia* spp.) representan opciones redituables y prometedoras para la edulcoración de bebidas. La harina de mesquite destaca por su dulzor natural, su bajo índice glucémico, y su aporte de fibra dietética, minerales y compuestos fenólicos, lo que la convierte en un edulcorante con potencial nutracéutico y adecuado para poblaciones con riesgo metabólico (Gonzales-Barron et al., 2020; Zhong et al., 2022). Por su parte, la harina de cardenche, derivada de un recurso nativo de zonas áridas y semiáridas ha sido poco estudiada en cuanto a sus propiedades, sin embargo, al ser una cactácea contiene fibra y componentes funcionales que contribuyen a una respuesta glicémica más moderada frente al azúcar convencional (Monteiro et al., 2023).

La integración de estos componentes como fuente de carbono para la elaboración de kombucha y como edulcorantes naturales, no solo ofrece beneficios en la salud, sino que también impulsa la valorización de especies autóctonas, fomentando cadenas productivas sostenibles y el aprovechamiento de biomasa regional con bajo costo y alto valor agregado. Por lo anterior, la aplicación de mesquite y cardenche en la elaboración de kombucha representa una estrategia innovadora en la reformulación de productos alimenticios más saludables, alineada con los retos presentes de salud pública y desarrollo sostenible.

II. HIPÓTESIS

La adición de diversos sustratos de origen vegetal como fuente de carbono y nitrógeno durante la kombucha favorecerá la capacidad antioxidante en la bebida.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar diversas concentraciones de cardenche y harina de mesquite como sustratos adicionales en la elaboración de kombucha.

3.2 Objetivos específicos

1. Obtener y caracterizar bioquímicamente las tunas de cardenche y las vainas de mesquite.
2. Producir kombucha mediante fermentación en medio líquido utilizando harina de cardenche y de mesquite como sustratos.
3. Analizar el perfil antioxidante de las bebidas elaboradas con los diferentes sustratos.

IV. ANTECEDENTES

4.1 Kombucha

Kombucha (Figura 1) es el nombre de la bebida obtenida de la fermentación del té, principalmente el té negro. También existen otras variedades que pueden utilizarse como base para su preparación, como el té verde y el oolong, (también conocido como té azul). El principal sustrato añadido para realizar el proceso de fermentación es el azúcar de mesa (sacarosa). Aunque esta bebida se preparaba originalmente con té, es posible encontrar variaciones elaboradas con infusiones como menta, melisa o jazmín. El sabor de la bebida es ligeramente ácido y carbonatado, lo que le proporciona una mayor aceptación entre los consumidores de diversas edades. Algunos productos metabólicos del Cultivo Simbiótico de Bacterias y Levaduras o SCOBY (por sus siglas en inglés), como el ácido acético y otros ácidos orgánicos, poseen actividad antibacteriana, y previenen la contaminación de la bebida por bacterias patógenas (Watawana et al, 2015).



Figura 1. Imagen ilustrativa de la bebida kombucha. “imagen de autor”

Para su elaboración, se pueden utilizar hojas de té en agua, donde posteriormente se añade azúcar, que servirá de sustrato para las bacterias y levaduras que fermentan el té. Aproximadamente se utilizan 50 g de azúcar por litro de agua. Antes de añadir el SCOBY o un poco de kombucha preparada, la bebida debe estar a una temperatura cercana a los 20°C. Es fundamental utilizar utensilios desinfectados y trabajar en áreas limpias durante la elaboración

de kombucha para controlar el crecimiento de microorganismos y evitar contaminaciones no deseadas (Watawana et al., 2015). Asimismo, es importante controlar los niveles de pH durante la fermentación de kombucha, y preferiblemente detener este proceso cuando se alcanza un nivel de pH de 4.2, ya que la sobreproducción de ácido acético puede ser contraproducente (Kovacevic et al., 2014). Otros métodos de seguridad alimentaria incluyen la pasteurización del producto final para evitar la sobreproducción de alcohol y dióxido de carbono, así como la adición de un 0.1% de benzoato de sodio y un 0.1% de sorbato de potasio como conservantes alimentarios y, finalmente, mantenerlo refrigerado (Watawana et al., 2015).

El período de fermentación de kombucha generalmente requiere un mínimo de 3 días y un máximo de 60 días, dependiendo de las prácticas culturales (Watawana et al., 2015). La fermentación de kombucha se realiza a temperatura ambiente templada, optimizando así el tiempo de fermentación. La sacarosa se utiliza como principal fuente de carbono en una concentración del 5 al 20%, lo que proporciona el medio y los nutrientes necesarios para el desarrollo de microorganismos. Un SCOBY o el líquido resultante de una fermentación previa, con una concentración del 10%, puede utilizarse como cultivo iniciador (Vina et al, 2013).

Según Vina et al. (2013), las variables del proceso de fermentación, como el tiempo, la temperatura y la concentración de sacarosa, determinarán la concentración final de sustancias orgánicas como los ácidos y el pH. Los ácidos orgánicos producidos durante este proceso de fermentación disminuyen el pH del té, lo que provoca una falta de oxígeno inducida por la acidez. Debido a esto, la cantidad de posibles células microbianas patógenas, si las hubiera, disminuye, lo que resulta en una bebida segura para el consumo, a pesar de su origen microbiano (Watawana et al., 2015).

4.2 Temperatura y pH durante la fermentación de kombucha

Según Bishop et al., (2022), en el proceso de elaboración de kombucha es necesario mantener una temperatura óptima que asegure el crecimiento microbiano y la actividad enzimática adecuada durante la fermentación. En su estudio, menciona que la fermentación solo pudo iniciar de manera eficiente cuando el sustrato se mantuvo por encima de los 20°C, mientras que el intervalo considerado ideal osciló entre 22°C y 30°C. Dentro de estos valores, Bishop et al., (2022) observaron un incremento en la producción de ácidos orgánicos, metabolitos y vitamina C en la bebida. Sin embargo, también se señaló que, al superar temperaturas excesivas, se

generaron cantidades elevadas de etanol y ácido acético, lo que condujo a un producto no apto para consumo humano.

En el mismo estudio, Bishop et al (2022) indicaron que los ácidos orgánicos generados durante la fermentación (especialmente el acético y el glucónico), influyen directamente en la actividad biológica del consorcio microbiano, por lo que el pH se consideró un parámetro ambiental determinante. Se describió que este valor afecta la tasa de crecimiento de los microorganismos fermentadores y provoca modificaciones estructurales en los fitoquímicos presentes en la kombucha, lo que a su vez puede alterar su actividad antioxidante. Asimismo, se estableció que el pH de la bebida no debía disminuir por debajo de 3, ya que valores inferiores resultarían demasiado ácidos para su consumo. También se señaló que el proceso fermentativo debía detenerse una vez alcanzada una acidez titulable cercana a 4–5 g/L, aunque el tiempo requerido para llegar a dicho nivel dependió del cultivo iniciador empleado y de las condiciones específicas de fermentación (Bishop et al., 2022).

4.3 SCOBY

De acuerdo con Bishop et al (2022), el SCOBY consiste en una biopelícula de celulosa generada a partir de fermentaciones previas del té. Al inicio del proceso fermentativo, dicha biopelícula se observa como una capa delgada que flota en la parte superior del líquido. Conforme avanza la fermentación, los filamentos de celulosa producidos por las bacterias ascienden y se acumulan progresivamente, formando capas apiladas que dan origen a una estructura más gruesa y resistente. Esta biopelícula actúa como un mecanismo funcional que protege a la kombucha frente a contaminaciones ambientales, ya que su composición y viscosidad funcionan como barrera física, dificultando la difusión de agentes antibacterianos externos (Bishop et al., 2022).

Asimismo, el SCOBY cumple el rol de ‘madre’ metabólica dentro del sistema, ya que su actividad microbiana dirige las transformaciones bioquímicas responsables de las características finales del producto (Bishop et al., 2022). Con el progreso de la fermentación, adquiere una textura densa y gelatinosa, con un olor avinagrado que se asocia al incremento de ácidos orgánicos como signo de un cultivo sano, mientras que la presencia de olores a moho indica un posible deterioro o contaminación (Bishop et al., 2022).

Las bacterias del ácido acético (BAA) representan el grupo microbiano más relevante y caracterizado en el SCOBY. Estas bacterias gram-negativas, pertenecientes a la familia

Acetobacteraceae, se desarrollan en condiciones óptimas cercanas a 25–30°C y pH entre 5.0 y 6.5, aunque son capaces de crecer en ambientes más ácidos (Bishop et al., 2022). Participan activamente en la conversión de etanol en ácido acético y en la producción de celulosa, formando la biopelícula del SCOBY. Entre ellas destacan especies de *Komagataeibacter*, especialmente *K. xylinus*, por su alta capacidad de sintetizar celulosa y acumular hasta 10–20% de ácido acético en el medio (Bishop et al., 2022). Su presencia explica tanto el sabor avinagrado como la textura característica de la kombucha.

Otro grupo de bacterias que forman parte de la microbiota de la kombucha, aunque su presencia resulta menos constante, son las bacterias ácido-lácticas (BAL). Estas bacterias gram-positivas y microaerófilas se reconocen por su historial en fermentaciones lácteas y su clasificación como GRAS. Su principal función es la producción de ácido láctico, aunque algunas especies generan metabolitos adicionales como ácido acético, dióxido de carbono, etanol y manitol (Bishop et al., 2022). La actividad metabólica de las BAL depende de la vía fermentativa utilizada, contribuyendo a la estabilidad y potencial probiótico de la bebida, especialmente en procesos industriales donde se han encontrado en concentraciones más altas (Bishop et al. 2022).

4.4 Componentes químicos de la kombucha y sus efectos beneficiosos

Se ha reportado que la kombucha es una mezcla compleja de compuestos provenientes del mismo té, así como del metabolismo del SCOBY. Dentro de los principales compuestos se pueden encontrar ácidos orgánicos, principalmente ácido acético, glucónico y glucurónico (GlcUA), así como ácido cítrico, L-láctico, málico, tartárico, malónico, oxálico, succínico, pirúvico y úsnico (Cheepchirasuk et al., 2025; Leal-Martínez, et al. 2018).

La presencia y cantidad de los componentes químicos son variables, dependiendo principalmente de los microorganismos del cultivo simbiótico utilizado para la fermentación de la kombucha, así como del tiempo y la temperatura de fermentación, el contenido de sacarosa y el tipo de té utilizado, además de los métodos de análisis empleados para su cuantificación. Los metabolitos beneficiosos producidos en el kombucha se sintetizan en Figura 2.

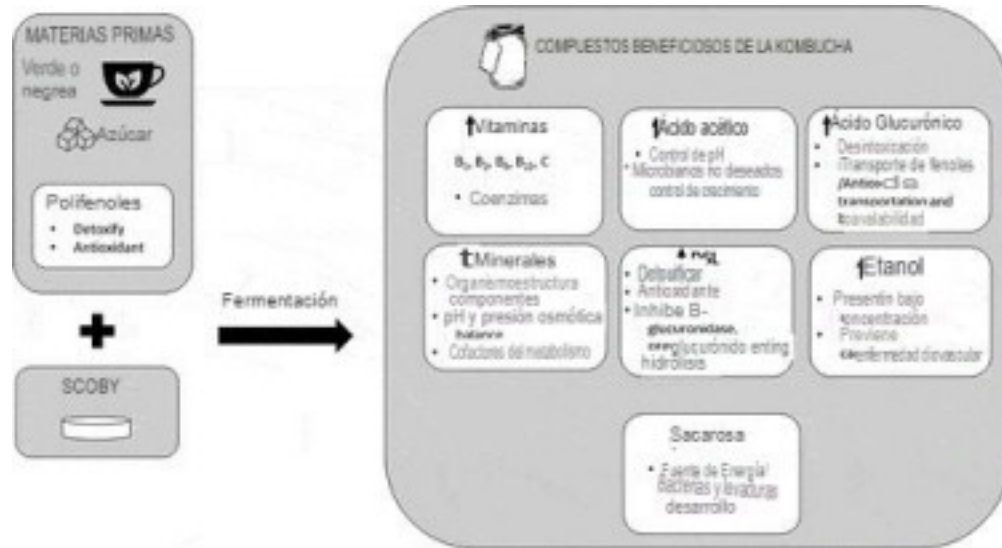


Figura 2. Proceso esquemático de la elaboración de kombucha y los principales compuestos beneficiosos que se generan. (Adaptado de Leal-Martínez et al., 2018)

4.5 Proceso metabólico del SCOBY

El SCOBY (Figura 3) es una biopelícula de celulosa derivada de fermentaciones previas de té (May et al., 2019). Al inicio de la fermentación, la biopelícula se observa como una fina capa flotando en la superficie de la bebida. Durante la fermentación, los minúsculos filamentos de celulosa producidos por las bacterias ascienden a la superficie y se agrupan. Esta acumulación crea varias capas superpuestas que flotan en la superficie. Dichas capas conforman una biopelícula más grande y resistente durante la fermentación (May et al., 2019). Se cree que las bacterias que habitan en esta densa biopelícula proporcionan una primera línea de defensa contra las bacterias ambientales y permiten el almacenamiento de recursos.

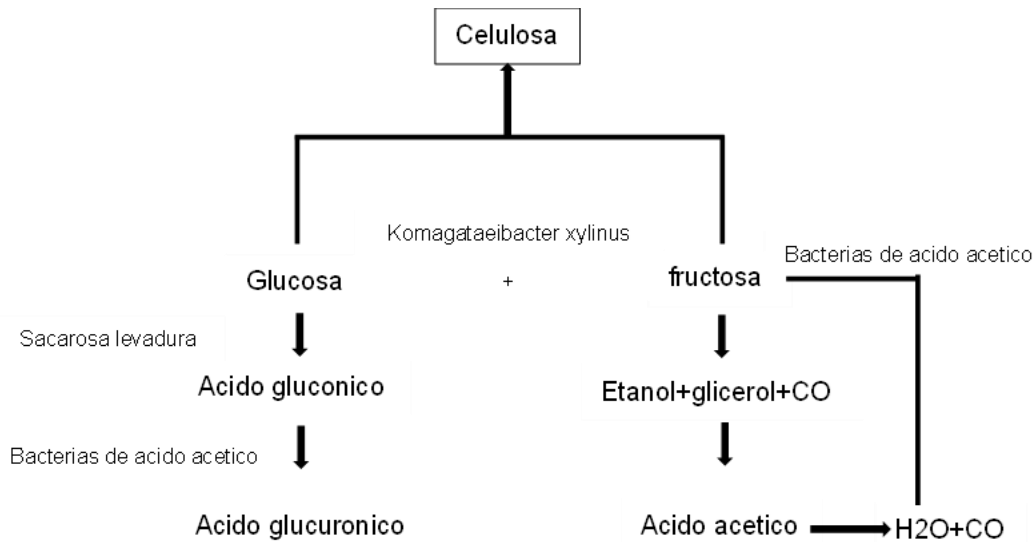


Figura 3. Esquema de la composición del SCOBY con los principales microorganismos y productos derivados del metabolismo simbiótico.

4.6 Perfil sensorial del kombucha

De acuerdo con lo reportado por Bishop et al (2022), la kombucha se caracteriza por un sabor refrescante y particular, con un perfil sensorial único y difícil de comparar con otras bebidas tradicionalmente consumidas. Actualmente, los productos comerciales disponibles se han formulado y ajustado para resultar más atractivos al gusto del consumidor occidental.

La kombucha puede observarse como un líquido transparente o turbio, dependiendo de la cantidad de sólidos en suspensión presentes en la bebida, los cuales pueden incluir microorganismos, proteínas agregadas, polifenoles y fibras de celulosa derivadas de la actividad de bacterias del ácido acético. Asimismo, su color característico se atribuye principalmente a los polifenoles extraídos del té, especialmente en el caso del té negro, donde la oxidación de catequinas origina pigmentos como teaflavinas y tearubiginas, responsables de tonalidades rojizas y oscuras (Bishop et al., 2022).

Respecto al perfil aromático, los componentes volátiles del té contribuyen al aroma, aunque en la kombucha el olor se ve definido mayormente por el ácido acético y los compuestos orgánicos volátiles generados por la levadura durante la fermentación, otorgando a la bebida similitudes aromáticas con bebidas como la sidra. En relación con el sabor, la dulzura proviene principalmente de los azúcares residuales que no fueron consumidos durante la fermentación,

mientras que los ácidos orgánicos —especialmente acético, glucónico y glucurónico— aportan notas ácidas y ligeros niveles de astringencia. Por otro lado, el amargor se atribuye a la presencia de cafeína y polifenoles propios del té utilizado (Bishop et al., 2022).

En algunos casos, se puede tener presencia de etanol, como resultado natural del metabolismo del SCOBY, generalmente en concentraciones menores al 1%, aunque puede incrementarse tras una segunda fermentación (Bishop et al., 2022), pudiendo llegar a implicaciones en el etiquetado comercial cuando supera los límites establecidos para bebidas sin alcohol.

V. METODOLOGÍA

El proceso de investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Fermentaciones y Biomoléculas dentro del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

5.1 Materia prima y reactivos

Se trabajó con las vainas del mezquite algarrobo (*Prosopis glandulosa*) y los frutos de un cactus espinoso (*Cylindropuntia imbricata*). En el caso del mezquite, se recolectaron vainas de algunos árboles que se encontraban en la universidad (Figura 4).

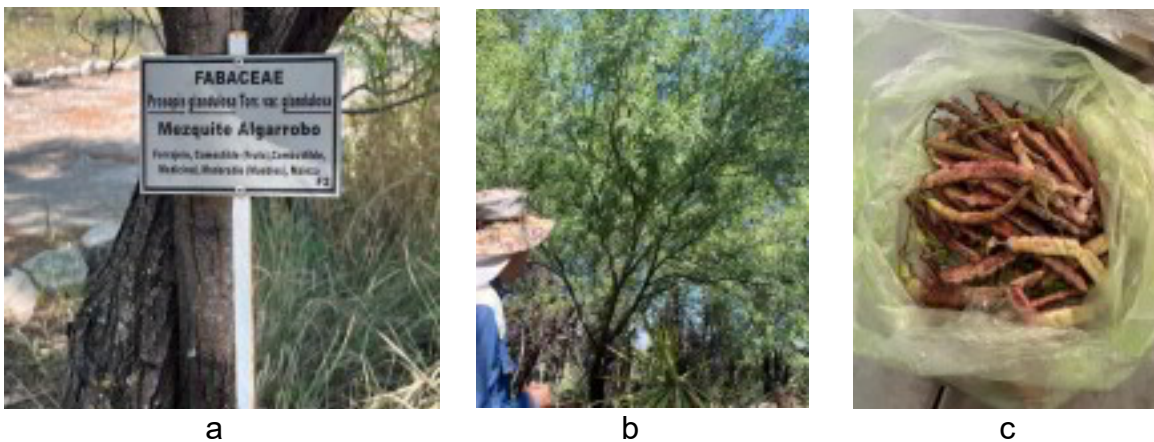


Figura 4. Recolección de material de mezquite y muestras recolectadas. (propiedad del autor)

Se revisó que cada fruto recolectado tuviera el color entre amarillo y rojizo (Figura 4c). Se cortaron y se llevaron al laboratorio para proceder con el procesamiento y la caracterización. Todas las vainas de mezquite fueron colocadas sobre una charola de aluminio previamente pesada, para poder determinar la masa del material (Figura 5). Posteriormente las vainas fueron reducidas en tamaño (Figura 5b) y secadas en estufa, a una temperatura de entre 33°C. Se dejaron secar durante un total de 12 días, moviendo las vainas con ayuda de una espátula en repetidas ocasiones para un secado uniforme. Al terminar el proceso de secado, se pesaron nuevamente para estimar rendimientos.



a



b



c

Figura 5. Secuencia de imágenes de la reducción de tamaño y pesado en seco de las vainas de mesquite. (propiedad del autor)

Posterior al proceso de secado, las vainas fueron molidas en una licuadora industrial para obtener la materia seca, la cual fue tamizada en malla #100 y se almacenó en un pequeño frasco (Figura 6) para su posterior caracterización bioquímica.



Figura 6. Muestra de vaina de mesquite molida y tamizada. (propiedad del autor)

En el caso del cardenche, las tunas se recolectaron de los cactus ubicados dentro de la Universidad (Figura 7). Se buscó que tuvieran un color en específico, entre verde intenso y amarillo fuerte. Una vez que se recolectaron, se limpiaron y se retiraron las espinas.

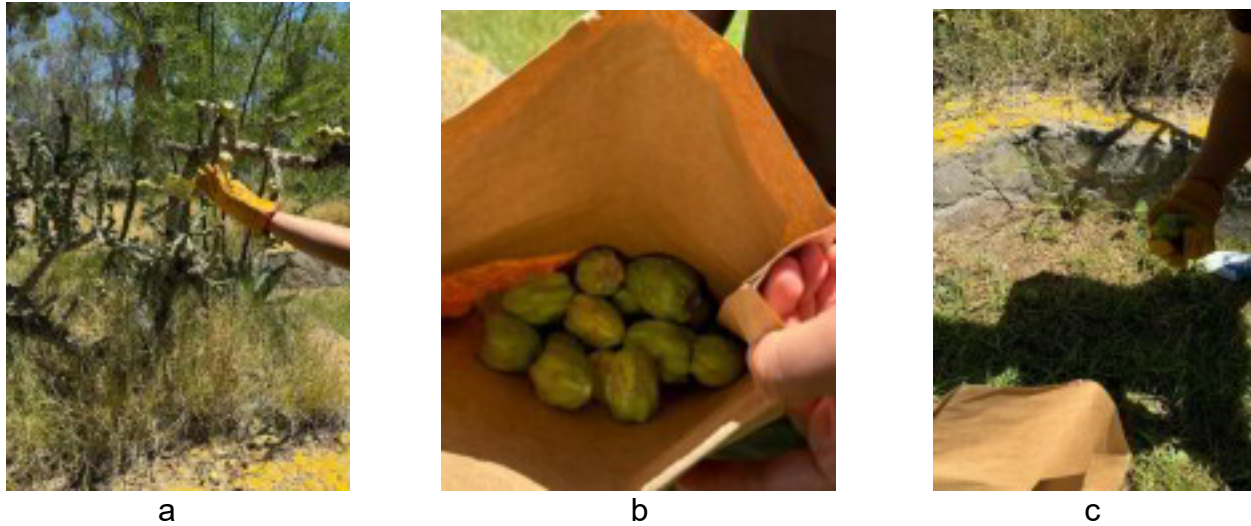


Figura 7. Recolección de material de cardenche y muestras recolectadas. (propiedad del autor)

En el procesamiento se emplearon la pulpa y la cáscara, con la finalidad de obtener la mejor calidad de materia seca. La fruta fue picada en pequeños trozos (Figura 8) y colocada en una charola de aluminio, donde se secó en una estufa a una temperatura de 33°C por 14 días, moviendo el material con una espátula para un secado homogéneo.



Figura 8. Proceso de reducción de tamaño de material de cardenche. (propiedad del autor)

El material seco fue molido en una licuadora industrial para proceder con un tamizado de malla #100 hasta obtener un producto fino, que se almacenó en un frasco de vidrio (Figura 9) para su posterior uso en la caracterización bioquímica.



Figura 9. Muestra de cardenche seco, molido y tamizada. (propiedad del autor)

5.2 Caracterización de material vegetal en seco

5.2.1 DETERMINACION DE HUMEDAD

El material de mesquite y cardenche fue secado, molido y tamizado para poder realizar el análisis bioquímico según normas de la AOAC Internacional (2016). La determinación de humedad se realizó por secado en horno hasta peso constante. Se tomó una cantidad de muestra de 10 g en balanza analítica, y se colocaron en crisoles de porcelana previamente pesados en balanza analítica (Oahus Adventurer). Se metieron a estufa de sacado a 100°C por 24 horas hasta que llegaron a peso constante. Una vez transcurrido el tiempo se sacaron las muestras cuidadosamente con pinzas y se colocaron en un desecador. Se dejaron enfriar durante 15 a 20 minutos y se pesaron 2g de cada muestra. Se colocaron en crisoles de porcelana y de dejaron en la estufa por 12 horas. Transcurrido el tiempo se sacaron con las pinzas, se colocaron en el desecador, se dejaron enfriar por 15 minutos y después se pesaron. A través de esta fórmula se determinó porcentaje de Materia Seca Total:

$$\%MST = \frac{\text{Peso crisol más muestra seca} - \text{peso crisol vacío}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

Una vez calculado el %MST se procedió a calcular el porcentaje de Humedad a través de la siguiente formula:

$$\%H = 100 - \%MST$$

5.2.2 CONTENIDO DE GRASAS (METODO SOXHLET)

Para evaluar el contenido graso de la harina de mezquite y de cardenche, se utilizó el método Soxhlet de extracción. Las muestras se pesaron en balanza analítica (Oahus Adventurer) de 3 a 4 g de muestra triturada y se colocaron en un cartucho de extracción. La muestra cargada en el cartucho de Soxhlet se introdujo en un tubo extractor o sifón, y el solvente hexano (250 mL) en una probeta se le agrega al matraz bola fondo plano boca esmerilada de 250 mL. Este proceso se analizó por el método de Soxhlet durante aproximadamente 6 horas (Figura 10), hasta obtener una extracción completa. Después de completar la extracción, el solvente (hexano) se recuperó y el matraz se colocó a la estufa a peso constante 100-105°C por 24 horas. Transcurrido este tiempo se sacaron las muestras en un desecador y se dejaron enfriar por 15 minutos para posteriormente pesar los matraces con grasa en la balanza analítica (Oahus Adventurer). El porcentaje de grasa en la muestra se calculó con la siguiente fórmula:

$$\%MST = \frac{\text{Peso crisol más muestra seca} - \text{peso crisol vacío}}{\text{g de muestra}} \times 100$$



Figura 10. Muestra de mesquite y cardenche dentro del sistema extractor Soxhlet. (propiedad del autor)

5.2.3 DETERMINACION DE FIBRA CRUDA

Para la determinación de Fibra Cruda (Figura 11) se pesaron 2 g en balanza analítica (Oahus Adventurer) para cada muestra. Posteriormente en un vaso de precipitados de 400 mL se le añadió 200 mL de solución de ácido sulfúrico al 0.255N a cada vaso. Se puso a calentar durante 30 minutos en la parrilla de calentamiento ajustada a 95-100°C, agitando ocasionalmente para evitar grumos. Una vez transcurrido el tiempo, se filtró cada muestra utilizando los embudos de

plástico y la tela de lino para retener los residuos sólidos. Estos se lavaron con agua destilada caliente hasta que el agua de enjuague quedo libre de ácido. Una vez realizado esto a cada vaso precipitado se le agregaron 200 mL de solución de hidróxido de sodio al 0.313 N se repite el calentamiento a 95-100°C durante 30 minutos, la muestra se filtra a través de los embudos de plástico y la tela de lino utilizando agua destilada caliente hasta que el agua del enjuague quede libre del ácido. Los residuos secos de ambas muestras los pasamos a crisoles de porcelana previamente tarados y secos para meterlos a la estufa de secado a 105°C por 2 horas para eliminar la humedad una vez transcurrido el tiempo se sacaron cuidadosamente con pinzas y se colocaron en un desecador donde se dejaron enfriar durante 15 minutos, se pesaron en una balanza analítica para obtener el peso del residuo después los crisoles los llevamos a una mufla de calentamiento ajustada a 550°C durante aproximadamente 1 hora, se dejaron enfriar los crisoles en el desecador y se pesaron nuevamente en la balanza analítica para determinar el peso del residuo calcinado. Los cálculos para obtener el porcentaje de fibra total se determinaron a través de la siguiente formula:

% Fibra Cruda =

$$\frac{(\text{peso crisol con fibra seca}) - (\text{peso crisol mas cenizas de fibra})}{(\text{g de muestra desgrasada})}$$

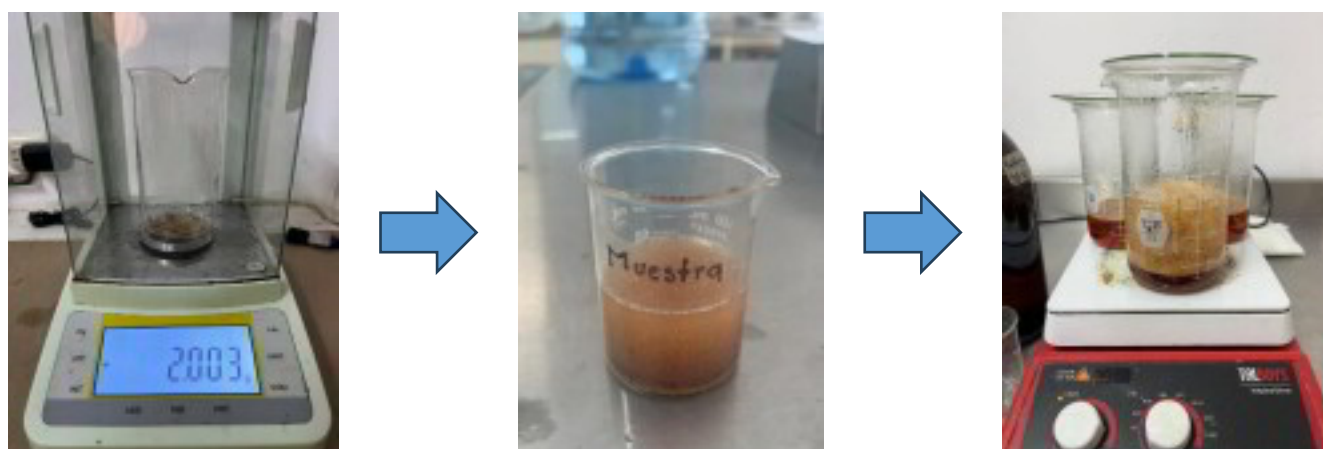


Figura 11. Esquema para la determinación de fibra cruda en muestras de mesquite y cardenche. (propiedad del autor)

5.3 Análisis bioquímicos en sustratos y kombuchas

5.3.1 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA SOLUBLE

Esta es una técnica espectrofotométrica, basada en el complejo entre las proteínas solubles con el colorante azul de Comassie (Bradford, M. M., 1976). En un tubo de ensayo, se colocaron 0.040 mL de la muestra con una concentración de 10 a 100 ppm de proteína. A continuación, se adicionaron 0.15 mL del reactivo de Bradford, se agitó la mezcla y se dejó reposar a temperatura ambiente. Simultáneamente, se preparó un tubo blanco con 0.040 mL de agua y 0.15 mL del reactivo de Bradford. La absorbancia a 595 nm del tubo con la muestra se midió entre 2 minutos y 1 hora después de realizada la reacción, utilizando el tubo blanco como referencia. Para calcular la concentración de proteína en la muestra, se elaboró una curva patrón utilizando Albúmina de huevo como estándar (1000 ppm).

5.3.2 ACIDEZ

La acidez, se determinó en base a la norma NMX-F-102-NORMEX-2010, que establece el método de acidez titulable. Se prepara una solución indicadora de fenolftaleína: Disuelva un gramo de fenolftaleína en 100 ml de alcohol etílico al 95 %. Añada una solución de hidróxido de sodio 0,1 N hasta que una gota adquiera una coloración rosa tenue. Diluya con agua destilada a 200 ml. Primero, se llenó una bureta con una solución de NaOH 10N. Posteriormente, se mezcló cuidadosamente la muestra de kombucha, procurando evitar la incorporación de aire adicional. Con ayuda de una pipeta, se transfirieron 10 mL de kombucha a un matraz cónico y se añadió un volumen equivalente de agua destilada. Después, se agregaron de 3 a 4 gotas de la solución indicadora de fenolftaleína y se homogenizó mediante movimientos circulares. A continuación, se registró la lectura inicial del álcali en la bureta, considerando el menisco en su punto más bajo. La muestra se tituló rápidamente con la solución de NaOH 10N, añadiendo el álcali gota a gota mientras se agitaba el matraz, hasta observar el primer cambio de color estable durante un lapso aproximado de 10 a 15 segundos. Finalmente, se anotó la lectura final de la bureta para el cálculo del consumo del titulante.

Para el cálculo del porcentaje de acidez, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Acidez} = \frac{\text{Número de mL de solución de NaOH 0.1N necesaria para la neutralización} \times 0.009}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

La solución indicadora de fenolftaleína se preparó disolviendo un gramo de fenolftaleína en 100 mL de alcohol etílico al 95%. Luego, se agregó una solución de hidróxido de sodio 0.1N hasta que una gota adquirió una coloración rosa tenue, y finalmente se diluyó con agua destilada hasta completar un volumen de 200 mL.

5.3.3 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE POR DPPH

El radical DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) es un compuesto utilizado principalmente para medir la capacidad antioxidante de diversas sustancias. Este radical se caracteriza por su color violeta intenso y estable, lo que lo hace adecuado para pruebas espectrofotométricas. La actividad antioxidante de la muestra fue determinada utilizando el método del libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), conforme a la metodología descrita por Charles-Rodríguez et al. (2020).

Para la preparación de la solución de DPPH se pesaron 1.18 mg de DPPH y se disolvieron en 20 mL de etanol absoluto. La solución fue mantenida en agitación, protegida de la luz durante al menos 2 horas antes de su uso, para asegurar su correcta disolución. Para el procedimiento se tomaron 25 µL de la muestra y se mezclaron con 200 µL de la solución de DPPH en cada pocillo de la placa. La mezcla fue agitada suavemente y se mantuvo a temperatura ambiente durante 30 minutos, protegida de la luz. Posteriormente, se midió la absorbancia a 520 nm en un lector de microplacas. La capacidad antioxidante se expresó como porcentaje de inhibición del radical DPPH (%RSA), calculado mediante la siguiente fórmula:

$$\%RSA = \left(\frac{Abs_{control} - Abs_{muestra}}{Abs_{control}} \right) * 100$$

5.3.4 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE POR ABTS HIDROFILICO

La generación del catión radical ABTS [ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)] es la base de uno de los métodos espectrofotométricos empleados para evaluar la capacidad antioxidante total en soluciones de sustancias puras, mezclas acuosas y bebidas. La versión

optimizada de esta técnica permite generar directamente el cromóforo azul verdoso $ABTS\cdot^+$ mediante la reacción entre ABTS y persulfato de potasio. La evaluación de la actividad antioxidante se realizó de acuerdo con el método descrito por Guía-García et al. 2021, utilizando el radical libre ABTS. Para la preparación del reactivo ABTS, se disolvieron 38.4 mg de ABTS en 10 mL de agua destilada en un matraz de aforación de capacidad de 10 mL para obtener una concentración de 7 mM. Después, se pesaron 6.62 mg de persulfato de potasio en otros 10 mL de agua destilada, para obtener una concentración de 2.45 mM. Ambas soluciones se mezclaron y se dejaron reaccionar durante 16 horas a 4°C, protegidas de la luz. El día del análisis, la solución de trabajo se diluyó con etanol al 20% hasta obtener una absorbancia de 0.700 ± 0.01 a 750 nm.

Para el procedimiento se colocaron 10 μ L de la muestra diluida en una microplaca de 96 pocillos, y se mezclaron con 200 μ L de la solución de trabajo de ABTS. La mezcla se mantuvo a temperatura ambiente durante 10 minutos, protegida de la luz. Posteriormente, se midió la absorbancia a 750 nm utilizando un lector de microplacas. Los resultados se expresaron como el porcentaje de actividad neutralizante del radical ABTS (%RSA) mediante la siguiente fórmula:

$$\%RSA = \left(\frac{Abs_{control} - Abs_{muestra}}{Abs_{control}} \right) * 100$$

5.3.5 AZUCARES TOTALES

La determinación de azúcares totales en alimentos es esencial para comprender su composición química. En el caso de la harina del mezquite y de cardenche, el contenido de carbohidratos puede influir en su estabilidad química y microbiológica, especialmente cuando se emplean como sustratos alternativos para la elaboración de una bebida fermentada

El método de fenol-sulfúrico, propuesto por Dubois et al. (1956), es ampliamente utilizado debido a su alta sensibilidad y precisión. Para este procedimiento se realizó una dilución, colocando 0.010 g de la muestra de materia seca mezquite y 9.99 mL de agua destilada con ayuda de una micropipeta; de la muestra de cardenche se agregaron 0.030 g de muestra y se agregaron 9.97 mL de agua destilada con ayuda de una micropipeta. Ambas muestras se pusieron en agitación constante por 30 minutos hasta su homogenización. Se filtró con papel

del No 5 y un embudo de plástico, y posteriormente se agregaron 500 µL a un tubo de ensayo de vidrio de 13x100 mm. Se le añadió 500 µL de fenol al 5%, se agito y se dejó reposar en baño de agua con hielo por 5 min. Se le añadió de manera cuidadosa y por las paredes del tubo, la cantidad de 1 mL (1000 µL) de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado. Se agito vigorosamente en el vórtex y se sometió a calentamiento a 50°C por 5 minutos, se dejó enfriar a temperatura ambiente por 5 minutos y se colocaron en celdas de cuarzo, para finalmente leer en el espectrofotómetro a 480 nm. Para la curva de calibración se utilizó sacarosa 0.1% como estándar.

5.3.6 DETERMINACIÓN DE PÉPTIDOS A PARTIR DEL MÉTODO DE KUNITZ MODIFICADO

El método reportado por Robledo-Olivo et al., (2025) consistió en realizar una muestra y un testigo, con la finalidad de descartar la hidrólisis de la caseína por calentamiento. Se utilizó caseína (Hammerstein, Boehringer Mannheim Corp., Indianapolis, IN, USA) al 1% disuelta en buffer de fosfatos pH 7.0 50 mM. La solución se agitó y se dejó en ebullición durante 10 minutos. Ácido tricloroacético (TCA) 0.4 M. Para la mezcla de reacción se adicionaron 700 µL de la caseína (incubada a 30°C por 10 min) y 300 µL de la muestra (proveniente de la kombucha) a un tubo de ensayo. Se dejó reaccionar por 10 minutos en un baño de temperatura controlada a 30°C. Para la determinación de la reacción se adicionó 1 mL de TCA con agitación. Se centrifugo a 19,100 G (Medida relativa de la velocidad de sedimentación de una partícula) durante 10 min. Para el blanco de enzima, se incubó la caseína previamente preparada a 30°C por 10 min. Se adicionaron 700 µL de caseína preparada y 1 mL de TCA. Se incubó en un baño de temperatura controlada a 30°C por 10 min, para posteriormente adicionar 300 µL del extracto crudo enzimático. Se centrifugó a 19,100 G durante 10 min. La cuantificación de péptidos solubles se realizó midiendo la absorbancia a cada uno de los sobrenadantes previamente filtrados en papel Whatman No. 1. Se determinó la absorbancia a 280 nm de los péptidos solubles en TCA.

5.3.7 DETERMINACION DE SOLIDOS SOLUBLES

Los sólidos solubles, también conocidos como grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$), se determinaron mediante un refractómetro digital (Figura 12). El principio de medición se basa en la refracción de la luz y la concentración de los solutos. Según la escala, 1°Bx corresponde a un índice de refracción de una solución de sacarosa en agua al 1%. Para la cuantificación, se agregó una gota de cada una de las fermentaciones de kombucha de cardenche, mezquite y azúcar morena en el prisma del equipo. Al comienzo de cada serie de mediciones se realizó una medición de control con agua destilada.



Figura 12. Equipo utilizado para la cuantificación de sólidos solubles totales. (propiedad del autor)

5.4 Preparación de kombucha con diferentes sustratos

Para la elaboración de la kombucha, se emplearon té negro, agua destilada, SCOBY, mezquite, cardenche, y azúcar de caña. Se trabajó con las vainas del mezquite algarrobo (*Prosopis glandulosa*) y los frutos de un cactus espinoso (*Cylindropuntia imbricata*), los cuales fueron los sustratos seleccionados.

En un recipiente se colocaron tazas de agua destilada a ebullición, y cucharadas de té negro, hasta lograr una infusión la cual fue vaciada en un fermentador (Figura 13). Posteriormente se pesaron los sustratos azúcar de caña, harina de mesquite y harina de cardenche, para agregarlos a los diferentes fermentadores con la infusión de té negro (Figura 14).



Figura 13. Esquema del proceso de obtención de la infusión de té negro. (propiedad del autor)



Figura 14. Esquema del proceso de pesaje y solubilización de sustratos para la elaboración de kombucha. (propiedad del autor)

Una vez que los fermentadores se encontraron a temperatura ambiente, se introdujo el SCOBY y se aforó hasta tener un litro de kombucha. Se taparon los frascos y se dejaron reposar por 14 días, vigilando cada 2 días el proceso, momento cuando se abría la tapa para la incorporación de oxígeno al sistema.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Obtención y caracterización bioquímica de las tunas de cardenche y las vainas de mesquite

En el caso del mezquite, se registró un peso inicial de 196 g, del cual se obtuvo un peso seco total de 111.5 g, lo que representó una pérdida aproximada del 43% de su masa original. Posteriormente, tras el proceso de molienda y tamizado, el producto resultante se redujo a poco menos de 80 g, evidenciando una pérdida adicional del 29%. Esta disminución se atribuyó principalmente a la cáscara del mezquite, la cual, debido a su función natural de protección de las semillas frente a altas temperaturas, sequías, depredación por pequeños animales y otros factores ambientales, dificulta la obtención de una harina fina.

Por otra parte, el cardenche presentó un mayor contenido de agua. Con ayuda de una balanza se determinó un peso inicial de 376 g. Al finalizar el proceso de secado, el producto tuvo un peso de 131.6 g, lo que representó una pérdida del 65% de su masa inicial debido a la evaporación del agua. Finalmente, se obtuvieron 125 g de producto seco tras completar todas las etapas del proceso.

De manera complementaria, al procesar 1 kg de vainas frescas de mezquite mediante las etapas de secado, molienda y tamizado descritas previamente, se obtuvo un peso seco de 570 g, lo que confirmó una pérdida aproximada del 43% tras el secado. Posteriormente, el tamizado generó una pérdida adicional del 29% debido a la eliminación de la fracción de cáscara que no pudo ser molida, resultando en un rendimiento final de 404.7 g de harina a partir de 1 kg de material fresco.

En el caso del cardenche, debido a su elevado contenido de humedad, el rendimiento fue considerablemente menor. Por cada kilogramo de materia fresca se recuperó únicamente el 35% del peso inicial (350 g). Luego del tamizado, se observó otra reducción del 9%, obteniéndose finalmente 318.5 g de producto seco por cada kilogramo de cardenche fresco procesado.

6.2 Caracterización del material

Un análisis proximal en materias primas como las vainas de mezquite y las tunas de cardenche es fundamental para determinar su valor nutricional, funcional y tecnológico, especialmente cuando se busca aprovechar estos recursos nativos en la elaboración de alimentos. Este análisis permite conocer el contenido de proteínas, carbohidratos, fibra, grasas, minerales y humedad, para evaluar el potencial de las vainas de mezquite y las tunas de cardenche como ingredientes, estandarizar su calidad, optimizar procesos de transformación y garantizar la inocuidad y estabilidad de los productos derivados. La tabla 2, muestra la caracterización proximal de las materias primas evaluadas.

Tabla 2. Caracterización proximal de las materias primas evaluadas.

Análisis	Vaina de mezquite	Tuna de cardenche
Grasa total (%)	2.03 ± 0.10 b	5.40 ± 0.07 a
Fibra total (%)	23.94 ± 1.33 a	22.81 ± 1.15 a
Proteína soluble (mg/g)	238.84 ± 13.89 b	264.64 ± 0.65 a
Acidez (%)	3.43 ± 0.42 b	4.17 ± 0.15 a
DPPH (%RSA)	43.95 ± 7.97 a	19.37 ± 1.27 b
ABTS (%RSA)	6.88 ± 0.41 a	5.66 ± 0.27 b
Azúcares totales (mg/g)	4.37 ± 0.14 a	4.68 ± 0.61 b

Los resultados obtenidos mostraron que tanto la vaina de mezquite como la tuna de cardenche presentaron un contenido elevado de fibra total, con valores de 23.94% y 22.81%, respectivamente. Este comportamiento indicó que ambos materiales pudieron actuar como fuentes adecuadas de fibra dietética dentro del proceso fermentativo. La presencia de esta fracción no digerible se interpretó como una ventaja funcional, ya que se ha reportado que la fibra contribuye al efecto prebiótico al favorecer el crecimiento y la estabilidad de las bacterias benéficas presentes en la kombucha, particularmente las del género *Acetobacter* y *Lactobacillus*. Por lo tanto, la elevada proporción de fibra pudo haber influido positivamente en el desarrollo de la microbiota y en las propiedades funcionales que se esperan en la bebida fermentada.

En relación con el contenido de grasa, el cardenche mostró un valor significativamente mayor (5.40%) en comparación con el mezquite (2.03%). Este parámetro, aunque no esencial en el

metabolismo del consorcio microbiano del SCOBY, puede afectar la fase sensorial o la estabilidad física de la bebida final. Una mayor cantidad de lípidos suele asociarse a una mayor turbidez o formación de fases separadas durante la fermentación y almacenamiento, lo cual implica que el cardenche requerirá métodos adicionales de clarificación o filtrado para la obtención de una kombucha con características fisicoquímicas más homogéneas. En cambio, el bajo contenido graso del mezquite sugiere una ventaja tecnológica para mejorar la apariencia y estabilidad del producto final.

Respecto a la proteína soluble, se observó que el cardenche presentó valores ligeramente superiores (264.64 mg/g) en comparación con el mezquite (238.84 mg/g). Esta diferencia resultó relevante debido a que la proteína soluble constituye una fuente de nitrógeno indispensable para el crecimiento y la actividad enzimática del consorcio microbiano. En este sentido, el cardenche pudo haber favorecido una fermentación más activa o eficiente, reflejándose posiblemente en una mayor producción de metabolitos benéficos como ácidos orgánicos y compuestos antioxidantes durante el proceso.

de Melo Cavalcante et al., (2022) menciona el potencial proteico en semillas de diferentes especies de *Prosopis* (mezquite), en rangos de 16.5% a 32%, y que incluso pueden alcanzar valores similares a fuentes comerciales de proteína vegetal como el garbanzo negro (18.2%). El porcentaje de carbohidratos en el grano de mezquite es similar al de las legumbres, lo que puede compararse con el de otros granos potenciales en el mercado. El contenido de grasa y fibra de los granos fue bajo, con un comportamiento inverso para el porcentaje de proteína.

En conjunto, los resultados permitieron interpretar que el mezquite pudo ofrecer mejores propiedades tecnológicas, al contribuir a una mayor estabilidad física y menor turbidez, mientras que el cardenche pudo favorecer el rendimiento fermentativo al aportar una mayor disponibilidad proteica y sostener el crecimiento microbiano. De esta manera, se estableció que la selección del sustrato podría orientarse en función de los objetivos del producto final: aprovechar el mezquite cuando se priorizan las características sensoriales de la bebida o el cardenche cuando se busca una mayor eficiencia fermentativa y un posible enriquecimiento en compuestos funcionales.

El análisis de actividades antioxidantes DPPH y ABTS en las vainas de mezquite y las tunas de cardenche, se vuelve relevante debido a la necesidad de cuantificar su capacidad para

neutralizar radicales libres, lo cual está directamente relacionado con su valor funcional, nutracéutico y su potencial como ingredientes bioactivos. Los frutos y vainas propios de ecosistemas áridos suelen acumular compuestos fenólicos, flavonoides y pigmentos antioxidantes como mecanismos naturales de defensa frente al estrés ambiental. Determinar la actividad antioxidante de un alimento mediante el método ABTS es importante porque permite cuantificar la capacidad de los antioxidantes del alimento para neutralizar los radicales libres. Esto es crucial para comprender el potencial de un alimento para proteger contra el daño celular causado por el estrés oxidativo y para evaluar la calidad y durabilidad del alimento.

6.3 Producción de kombucha mediante fermentación en medio líquido utilizando harina de cardenche y de mesquite como sustratos y análisis de perfil antioxidante.

Durante la producción de la kombucha se realizaron diferentes análisis bioquímicos, como proteínas solubles, péptidos solubles, DPPH, y parámetros físicos como pH y sólidos solubles totales (Tabla 3).

Tabla 3. Elementos de fermentación kombucha

Análisis	Kombucha con azúcar	Kombucha con mezquite	Kombucha con cardenche
Proteínas solubles (mg/L)	21.22 ± 0.22 c	29.56 ± 1.34 b	39.76 ± 2.28 a
Péptidos solubles (mM/L)	4.99 ± 0.28 a	3.00 ± 0.09 b	2.29 ± 0.11 b
pH	3.88 ± 0.12 ab	4.04 ± 0.10 a	3.67 ± 0.17 b
SST (%)	3.20 ± 0.26 b	3.73 ± 0.25 b	4.60 ± 0.40 a
Acidez (%)	3.27 ± 0.38 c	4.03 ± 0.25 b	4.97 ± 0.25 a
DPPH (%RSA)	n.d.	95.74 ± 0.18 b	96.12 ± 0.02 a
ABTS (%RSA)	74.86 ± 0.63	n.d.	n.d.

Los análisis realizados en las tres variantes de kombucha mostraron diferencias estadísticas en la composición proteica, el contenido de péptidos, los parámetros fisicoquímicos y la actividad antioxidante. La kombucha elaborada con cardenche presentó la mayor concentración de proteínas solubles, alcanzando ~40 mg/L, seguida por la kombucha con mezquite, y finalmente

la kombucha tradicional con azúcar, con el valor más bajo. Este comportamiento sugiere que los sustratos alternativos, especialmente el cardenche, aportan compuestos nitrogenados o favorecen procesos fermentativos que incrementan la solubilización de proteínas.

Por otra parte, el contenido de péptidos solubles fue mayor en la kombucha con azúcar, mientras que en las fermentaciones con mezquite y cardenche se observaron cantidades significativamente menores. Esto podría indicar diferencias en los patrones de proteólisis o en la composición inicial de proteínas y péptidos presentes en los sustratos vegetales.

Para la variable de pH, la kombucha con mezquite mostró valores ligeramente más altos, lo cual sugiere una menor acidificación durante la fermentación, mientras que la kombucha con cardenche alcanzó el pH más bajo, posiblemente a la asociación con una fermentación más activa o a la presencia de ácidos orgánicos propios del cardenche. En términos de sólidos solubles totales (SST), la kombucha con cardenche presentó los valores más altos, lo que refleja una mayor disponibilidad de azúcares y componentes solubles provenientes del fruto, lo que podría contribuir tanto a la fermentación como a la generación de metabolitos bioactivos.

La actividad antioxidante DPPH mostró diferencias notables: la kombucha con sustratos vegetales (mezquite y cardenche) alcanzaron porcentajes de inhibición superiores al 95%. Esto pone de manifiesto el potencial antioxidante inherente de las materias primas nativas, especialmente del cardenche, que presentó el valor más elevado. En conjunto, estos resultados evidencian que el uso de ingredientes como mezquite y cardenche modifican sustancialmente el perfil bioquímico y antioxidante de la kombucha, favoreciendo en particular el contenido proteico y la capacidad antioxidante medida por DPPH, lo que resalta su potencial como bebidas fermentadas funcionales. Evaluar la actividad antioxidante mediante el método DPPH en alimentos es importante porque permite cuantificar la capacidad de los alimentos para neutralizar radicales libres, lo que ayuda a entender su impacto en la salud y a determinar su calidad.

La matriz de correlaciones (Figura 15) mostró relaciones consistentes entre las variables bioquímicas y fisicoquímicas evaluadas en las diferentes kombuchas. La proteína soluble presentó una correlación negativa fuerte con los péptidos solubles ($r = -0.731$), lo que indica

que, a medida que avanza la fermentación y ocurre proteólisis, disminuye la proteína intacta y aumenta la liberación de péptidos. Esta interpretación se refuerza con la correlación positiva muy alta entre proteína y SST ($r = 0.953$), indicando que a mayor disponibilidad de sólidos solubles se conserva mayor fracción proteica antes de su degradación.

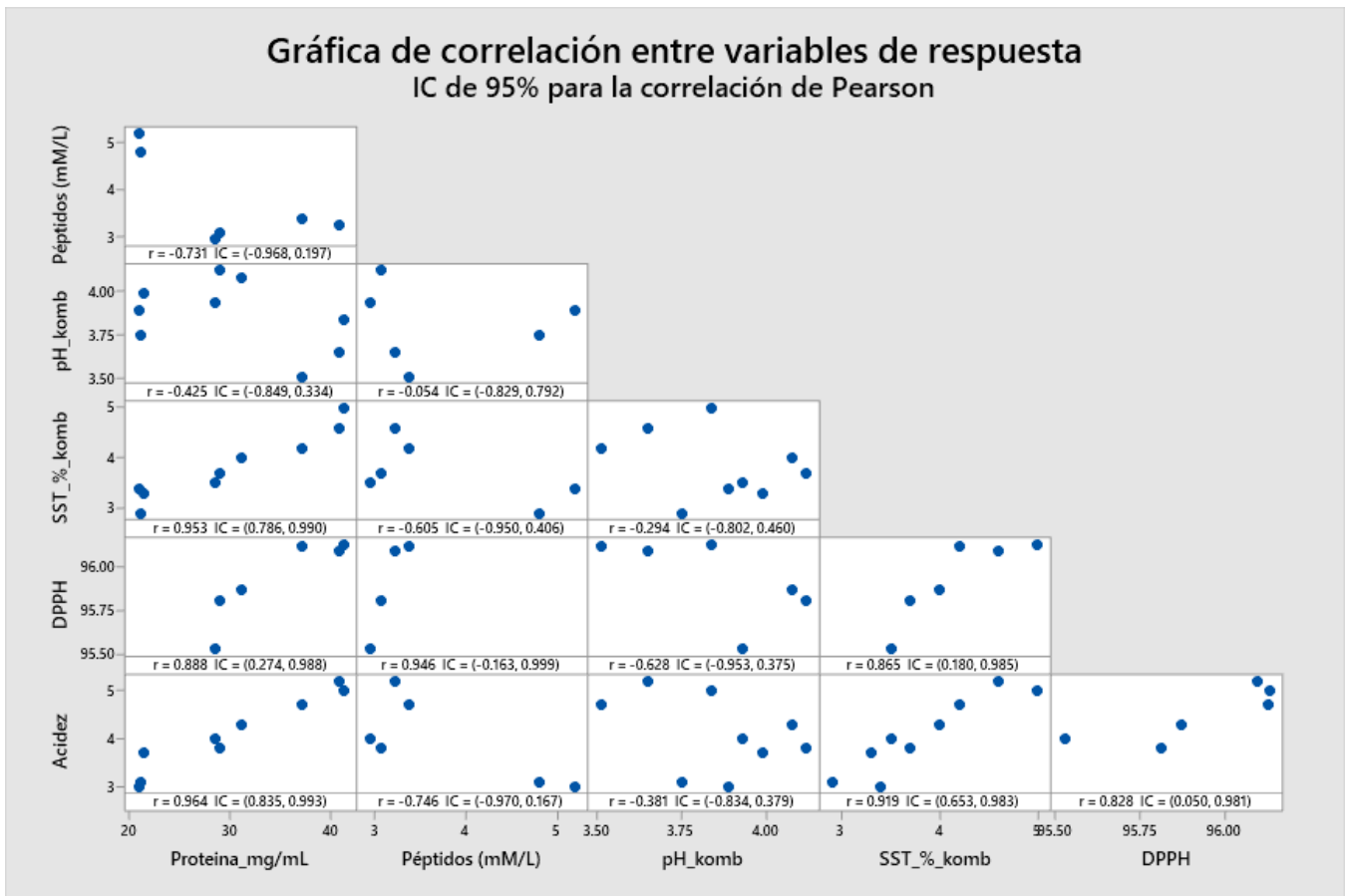


Figura 15. Gráfica de correlación entre las variables de respuesta durante la elaboración de kombucha con diferentes sustratos.

Los péptidos solubles, por su parte, mostraron correlaciones negativas con el pH ($r = -0.054$) y con SST ($r = -0.605$), lo que sugiere que su aparición está más asociada con la progresión de la fermentación que con condiciones específicas de acidez o disponibilidad de solutos. Destacó la correlación muy fuerte y positiva entre péptidos y actividad antioxidante DPPH ($r = 0.946$), lo

que confirma que los péptidos liberados durante la fermentación contribuyen significativamente al potencial antioxidante de las bebidas.

La variable pH presentó correlaciones negativas de magnitud baja a moderada con las demás variables, indicando que la acidificación es un fenómeno general del proceso fermentativo, pero no un factor determinante por sí solo para explicar los cambios en proteína, péptidos o SST. En cambio, la acidez titulable muestra correlaciones muy altas con proteína ($r = 0.964$) y SST ($r = 0.919$), indicando que bebidas más ricas en solutos y proteínas tienden a presentar mayor contenido de ácidos totales. Además, la correlación negativa fuerte entre acidez y péptidos ($r = -0.746$) sugiere que, cuando la fermentación está más avanzada y se generan más péptidos, la acidez total disminuye, posiblemente debido al consumo o transformación de determinados ácidos orgánicos.

Finalmente, la actividad antioxidante DPPH muestra correlaciones positivas muy fuertes con proteína ($r = 0.888$), SST ($r = 0.865$) y acidez ($r = 0.828$), así como su ya mencionada correlación dominante con péptidos. Este patrón indica que el potencial antioxidante está fuertemente influenciado por la disponibilidad de compuestos solubles, tanto nitrogenados como carbohidratos y ácidos orgánicos, con un papel especialmente relevante de los péptidos bioactivos generados durante la fermentación.

En conjunto, el comportamiento de las correlaciones evidencia que la fermentación de kombucha con diferentes sustratos provoca cambios coordinados en proteínas, péptidos, acidez y sólidos solubles, siendo los péptidos bioactivos y la acidez total los factores más estrechamente vinculados al incremento de la actividad antioxidante.

VII. CONCLUSIONES

El estudio muestra que las harinas de vaina de mezquite y de tuna de cardenche constituyen sustratos alternativos viables para la producción de kombucha, gracias a su riqueza en fibra dietética, compuestos bioactivos y proteína soluble. La kombucha elaborada con cardenche muestra mayor actividad fermentativa y capacidad antioxidante, mientras que la elaborada con mezquite ofrece mejores propiedades tecnológicas y estabilidad en el producto final.

La incorporación de estas materias primas regionales permite demostrar un esquema de biovalorización, donde subproductos o biomasa nativa de zonas áridas pueden transformarse en una bebida funcional mediante un proceso fermentativo consolidado. Estos resultados sugieren la oportunidad de desarrollar líneas productivas innovadoras que integren economía circular, aprovechamiento local de recursos y generación de productos con beneficios para la salud.

En conjunto, estos resultados evidencian que el uso de ingredientes como mezquite y cardenche modifican sustancialmente el perfil bioquímico y antioxidante de la kombucha, favoreciendo en particular el contenido proteico y la capacidad antioxidante medida por DPPH, lo que resalta su potencial como bebidas fermentadas funcionales.

Se recomienda realizar estudios posteriores sobre optimización del bioproceso, como cinéticas de consumo de azúcares, formación de ácidos orgánicos, crecimiento del SCOBY y caracterización microbiológica avanzada. Asimismo, evaluar parámetros sensoriales y la estabilidad fisicoquímica del producto para su escalamiento industrial. También se considera relevante explorar pretratamientos que mejoren la disponibilidad de azúcares fermentables en harinas ricas en fibra como el mezquite, y la clarificación de matrices con mayor contenido graso como el cardenche.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- AOAC International. (2016). Official Methods of Analysis of AOAC International (20th ed.). Rockville, MD, USA: AOAC International.
- Bishop, P., Pitts, E. R., Budner, D., & Thompson-Witrick, K. A. (2022). Kombucha: Biochemical and microbiological impacts on the chemical and flavor profile. *Food Chemistry Advances*, 1, 100025. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100025>
- Bradford, Marion M. "A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding." *Analytical biochemistry* 72.1-2 (1976): 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Charles-Rodríguez, A. V., Rivera-Solís, L. L., Martins, J. T., Genisheva, Z., Robledo-Olivo, A., González-Morales, S., López-Guarín, G., Martínez-Vázquez, D. G., Vicente, A. A., & Flores-López, M. L. (2020). Edible Films Based on Black Chia (*Salvia hispanica* L.) Seed Mucilage Containing *Rhus microphylla* Fruit Phenolic Extract. *Coatings*, 10(4), 326. <https://doi.org/10.3390/coatings10040326>
- Cheepchirasuk, N., Kaewkod, T., Suriyaprom, S. *et al.* Functional metabolites and inhibitory efficacy of kombucha beverage on pathogenic bacteria, free radicals and inflammation. *Sci Rep* 15, 19187 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-03545-z>
- de Melo Cavalcante, A.M., de Melo, A.M., da Silva, A.V.F., da Silva Neto, G.J., Barbi, R.C.T., Ikeda, M., Silva, G.B., Steel, C.J. and da Silva, O.S., 2022. Mesquite (*Prosopis juliflora*) grain flour: New ingredient with bioactive, nutritional and physical-chemical properties for food applications. *Future Foods*, 5, p.100114. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100114>
- DuBois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- Gonzales-Barron U, Dijkshoorn R, Maloncy M, Finimundy T, Calhelha RC, Pereira C, Stojković D, Soković M, Ferreira ICFR, Barros L, Cadavez V. (2020). Nutritive and Bioactive Properties of Mesquite (*Prosopis pallida*) Flour and Its Technological Performance in Breadmaking. *Foods*. 9(5):597. <https://doi.org/10.3390/foods9050597>
- Guía-García, J. L., Charles-Rodríguez, A. V., López-Romero, J. C., Torres-Moreno, H., Genisheva, Z., Robledo-Olivo, A., Reyes-Valdés, M. H., Ramírez-Godina, F., García-Osuna, H. T., & Flores-López, M. L. (2021). Phenolic Composition and Biological Properties of *Rhus microphylla* and *Myrtillocactus geometrizans* Fruit Extracts. *Plants*, 10(10), 2010. <https://doi.org/10.3390/plants10102010>
- Kapp, J. M., & Sumner, W. (2018). Kombucha: a systematic review of the empirical evidence of human health benefit. *Annals Of Epidemiology*, 30. 66-70. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2018.11.001>

Kombucha market Size, Share & Outlook 2025-2035. (Acceso el 12 de junio de 2025). <https://www.futuremarketinsights.com/reports/kombucha-market#:~:text=Tama%C3%B1o%20crecimiento%20y%20pron%C3%B3stico%20del,Kombucha%20y%20Humm%20Kombucha>.

Kovacevic, Z., Davidovic, G., Vučković-Filipović, J., Janićijević-Petrović, M., Janicijevic, K., & Popovic, A. (2014). A toxic hepatitis caused the kombucha tea-case report. <https://scidar.kg.ac.rs/handle/123456789/9393>

Laavanya, D., Shirkole, S., & Balasubramanian, P. (2021). Current challenges, applications and future perspectives of SCOBY cellulose of Kombucha fermentation. *Journal Of Cleaner Production*, 295, 126454. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126454>

Leal-Martínez, J., Valenzuela Suárez, L., Jayabalan, R., Huerta Oros, J., & Escalante-Aburto, A. (2018). A review on health benefits of kombucha nutritional compounds and metabolites. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 390–399. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1410499>

Monteiro, S. S., Almeida, R. L., Santos, N. C., Pereira, E. M., Silva, A. P., Oliveira, H. M. L., & Pasquali, M. A. d. B. (2023). New Functional Foods with Cactus Components: Sustainable Perspectives and Future Trends. *Foods*, 12(13), 2494. <https://doi.org/10.3390/foods12132494>

Permatasari, H. K., Nurkolis, F., Augusta, P. S., Mayulu, N., Kuswari, M., Taslim, N. A., ... & Gunawan, W. B. (2021). Kombucha tea from seagrapes (*Caulerpa racemosa*) potential as a functional anti-ageing food: in vitro and in vivo study. *Heliyon*, 7(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07944>

Robledo-Olivo, A., Marín-Cortez, M. del P., Charles-Rodríguez, A. V., Rodríguez-Jasso, R. M., González-Morales, S., & Benavides-Mendoza, A. (2025). Estudio sobre la producción de proteasas de *Aspergillus niger* utilizando suero de leche. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 16(30), e4047. <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i30.4047>

Vina, I., Semjonovs, P., Linde, R., & Patetko, A. (2013). Glucuronic acid containing fermented functional beverages produced by natural yeasts and bacteria associations. *Int. J. Res. Rev. Appl*, 14, 17-25. <https://research.kombuchabrewers.org/wp-content/uploads/kk-research-files/glucuronic-acid-containing-fermented-functional-beverages-produced-by-natural-yeasts-and-bacteria-as.pdf>

Watawana, M. I., Jayawardena, N., Gunawardhana, C. B., & Waisundara, V. Y. (2015). Health, wellness, and safety aspects of the consumption of kombucha. *Journal of Chemistry*, 2015(1), 591869. <https://doi.org/10.1155/2015/591869>

Zhong, J., Lu, P., Wu, H., Liu, Z., Sharifi-Rad, J., Setzer, W. N., & Suleria, H. A. (2022). Current insights into phytochemistry, nutritional, and pharmacological properties of *Prosopis* plants. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022(1), 2218029. <https://doi.org/10.1155/2022/2218029>