

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La Kombucha es una bebida fermentada, ligeramente ácida, ligeramente efervescente y de sabor dulce y agrio, que se produce a partir de la fermentación de té endulzado (*Camellia sinensis*) mediante la acción de un consorcio simbiótico de bacterias ácido-acéticas y levaduras, conocido como SCOBY (por sus siglas en inglés: Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast) u "hongo del té".

La Kombucha presenta su sabor ligeramente ácido avinagrado debido a la formación de ácidos orgánicos tales como el ácido acético, glucónico y láctico entre otros (Soto, 2018), respecto al aroma es de carácter avinagrado y tanto esta característica como el color pueden variar en función al tipo de té que se vaya a utilizar

1. HISTORIA

Conocida como original de Manchuria, provincia en el norte de China, debido a la popularidad que obtuvo en esta zona, la Kombucha es una bebida de carácter refrescante más asociada al marco medicinal popularizada en algún tiempo como elixir de la inmortalidad, según lo comenta Amparo Barbeta en un blog del diario digital “Levante” (Barbeta, 2022), o elixir de la juventud, mencionado en el sitio web de MunKombucha (MunKombucha, 2020) la Kombucha tiene su origen, y posterior propagación, de la mano del té, la Kombucha se elabora por la fermentación de la infusión endulzada de las hojas de la planta *Camellia Sinensis*, popularmente conocida como planta de té, así nos lo indican Patricia Oliveira (Oliveira et al., 2023) en un artículo para la revista Food Chemistry Advances.

La Historia de la Kombucha viene de cierta forma ligada a la historia del té, en tiempo de la dinastía Tsin (221 – 207 AC) la bebida era consumida a manera de medicina y fue conocida como originaria de la parte norte de China, propiamente la provincia de Manchuria, por el año cuatrocientos catorce después de Cristo un médico coreano llamado Kombu llevó esta bebida a Japón con la finalidad de tratar problemas estomacales del emperador de esas tierras, con el éxito logrado la bebida se popularizó como curativa y así se le atribuye la curiosa historia y sencilla historia del nombre del

brebaje en favor del médico y su té curativo, Kombu – por el médico y Chá – que es el nombre dado en China al té, referido por (Crum, 2016) y (Bishop, Pitts, Budner, & Thompson-Witrick, 2022).

Su uso se extendió en principalmente en Rusia y Ucrania (Irrarázaval, 2020) por las rutas comerciales de los pueblos asentados en estas tierras, por parte de sus vecinos del sur debió apreciada por su carácter imperecedero a diferencia del té que al fermentarse por sí solo con microorganismos salvajes desprende un aroma desagradable y el sabor ya no es de gusto para el consumidor promedio, a diferencia del té fermentado por el llamado “hongo de Manchuria” a comienzos de los años 1800 la Kombucha ya era muy popular en todo el Imperio ruso, nos indica (Paulino, 2016) en el blog “Kombucha” en cosas del bar.

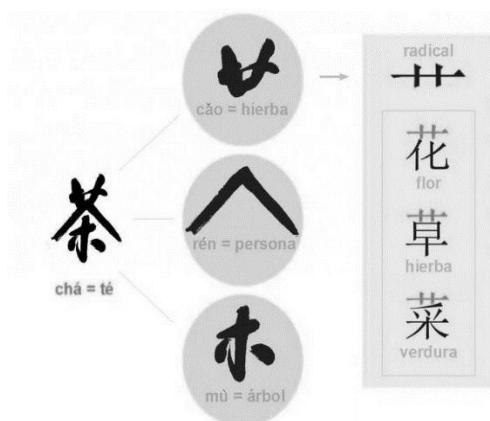
Debido a su uso medicinal no fue muy popular con los europeos que preferían licores más elaborados, en épocas de las llamadas guerras del Opio no se tiene un registro claro del movimiento en el mundo de esta bebida, en Europa, se la conocía desde épocas de la primer guerra mundial pero debido a la escases de azúcar en la guerra y posterior crisis económica la bebida pasó desapercibida no es hasta que al finalizar la segunda guerra mundial comienza a ser popular, como lo menciona (Vásquez, 2021) para el portal web de La Vanguardia, en la década de los años sesenta fue que la Kombucha volvió a llamar la atención, esta vez por considerarse que era el secreto de la longevidad de los ancianos de Kargasok, en Rusia, según lo dice (Moreno, 2020) chef en Löv.

Otro de los ingredientes clave para la elaboración de esta bebida es la fuente de energía para los microorganismos que en ella conviven, bien puede ser endulzantes propios de los frutos de árboles, de tubérculos dulces o alguno de los tipos de azúcar, este ingrediente es de importancia no solo por el gusto que le vaya a aportar sino como ya se indicó es la base por la cual se realizará la fermentación y acidificación, resultado de la actividad microbiana (Domenech, 2021).

En la historia del té es algo difícil de establecer el año de su descubrimiento, su uso como infusión para uso medicinal se piensa que fue como principal fin y no se halla documentado el año de sus primeros usos ni la forma en la que este haya sido descubierto, una de las teorías indica en una breve historia que sirvientes hervían agua para tomar con su señor debajo los árboles y les había caído a sus cuencos hojas de la

Figura 1: Kanji del té

Estructura del carácter «茶»



Camelia Sinensis y esta le aportó el aroma y sabor propios de esta infusión conocido actualmente como el té, Shen Nung (Shennong), conocido también como “el emperador Yen” y “el granjero divino” que es parte de las historias mitológicas de china, fue este el señor de la breve historia y a quien se le atribuye el descubrimiento de más de trecientos tipos de hierbas motivo por el cual se le conoce por ser quien introdujo la herbolaria pero así también a este se le atribuye la acupuntura, se dice que sus escritos fueron perdidos y adaptados continuamente por herbolarios de cada época.

En tumbas correspondientes a la época de la dinastía Han (206 AC – 226 DC) se hallaron recipientes de té, fue en la dinastía Tang (618 – 907 DC) en donde el té alcanzó su auge en China llegando a popularizarse en toda la zona imperial como la bebida oficial y estandarte en las misiones diplomáticas en esta misma dinastía ocurre que la infusión antes conocida como “Túh” pasa a llamarse “Chá” pero manteniendo el pictograma o carácter (figura 1), fue hasta que en la dinastía Song (907 – 1297 DC) donde se instauró la ahora conocida como “ceremonia del té”, gracias a las rutas comerciales de la época el producto fue llevado por todo el mundo en donde estas

tenían su alcance hasta que en el siglo XVII despertó la curiosidad en los ingleses que conocieron a este producto como “China Drink” y gracias al comercio de los holandeses con pobladores de Fujian, provincia de China, quienes nombraban a esta bebida como “Tay” se llegó al nombre de “Tee” posteriormente adaptado como “Tea” para los ingleses, la incursión de los ingleses hacia territorio Chino en busca del té llegó hasta el punto en el cual que para finales del siglo XVIII Gran Bretaña importaba más de siete mil toneladas de té al año, como China era el principal productor en aquella época, Gran Bretaña realizaba la compra de porcelana y seda pero estas en una menor cantidad con respecto al té pero a China no le presentaba interés respecto a productos europeos más allá de la plata que podrían ofrecer los comerciantes.

Otro de los hitos respecto al té y los británicos es que como en todas sus colonias habían conseguido que el té fuera una de las bebidas predilectas. Los norteamericanos encontraron una curiosa manera de protestar, en 1773 un grupo de ellos se disfrazó de nativos y hundió un cargamento de té, irritando al Parlamento británico y con ello obligados a tomar unas represalias que conducirían a la Revolución de las colonias americanas.

En la actualidad la producción de té la encabeza la República Popular de China seguidos por las otras naciones consideradas ya de producción tradicional India, Sri Lanka y Vietnam, presentando a Kenia antes que estos últimos en cantidad de producción, en nuestro continente Argentina es el principal productor.

En la historia regional del té, alrededor de 1948 la compañía Gunter Sucesores logra cultivar té en cantidades comerciales para la época por granjas cercanas a Mapiri en la provincia Larecaja de La Paz, la producción de este producto se limitaba a la comercialización interprovincial, hasta que en la década de los 60 logran mejorar la producción de té por medio plantas de origen argentino, a mediados de 1970 se construyeron plantas procesadoras de té en Caranavi y Chimate con apoyo de una misión Taiwanesa-China.

El éxito comercial se hallaba ligado al auge de la minería dado que la producción era colocada en un cien por ciento a COMIBOL, en los 80 decayó con los precios de los minerales, ya para la finalización de los 90 la entonces prefectura de La Paz privatizó ambas plantas, Chimate por Hansa y Eco-Caranavi la restante, se redujo la producción y con ello la superficie plantada.

En la actualidad los principales cultivos de té en Bolivia se hallan principalmente en los departamentos de La Paz, Santa Cruz y Cochabamba, en el departamento de Tarija no se hallan documentados cultivos de té con carácter comercial.

El té es una de las bebidas más importantes y consumidas en la humanidad a la par del café, pero por debajo del agua.

▪ **KOMBUCHA CONTEMPORÁNEA**

Los primeros estudios científicos formales sobre la Kombucha surgieron en la segunda mitad del siglo XX, concentrándose en describir su composición microbiológica y química. Investigadores como Greenwalt, Steinkraus y Ledford (Greenwalt, Steinkraus, & Ledford, 2000) realizaron los primeros análisis sistemáticos sobre su fermentación, demostrando que se trataba de una bebida no alcohólica fermentada por una comunidad simbiótica de bacterias acéticas y levaduras (SCOBY). Estos trabajos marcaron la transición desde una visión empírica hacia un enfoque científico del producto.

Este cambio refleja el paso de una percepción empírica y tradicional hacia una comprensión científica integral, sustentada en métodos analíticos modernos y criterios de seguridad alimentaria.

En la década de los 1990, en plena crisis del VIH, la Kombucha había llegado a Estados Unidos como posible aliado del sistema inmunitario de los pacientes afectados, en la actualidad no se recomienda el consumo de Kombucha *“el mayor riesgo del té de Kombucha está relacionado con el contagio de microorganismos si no se elabora con efectivas medidas higiénicas”* lo describe Alfredo Carpintero (Carpintero Angulo, 2022). En 1995, la primera marca comercial de Kombucha veía la luz en el Sur de

California: GT's Kombucha. Los fundadores, apasionados por la filosofía oriental, habían recibido un SCOBY originario del Himalaya con el que habían producido su primera Kombucha (Moreno, 2020). Las muchas propiedades que se le atribuyen, de las que sólo se han podido contrastar las probióticas, hicieron que la Kombucha fuera ganando fama hasta su explosión definitiva a principios del 2000, cuando muchas otras marcas empezaron a comercializarla y se recuperó el interés por elaborarla de forma casera y artesanal gracias a multitud de cursos divulgativos que enseñaban la receta paso a paso.

En la década de 2000 y especialmente a partir de 2010, el estudio de la Kombucha evolucionó hacia técnicas moleculares y microbiología avanzada. Se aplicaron métodos de secuenciación de ADN y análisis metagenómicos que revelaron una gran diversidad microbiana dentro del SCOBY, con predominio de bacterias de los géneros *Komagataeibacter* y *Acetobacter*, y levaduras de los géneros *Zygosaccharomyces*, *Brettanomyces* y *Saccharomyces* (Marsh et al., 2014; Chakravorty et al., 2016). Estas investigaciones explicaron las diferencias sensoriales y químicas observadas entre distintos tipos de Kombucha, así como la variabilidad natural del producto.

Actualmente, la investigación se centra en la evaluación de la seguridad alimentaria, la estandarización de procesos y el potencial funcional de la Kombucha como alimento probiótico. Se han establecido parámetros de control como pH final (2.5–3.5), acidez titulable, contenido de alcohol residual y recuentos microbianos, orientados a asegurar la inocuidad y reproducibilidad del producto (Jayabalan et al., 2014; Villarreal-Soto et al., 2018).

"La Kombucha se ha convertido en la bebida del momento principalmente por sus propiedades saludables" (R.A., 2020).

*"Al mezclarse con jugos de granada o mangos seductores, o incluso infusionada con notas de jengibre y limón, la **Kombucha** eleva los cócteles a un nuevo nivel de frescura y vitalidad"* (CanariasGourmet, 2023).

2. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

La Kombucha, como ya se ha mencionado con anterioridad, es una bebida fermentada, ligeramente ácida, gasificada y de sabor dulce y agrio, que se produce a partir de la fermentación de té endulzado (*Camellia sinensis*) mediante la acción de un consorcio simbiótico de bacterias ácido-acéticas y levaduras, conocido como SCOBY (por sus siglas en inglés: Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast) o también conocido como "hongo de té" (Jayabalan, 2014).

El proceso implica una transformación microbiana secuencial: una fermentación alcohólica por levaduras, seguida de una oxidación bacteriana del etanol resultante, lo que confiere a la bebida su perfil característico de ácidos orgánicos, vitaminas y baja cantidad de alcohol (Villarreal-Soto et al., 2018).

Métodos de obtención

La obtención de la Kombucha y el fortalecimiento del cultivo simbiótico (SCOBY) han evolucionado desde prácticas ancestrales hasta métodos sistemáticos, lo que refleja la transición de un conocimiento empírico a uno técnico-científico. Se pueden identificar tres vías principales:

a) Método Tradicional o Espontáneo (Fermentación Salvaje):

Es el método histórico, donde una infusión de té endulzado se deja expuesta al ambiente para ser colonizada por microorganismos presentes en el aire, en las hojas de té o en los utensilios. Si bien es la forma original, presenta un alto riesgo de contaminación con mohos o bacterias no deseadas debido a la falta de control sobre los inoculantes. Su éxito depende fuertemente de las condiciones ambientales y de la microbiota local, lo que resulta en productos de gran variabilidad (Irrázaval, 2020); (Dufresne & Farnworth, 2000).

b) Método por Transferencia o Inóculo Madre (Método Común):

Es el método más extendido a nivel artesanal y casero. Consiste en utilizar un SCOBY maduro y una porción de líquido de una fermentación anterior (generalmente entre un

10% y 20% del volumen total) para inocular un nuevo lote de infusión endulzada. Este "pie de cuba" o "Kombucha madre" asegura la transferencia de la comunidad microbiana activa, acelerando el inicio de la fermentación y reduciendo drásticamente el riesgo de contaminación al acidificar rápidamente el medio. Este método permite cierta estandarización y continuidad del proceso (Jayabalan et al., 2014).

c) Métodos Asistidos con Cultivos Iniciadores Definidos:

Surge de la investigación científica y la incipiente industrialización. En lugar de depender de un SCOBY de origen empírico, se utilizan cepas puras o consorcios microbianos definidos de levaduras (e.g., *Saccharomyces cerevisiae*, *Brettanomyces* spp.) y bacterias acéticas (e.g., *Komagataeibacter xylinus*) como inóculo. Esto permite un control preciso sobre la composición microbiana, la reproducibilidad y las características sensoriales finales del producto. Aunque es el método más adecuado para la estandarización industrial, requiere de mayores conocimientos microbiológicos y equipamiento de laboratorio (Villarreal-Soto et al., 2018); (Chakravorty, y otros, 2016).

Esta evolución metodológica subraya el creciente interés en controlar el proceso fermentativo para garantizar la calidad, seguridad y consistencia de la Kombucha, siendo el parte del espíritu en el presente trabajo de investigación.

Fundamentación Científica del Proceso

El principio científico del proceso radica en la llamada “fermentación mixta”, donde coexisten reacciones oxidativas aeróbicas (por bacterias) y fermentativas anaeróbicas (por levaduras), dando lugar a un equilibrio dinámico entre producción de etanol, ácidos orgánicos y compuestos secundarios bioactivos (Jayabalan, 2014); (Villarreal-Soto et al 2018).

A continuación, se presenta la base teórica del proceso de fermentación desarrollada de los incisos “a” al “e”:

a. El rol del Té como sustrato

El té es fundamental para el proceso, puesto que el té no es un mero saborizante o aromatizante, sino que es el medio de cultivo complejo. Sus componentes son esenciales para la simbiosis del SCOBY:

- Cafeína y Teobromina: Sirven como fuente de nitrógeno para el crecimiento y reproducción de las levaduras (Jayabalan, 2014).
- Polifenoles y Taninos: Actúan como un andamio estructural para la formación de la biopelícula de celulosa del SCOBY y ejercen un efecto antimicrobiano selectivo, protegiendo el cultivo de contaminantes (Liu, 1996); (Dufresne & Farnworth, 2000).
- Minerales (K, Mg, Mn): Son cofactores esenciales para las enzimas microbianas involucradas en la fermentación.

b. Dinámica del proceso bioquímico

Bioquímicamente, es más preciso describir el proceso en dos etapas:

- Fermentación Alcohólica (Anaeróbica): Realizada por levaduras que convierten la sacarosa, luego de hidrolizarla, en etanol y CO_2 .
- Oxidación Acética (Aeróbica): Realizada por bacterias del género *Komagataeibacter*, que oxidan el etanol utilizando O_2 para producir ácido acético y otros ácidos orgánicos (Villarreal-Soto et al., 2018) simultáneamente, sintetizan la biopelícula de celulosa en la capa superficial del fluido.

Este punto último (oxidación acética) explica la necesidad de un sellado permeable al aire durante la fermentación para favorecer la acción bacteriana.

c. Factores que influyen en el proceso

Los factores críticos que determinan la eficiencia y calidad del proceso incluyen a la temperatura, el tiempo del proceso, la concentración del endulzante, el pH, la cantidad de oxígeno y la higiene, según artículos de revistas científicas del sector alimenticio, a

continuación, se presentan en la Tabla 1: Los factores que determinan la eficiencia y calidad del proceso (Jayabalan, 2014); (Vaca, 2022)

Tabla 1: Los factores que determinan la eficiencia y calidad del proceso

Factor	Intervalo recomendado	Efecto principal
Temperatura	28–34 °C	Influye en la velocidad de fermentación y el equilibrio entre bacterias y levaduras.
Tiempo	7–10 días	Determina el grado de acidez y el contenido de azúcares residuales.
Concentración de azúcar	6–10 °Brix	Fuente de carbono esencial para los microorganismos.
pH inicial	4.5–5.0	Favorece la estabilidad y evita contaminación.
Aireación	Parcial (recipiente cubierto con tela)	Permite la respiración de bacterias acéticas y evita contaminación.

Fuente: (Jayabalan, 2014); (Vaca, 2022)

Respecto a los intervalos recomendados del proceso, estos son valores descritos en los artículos referidos que bien pueden coincidir con demás bibliografía relacionada o encontrarse ligeramente por encima o debajo de los valores descritos.

En lo que concierne a la higiene se debe de tomar muy en cuenta la limpieza en cada etapa del proceso puesto que es esencial para evitar la contaminación y garantizar la calidad del producto.

d. Dinámica metabólica del consorcio para la simbiosis

El equilibrio entre levaduras y bacterias varía según las condiciones de fermentación:

- A temperaturas más bajas (25–28 °C), las levaduras predominan, generando más etanol y un sabor más dulce.
- A temperaturas más altas (30–34 °C), se favorece la actividad bacteriana, aumentando la producción de ácidos y reduciendo el dulzor.

Esta dinámica denota las diferencias sensoriales entre Kombuchas fermentadas a distintas condiciones y fundamenta el control experimental de tiempo y temperatura como variables críticas (Villarreal-Soto et al., 2018).

e. Composición final y propiedades químicas

Al finalizar la fermentación, la kombucha contiene una mezcla compleja de compuestos bioactivos, entre ellos:

- Ácidos orgánicos: acético, glucónico, glucurónico, láctico y málico.
- Polifenoles derivados del té: catequinas, teaflavinas y tearrubiginas.
- Vitaminas del complejo B y C.
- Enzimas y aminoácidos.
- Células microbianas vivas, con potencial probiótico.

Estos compuestos contribuyen a las propiedades antioxidantes, antimicrobianas y digestivas de la bebida (Greenwalt et al., 2000; Watawana et al., 2015).

Productos similares

Productos que pueden asociarse a la Kombucha, bien sea por su forma de preparación, sabor, aroma, propiedades atribuidas a las “bebidas fermentadas” tales como los descritos en Tabla 2: el Kéfir de agua, Kéfir de leche, el Tepache, cervezas artesanales, la Chicha y el Kvass destacan entre otros productos. (Kombucha Ecuador, 2024).

Tabla 2: Productos fermentados comparables a la Kombucha

Producto	Base	Cultivo	Beneficios
Kombucha	Té azucarado fermentado	SCOBY	Rica en probióticos, antioxidantes y ácidos orgánicos. Mejora la salud intestinal, fortalece el sistema inmunológico y promueve la desintoxicación
Kéfir de agua	Agua azucarada	Granos de Kéfir de agua	Alto contenido de probióticos, ideal para la salud intestinal, es una opción sin cafeína y apta para quienes buscan una alternativa más ligera.
Kéfir de leche	Leche	Granos de Kéfir	Rico en probióticos, proteínas, calcio y vitaminas. Ayuda a mejorar la digestión y la salud ósea. Contiene menos lactosa debido a la fermentación.
Tepache	Cáscaras de piña fermentadas con azúcar	Fermentación Natural	Aporta probióticos y es rico en bromelina (enzima de la piña). Mejora la digestión.
Cerveza artesanal	Cebada malteada, lúpulo, levadura y agua	Levadura específica para cerveza	Contiene antioxidantes y vitaminas del grupo B. Puede ser beneficiosa en cantidades moderadas.

Producto	Base	Cultivo	Beneficios
Chicha	Cereales, frutas o maíz	Fermentación Natural	Fuente de energía rápida gracias a los carbohidratos fermentados. Aporta probióticos si no está pasteurizada
Kvass	Pan de centeno, frutas o remolacha fermentados	Fermentación natural o iniciadores comerciales.	Aporta probióticos y vitaminas

Fuente: Internet, (Kombucha Ecuador, 2024)

3. MERCADO DE LA KOMBUCHA

MERCADO GLOBAL

Comenzando con un análisis de por aparte de Mordor Intelligence “*Se espera que el tamaño del mercado de Kombucha crezca de USD 2.71 mil millones en 2023 a USD 4.26 mil millones para 2028, a una tasa compuesta anual de 9.48% durante el período de 2023-2028*” (MordorIntel, 2023), nos presenta un crecimiento pronosticado moderado pero atractivo.

El Mercado global se vio moderadamente afectado por los sucesos a raíz del COVID-19, respecto a la Kombucha se vio en escenario oportuno para tratar síntomas de largo plazo que dejaba la enfermedad. (Polaris, 2021).

Se nos comenta, por Inkwood Research, “*La Kombucha existe desde hace aproximadamente 2000 años. Inicialmente hecha en China, llegó a Rusia y Japón y ganó popularidad en Europa a principios del siglo XX. Los principales mercados identificados actualmente corresponden a: E.E.U.U. y Canadá, Europa occidental y Asia-Pacífico*” (InkWood Research, 2023).

La empresa Industry ARC nos presenta en su informe “Kombucha Market Forecast (2020-2025)” (IndustryARC, 2020) los siguientes segmentos respecto al mercado de

Kombucha, presentados en la Tabla 3: Clasificación de segmentos para el mercado de Kombucha (I): Clasificación de segmentos para el mercado de Kombucha (I), que indica detallaron a profundidad en su mencionado informe.

Tabla 3: Clasificación de segmentos para el mercado de Kombucha (I)

Segmento	Detalle
Por tipo	Orgánico y Pasteurizado
Por Sabor	Original y Saborizado
Por locación de venta	Supermercado/Hipermercado, tiendas especializadas, tiendas en línea, tienda de conveniencia y otros
Por Geografía	Norte América, Asia-Pacífico, Europa y Resto del Mundo

Fuente: Kombucha Market - Forecast (2023 - 2028) (IndustryARC, 2020)

Otro análisis, esta vez por parte de Future Martket Insights, inicia mostrándonos una tasa de crecimiento anual compuesta CARG, por las siglas en inglés de *Compound Annual Growth Rate*, del 17.4% desde el año 2022 hacia el 2033 estimando un crecimiento de USD 3.4 mil millones a unos USD 17.1 mil millones para el 2033, prevén que la adopción de Kombucha aumentará a la creciente demanda por las bebidas naturales y denominadas orgánicas y lo toman como una opción saludable, así también observan en la generación “milenial” el adoptar de hábitos alimenticios más saludables y un alejamiento de las bebidas alcohólicas en favor de bebidas nutritivas suaves como el té-Kombucha. (Future Market Insights, 2023)

La empresa de reportes Future Martket Insights, aparte de una clasificación de segmentos, mostrados en la Tabla 5: Clasificación de segmentos para el mercado de Kombucha (II), también nos presenta una lista de participantes clave en el mercado mundial de Kombucha, presentados en la Tabla 4: Participantes clave en el mercado de Kombucha: participantes clave en el mercado de Kombucha.

Bajo la previsión de que los partícipes claves de Kombucha se están consolidando en el mercado, los fabricantes de Kombucha van lanzando nuevos productos y presentan tres estrategias convencionales en el mercado de productos: Expansión, Adquisición y reintroducción.

Tabla 4: Participantes clave en el mercado de Kombucha

Participante	País
Makana Beverages Inc.	California, E.E.U.U.
Wonder Drink Kombucha	California, E.E.U.U.
KeVita	California, E.E.U.U.
Reed's Inc	California, E.E.U.U.
Carpe Diem	Austria
NessAlla Kombucha	Wisconsin, E.E.U.U.
Tonica Kombucha	Toronto, Canadá

Fuente: Kombucha Market Outlook (Future Market Insights, 2023)

Tabla 5: Clasificación de segmentos para el mercado de Kombucha (II)

Segmento	Detalle
Por Sabor	Regular Hierbas y especias Cítricos Bayas Flores Otros
Por Canales de venta	Tiendas especializadas de comida y bebidas

Segmento	Detalle
	Supermercado/hipermercado Tienda en línea Otros
Por envase	Botellas de vidrio Latas
Por Región	Norte América Latino América Europa Japón Asia-Pacífico Medio Oeste y Africa

Fuente: Kombucha Market Outlook (Future Market Insights, 2023)

En el año 2016 PepsiCO Inc anuncia la adquisición de KeVita, uno de los líderes en el sector de fermentados probióticos. "KeVita es líder en bebidas probióticas fermentadas, su Kombucha con tres líneas de productos y probióticos vivos en cada botella. Con más de dos docenas de sabores de Sparkling Probiotic Drink, Master Brew Kombucha y Apple Cider Vinegar Tonic, todas las bebidas de KeVita están certificadas orgánica, no OGM, sin gluten y vegana. KeVita tiene una base de consumidores leal y de rápido crecimiento en el espacio funcional de bebidas de rápido crecimiento" (PepsiCO, 2016).

PepsiCO adquiere a KeVita por al menos USD 250 millones, cuando la empresa estaba valuada en alrededor de USD 500 millones. (Kell, 2016)

En lo que respecta a la comercialización del producto terminado alrededor del globo y comenzando por China (Figura) las variedades que tienen disponibles a la venta son bastantes debido a la flexibilidad del producto para combinarse con diferentes sabores y aromas (Figura 2: Variedad de Kombuchas para la marca GoodvShare), en lo concerniente a los canales de distribución no solo ocupa el sector artesano tradicional

de venta directa (Figura), sino que tiene presencia con marcas comerciales transnacionales, como se indicó anteriormente.

Figura 2: Variedad de Kombuchas para la marca GoodvShare



Fuente: Internet, goodvshare (2025)

Figura 3: Kombucha añejada ganadora de medalla de oro 2024 en International Wine & Spirits Competition



Fuente: Internet, minmin Kombucha (2025)

Figura 4: Variedad de Kombucha en supermercados



Fuente: Internet, Cplus.today (2025)

Para regulaciones internacionales del producto terminado no se halla un documento exclusivo para el control de la Kombucha, sino que ajusta a parámetros de bebidas analcohólicas adicionadas con azúcar y productos como el Keffir según lo indicado en un documento de la FDA (food and drugs administration) (FDA Public meeting, 2019), oficinas como la TTB (Alcohol and Tobacco, Tax and Trade Bureau) desestiman el grado alcohólico de la Kombucha para tomarlo como bebida alcohólica al considerarlo alrededor de 1.2% como máximo y que en el envasado llegaría a menos del 0.5%, y que la ley federal la considera analcohólica, si ese no fuese el hecho “*Se alienta a los consumidores que sospechan que una kombucha que compraron en realidad puede ser una bebida de alcohol que no se ha producido o etiquetado de conformidad con la ley federal a ver nuestra página (en referencia al sitio web de la TTB) de quejas de los consumidores para sugerencias sobre cómo proceder*” (TTB , 2015). otros sitios web como “Kombucha Brewers International” (Kombucha Brewers Internarional, 2025) nos ofrece un perfil analítico para el producto terminado resumido en la Tabla 6.

Tabla 6: Perfil Analítico KBI

Substancia	Concentración	Rango	Comentario
Alcohol (ETOH)	de acuerdo a regulación local	0.00-3.2%ABV	Etanol en Kombucha naturalmente entre rango de 0-3% ABV

Substancia	Concentración	Rango	Comentario
Acidez titulable como Ácido Acético	Max 2.0%	0.27-2.03%	-
pH	Max 3.8	2.3-3.8	Por seguridad alimenticia debe ser menor a 4,6

Fuente: Internet, Kombucha Brewers International

MERCADO REGIONAL

Las empresas principales del mercado latinoamericano de té de Kombucha incluyen: BioZen, GT's Living Foods, Reeds inc, Revive Drinks y Kosmic Kombucha. (EMR, 2022). Donde cuatro de las cinco empresas son estadounidenses y solo BioZen es brasileña. *“Durante el período de pronóstico 2022-2027, se anticipa que el mercado crezca con una tasa de crecimiento anual compuesto de 8,02%. Con la prevalencia de enfermedades, el té de Kombucha se está haciendo más popular debido a las propiedades favorables que benefician a la salud de las personas. La tendencia emergente de reducir el consumo de azúcar también está aumentando la demanda de este té, ya que la gente está añadiendo la Kombucha a sus planes de dieta.”* (EMR, 2022).

Armando Aguilar de Goula nos indica *“En México hay varias marcas de esta bebida. La mayoría están lideradas por entusiastas de la producción de Kombucha artesanal y que han experimentado con ella para adaptarla al paladar mexicano. Porque en esto sí están de acuerdo: el mayor reto es educar a los consumidores sobre qué es y qué beneficios tiene. Con esto en mente, han nacido kombuchas sabor jamaica, mango, guayaba y durazno, entre muchos otros. Los “kombucheros”, como les gusta llamarse, más que competencia, están en un momento de unión de fuerzas para dar a conocer sus productos y que cada vez más mexicanos se enamoren de la Kombucha, como ellos lo están.”* (Aguilar, 2023)

En lo referido al control de calidad cabe destacar que, omitiendo los requerimientos básicos de higiene en la producción de alimentos y bebidas para evitar contaminaciones indicados tanto por la FDA (Food and drugs Administration, 2024) y la OMS (Organización Mundial de la Salud, s.f.), se halla en un documento de la República Argentina (Figura 6: Portada de informe 2023) (Figura 5: Detalle de parámetros básicos) parámetros básicos con indicaciones para el rótulo:

Figura 5: Detalle de parámetros básicos

En el caso de que el producto sea pasteurizado, se deberá consignar en el rótulo, luego de la denominación de venta, la palabra "pasteurizado".

En el caso de que el producto no sea pasteurizado, se deberá consignar en el rótulo, la frase "Mantener refrigerado" y "No agitar el contenido del envase".

Además, en ambos casos, deberá consignar en el rótulo la siguiente leyenda "Beber con moderación". La bebida deberá cumplir los siguientes parámetros analíticos:

Parámetro	Mínimo	Máximo
pH	2,5	4,2
Grado Alcohólico (%vol a 20°C)	N/A	0,5
Acidez volátil (en mEq/l)	30	130

Fuente: Internet, Secretaría de Agricultura, Ganadería y pesca

Figura 6: Portada de informe



Fuente: Internet, Secretaría de Agricultura, Ganadería y pesca
(2025)

MERCADO NACIONAL Y LOCAL

A pesar que existe un mercado emergente de vendedores de Kombucha no existen datos oficiales sobre la cantidad respecto a la comercialización de este producto, ni a nivel nacional o local para la ciudad de Tarija.

Para Bolivia se halla en sitio web de la empresa HANNA, a manera de promocionar instrumentos de medición, parámetros algo coincidentes con los anteriores puntos (Andrade, s.f.) recalcando el mismo la carencia de normativas según la región para productos como la Kombucha:

Tabla 7: Tabla de criterios Hanna Bolivia

Parámetro	Unidades	Rango	Comentario
Temperatura de fermentación	grados Celcius	20 - 22 C	Sujeto a criterios para el producto final
Tiempo de fermentación	días	7 - 10 días	Sujeto a criterios para el producto final
Acidez titulable como Ácido Acético	Max 5g/L	4 - 5 g/L	Valores más altos no son recomendables
pH	Max 4,3	2.5-4,3	si no es más bajo que 4,6 mejor desechar

Fuente: Andrade, Hanna Bolivia (S.F.)

OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

- Elaborar una bebida fermentada con SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast; Cultivo simbiótico de bacterias y levaduras) a partir de la infusión endulzada de té negro de la Camellia Sinensis como bebida refrescante.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la materia prima.

- Ejecutar la fase experimental para la elaboración de Kombucha según la siguiente secuencia:
 - Evaluar los factores dependientes e independientes.
 - Preparar el inóculo.
 - Estandarizar el sustrato.
 - Estandarizar la inoculación y las condiciones para la fermentación primaria.
- Caracterizar el producto terminado.
- Determinar el costo de obtención de Kombucha a escala laboratorio.
- Realizar los balances de materia y energía.
- Calcular el rendimiento del proceso.

JUSTIFICACIÓN

1. ECONÓMICO-SOCIAL

Este proyecto se justifica por la creciente demanda de alternativas de bebidas saludables y naturales, frente al consumo tradicional de gaseosas y jugos artificiales. La Kombucha se presenta como una opción de bajo costo, con potencial para ser producida a nivel local y escalada desde un proceso artesanal hasta uno semiindustrial, lo que podría incentivar el emprendimiento en la región y ofrecer una bebida refrescante con posibles beneficios funcionales, aprovechando materias primas de fácil acceso.

2. INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS

La elaboración de Kombucha representa una oportunidad para aplicar y fortalecer conocimientos en bioprocesos, microbiología y control de fermentaciones dentro del campo de la Ingeniería Química. El proceso no requiere de equipos complejos ni de alto consumo energético, lo que lo hace viable a nivel de laboratorio y accesible para futuras investigaciones. Además, permitirá caracterizar un producto fermentado con potencial probiótico, contribuyendo a la formación académica y a la generación de protocolos estandarizados para la obtención de alimentos funcionales.

3. AMBIENTAL

El proceso de elaboración de Kombucha se considera ambientalmente favorable, ya que genera mínimos residuos y no emplea sustancias químicas agresivas. Los subproductos, como el SCOBY, pueden ser reutilizados en nuevos ciclos de fermentación, reduciendo el desperdicio. Asimismo, el uso eficiente del agua y la energía durante las etapas de preparación y fermentación contribuirá a un proceso sostenible y de bajo impacto ambiental.

4. TECNOLÓGICO Y DE INNOVACIÓN

La elaboración de Kombucha representa una oportunidad para aplicar y optimizar procesos biotecnológicos sencillos pero eficientes, utilizando un cultivo simbiótico (SCOBY) como biocatalizador. Este proyecto permitirá explorar y estandarizar condiciones de fermentación en un entorno controlado, sentando las bases para futuros desarrollos en la producción de bebidas fermentadas funcionales. Además, se busca integrar el control de variables operativas como temperatura y tiempo, lo que contribuye a la optimización de procesos fermentativos a pequeña escala.

5. SALUD PÚBLICA Y NUTRICIÓN

Dada la creciente preferencia por alimentos y bebidas con propiedades benéficas para la salud, la Kombucha se perfila como una alternativa con potencial antioxidante, probiótico y de bajo contenido calórico. Este trabajo busca obtener un producto natural que pueda contribuir a la diversificación de opciones de consumo saludable en la población, reduciendo la dependencia de bebidas azucaradas y promoviendo hábitos alimenticios más balanceados, sin realizar “claims” médicos, pero apelando a sus cualidades nutricionales reportadas en literatura científica.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1. MATERIALES Y MÉTODOS

En el sentido estricto de la definición de “materia prima”, la materia prima es el conjunto de elementos aprovechables económicamente que, extraídos de la naturaleza en su estado puro o relativamente puro, pueden ser posteriormente transformados en bienes, insumos o energía. Su nombre se debe a que son el elemento básico de la cadena productiva, de cuya obtención se encarga el sector primario de la economía (Raffino, Equipo editorial Etecé, 2025).

Tradicionalmente las materias primas utilizadas, acorde con la anterior definición, en la elaboración de Kombucha serían el té y el agua, donde el SCOBY (Cultivo simbiótico de bacterias y levaduras) quedaba clasificado como insumo, pero dado el rigor científico propuesto y el procesamiento que requieren los materiales, el té y el agua, todos los materiales mencionados acompañan a los endulzantes en la categoría de insumos, pero resaltando a continuación el papel que ejercen.

1.1.1. EL AGUA POTABLE

El agua es una sustancia química que en su molécula base se compone por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno (H_2O) y se puede encontrar de forma natural en el planeta tierra en estados sólido (hielo), gaseoso (vapor) y líquido (agua) sin cambiar su composición química. Las propiedades físicas y químicas del agua son muy importantes para la supervivencia de los ecosistemas.

La normativa boliviana 495 establece que el agua potable es aquella que, por sus características organolépticas, físico-químicas, radioactivas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano y que cumple con lo establecido en norma NB 512 y el Reglamento Nacional para el Control de la Calidad de Agua para Consumo Humano. (Instituto Boliviano de Normalización y Calidad, 2005)

En la elaboración de Kombucha se tiene al agua como:

- Medio de reacción y solvente Universal, dado que es material donde se disuelven los sólidos y ocurren las transformaciones bioquímicas facilitando el transporte de nutrientes y el desecho de productos metabólicos.
- Medio de suministro de minerales, como lo mencionado en el anterior punto, el agua facilita el transporte de minerales presentes en ella misma esenciales para la actividad enzimática.

Por tanto, el agua como medio de reacción universal (Villarreal-Soto et al., 2018), es un insumo crítico en la elaboración de (Goh, y otros, 2012), esta debe carecer por completo de cloro y otros desinfectantes para no inhibir el crecimiento de la microbiota del SCOBY (Jayabalan et al., 2014), además, un perfil moderado de minerales es beneficioso, ya que estos actúan como cofactores enzimáticos esenciales para el metabolismo microbiano y la síntesis de celulosa. Finalmente, el medio acuoso es fundamental para establecer y mantener un pH ácido durante la fermentación, el cual constituye la principal barrera antimicrobiana contra contaminantes (Battikh et al., 2012)".

1.1.2. LOS ENDULZANTES

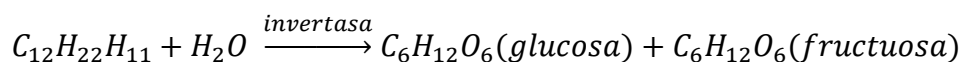
El endulzante más utilizado para la elaboración de Kombucha es azúcar refinada, puede ser reemplazado fácilmente con azúcar morena, otras de las alternativas son: sirope, remolacha, camote, etc. o directamente utilizar monosacáridos como la glucosa y fructuosa.

La importancia de añadir algún tipo de glúcido o azúcar es para que los microorganismos puedan aprovechar este compuesto y reproducirse, produciendo ácido acético, alcohol etílico, dióxido de carbono y láminas de celulosa.

La glucosa es la unidad básica de los polisacáridos y la fructuosa es el principal azúcar en las frutas, pero se hace presente en verduras y hortalizas, la unión de una molécula de glucosa y una de fructuosa son los componentes de la sacarosa, que es un polisacárido, más propiamente un disacárido formado por los monosacáridos antes mencionados.

Para que los microorganismos puedan aprovechar los monosacáridos componentes de la sacarosa la hidrólisis es vital porque la glucosa y la fructosa resultantes son los sustratos que los microorganismos pueden metabolizar fácilmente, la hidrólisis se desarrolla principalmente por acción de las levaduras osmófilas como *Saccharomyces cerevisiae*, *Zygosaccharomyces bailii* y *Brettanomyces bruxellensis* secretan la enzima invertasa, que cataliza la hidrólisis de la sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$) en glucosa y fructosa por un medio acuoso como se muestra en la Ecuación 1 (Huberlant, 2003).

Ecuación 1: Mecanismo hidrólisis de la sacarosa



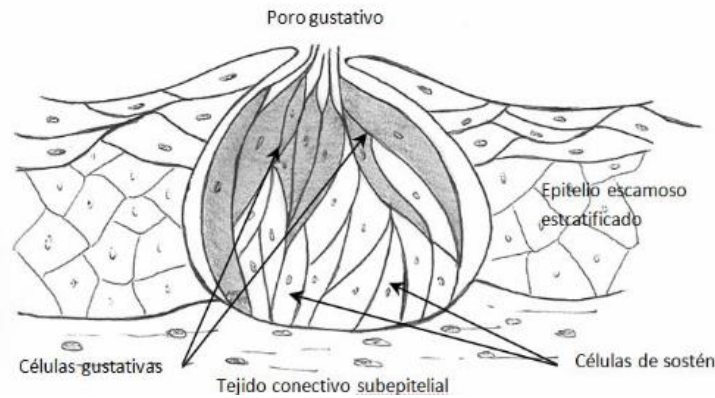
Fuente: Huberlant, 2003 Sucrose

Otro de los fines para añadir el endulzante es por el sabor que le aporta al producto final, el gusto es el resultado del contacto físico de alguna sustancia con los receptores gustativos específicos que se hallan distribuidos en la cavidad oral. (Morales Puebla et al., 2015)

Los receptores del gusto o botones gustativos (Figura I-1: Botón gustativo) se distribuyen por la lengua, el paladar blando, la faringe, la laringe y el esófago, existen cuatro tipos de papilas linguales: calciformes, foliadas, filiformes y fungiformes, los botones gustativos de las papilas permiten la transformación de una señal química en potenciales de acción, que se transmiten de las fibras nerviosas gustativas hacia el sistema nervioso central. (Tresguerres, 2005)

Un dulce puede definirse como una sustancia que causa cierta sensación suave y agradable al “paladar”, como la producida por la miel, el azúcar, etc.

Figura I-1: Botón gustativo



Fuente: Internet, Fisiología humana

1.1.3. EL TÉ

El té proviene de la familia *Camellia sinensis* nombre botánico de la planta de té, que hace unos 5000 años en China descubrieron que se podía producir una gran variedad de sabores y características. Esta especie es un árbol pequeño de hojas perennes de un tono verde oscuro, brillante; se cultiva con éxito a diferentes alturas, desde al nivel del mar hasta alturas superiores a los 1200 metros, en que se producen los mejores cultivos. Requiere de suelos ácidos con abundantes lluvias, nos indica Emma Wittig de Penna et. al. (Wittig de Penna, Zúñiga, Fuenzalida, & López Planes, 2005).

Con el paso del tiempo en China se perfeccionaron las técnicas de procesamiento generando tres tipos de té diferentes (Figura 0-2: Tipos de té): "té verde", no fermentado que se asocia con el color del vino blanco; "té Oolong", al que los chinos llamaron "té rojo" debido a la apariencia del licor que se fermenta parcialmente y se asocia con el color del vino rosado; y "té negro", totalmente fermentado, que se asocia con el color del vino tinto.



Fuente: Internet, 2023.

"El té es la medicina mágica para la salud y la longevidad, crece en las montañas donde la tierra es sagrada. La gente que recolecta té vive más, la India y China lo atesoran, y en Japón lo amamos" Yeisei, Maestro budista zen (T company, s.f.).

El procesamiento para la obtención de té negro listo para su uso puede resumirse en diez puntos, según nos desarrolla Belén Hernández en el sitio web de “blends and tea” (Hernández, 2021) y la marca Rosamonte (ROSAMONTE, 2024):

- i. Cosecha: se trata de un proceso de selección y recolección de hojas, de forma manual o automática.
- ii. Marchitado: se procede al secado de las hojas bajo luz solar, el secado prolongado vuelve más aromáticas las hojas.
- iii. Cuarteado: sacudida de las hojas para garantizar el proceso de marchitado uniforme.
- iv. Fijación: aplicación de calor a las hojas para controlar la oxidación (proceso para la obtención de té verde).
- v. Enrulado: proceso por el cual se busca romper las células de las hojas marchitadas que al combinarse con el oxígeno del aire para que se desarrollen cualidades propias del té como los son el aroma, color y sabor.
- vi. Oxidación: generalmente con el agregado de vapor de agua en cámaras especiales se lleva a cierta temperatura las hojas de té.

- vii. Fermentación: con las condiciones de humedad y calor para cada variedad requerida se mantiene a las hojas por determinado tiempo bajo estas condiciones.
- viii. Secado: proceso por el cual se detiene la fermentación con la extracción de agua a temperaturas no mayores a 100 °C, hasta alcanzar una humedad entre el 2 y 3 % de agua en el producto.
- ix. Clasificación: separación de restos de hojas según su tamaño para sus diferentes presentaciones finales.
- x. Envasado: procedimiento por el cual se dispone la forma en la cual se coloca el té para su futura infusión, según este envasado se procede a su almacenamiento y comercialización.

La composición química del té Negro y el té Verde difieren en tanto a la variedad de la planta, la edad de las hojas, el tipo de procesamiento, la estación del año y las condiciones del cultivo entre otros parámetros, por tal motivo la composición exacta puede variar entre distintas muestras de una zona geográfica, datos basados en el extracto sólido de té se presentan Tabla I-1: Composición de té, de donde cabe resaltar la identificación de polifenoles siendo en esta tabla la notable diferencia del contenido de catequinas entre las dos variedades de té, estas catequinas en el té verde dan paso a las teaflavinas y otros polifenoles debido al proceso de oxidación resultando en el té negro.

Tabla I-1: Composición de té

Compuesto	Té (% MS)	
	Verde	Negro
Catequinas	30	9
Teaflavinas		4
Polifenoles simples	2	3
Flavonoles	2	1
Otros polifenoles	6	23
Teanina	3	3
Aminoácidos	3	3
Péptidos/proteínas	6	6
Ácidos orgánicos	2	2
Azúcares	7	7
Otros carbohidratos	4	4
Lípidos	3	3
Cafeína	3	3
Otras metilxantinas	<1	<1
Potasio	5	5
Otros Minerales/cenizas	5	5
Aromas	Trazas	Trazas
Fuente: Balentine DA (1997)	MS (Materia Seca)	

En la norma “Tea. Preparation of liquor for use in sensory tests” que traducido puede entenderse como “Té. Preparación de la infusión para uso en pruebas organolépticas”, con número de referencia ISO 3103:2019 de la Internacional Organization for Standardization (Organización Internacional de Estandarización) (ISO - Tea, 2019), entendiendo a la palabra “liquor” dada por su definición en la nombrada norma como: “Liquor: solution prepared by extraction of soluble substances from dried tea leaf,

under the conditions described.” Traducida como “Solución preparada mediante extracción de sustancias solubles de hojas de té secas, en las condiciones descritas.”

Se define al té negro en la norma ISO 3103:2019 que es referencia extraída de la norma ISO 3720:2011 “Black tea como:

“Té negro: té obtenido única y exclusivamente, y producido mediante procesos aceptables, en particular marchitamiento, maceración de hojas, aireación y secado, a partir de brotes tiernos de variedades de la especie *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze, conocidas por ser aptas para preparar té para el consumo como bebida” (ISO - Tea, 2019), (ISO - Black Tea, 2011)

El té negro constituye un sustrato fundamental en la elaboración de Kombucha, trascendiendo su función de saborizante, primeramente, provee compuestos nitrogenados como la teína, los cuales son utilizados por las levaduras como fuente esencial de nitrógeno para su crecimiento y actividad metabólica (Jayabalan et al., 2014). En segundo lugar, los polifenoles del té desempeñan un rol estructural crítico, actuando a manera de andamios para la cristalización y organización de las fibrillas de celulosa bacteriana, facilitando la formación de la biopelícula del SCOBY (Liu et al., 1996). Adicionalmente, estos mismos polifenoles ejercen un efecto antimicrobiano selectivo que inhibe el crecimiento de microorganismos contaminantes, protegiendo al cultivo simbiótico (Dufresne & Farnworth, 2000). Por último, el té aporta minerales esenciales que funcionan como cofactores enzimáticos en las diversas rutas metabólicas de la fermentación (Villarreal-Soto et al., 2018)

1.1.4. EL SCOBY

El SCOBY (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast*; *Cultivo simbiótico de bacterias y levaduras*) que es un consorcio de microorganismos que se lo presenta como “el inóculo” que es el material a ser añadido a la solución endulzada de té y presenta la particularidad de formar láminas uniformes de celulosa que usualmente se adaptan al recipiente que las contiene siendo este uno de los principales indicadores visuales de los procesos bioquímicos, se le ha llamado a esta formación con el nombre de

Medusomyces Gisevi por las observaciones de Gustav Lindau (1866-1923), botánico alemán, quien sugirió este nombre en su aporte como comunicador científico para el “informe de la sociedad botánica Alemana, tomo XXXI de 1913” en sus páginas 243 a la 248 (SOCIEDAD BOTÁNICA ALEMANA, 1913).

A la bebida conocida como Kombucha es a la cual se le atribuyen las propiedades de probióticos y por tal atributo esta no se pasteuriza, por lo que su preparación debe de ser realizada con mucha precaución respecto a la contaminación del entorno en el que se la prepara.

A la Kombucha se le atribuye un amplio espectro de acción, donde su principal papel es la regeneración de la micro flora intestinal ya que su consumo permite al organismo depurarse y regenerarse, con esto reforzaría el sistema inmune, beneficiando órganos con función en la asimilación de los nutrientes, además de los encargados de excretar residuos, como son la piel y los pulmones. (Eduardo, 2017)

Para un mejor entendimiento del papel del SCOBY se desarrollan los siguientes puntos: los microorganismos y la microbiología de la Kombucha, procesos bioquímicos y factores físico – químicos que influyen a los procesos bioquímicos:

a. Los microorganismos y la microbiología de la Kombucha

Un microorganismo se define como aquel organismo cuya identificación individual solo es posible con instrumentos de aumento visual como un microscopio óptico. (Ambientech, 2019)

La microbiología es la ciencia que estudia a los microorganismos y sus actividades, concernientes a sus formas, estructuras, fisiología, reproducción, metabolismo e identificación. Uno de los objetivos de esta ciencia es la comprensión de las actividades perjudiciales y beneficiosas de estos organismos con el fin de diseñar la manera de aumentar los beneficios y reducir o minimizar los daños. (Madigan M. T., Martinko, Bender, Buckley, & Stahl, 2015)

Los microorganismos según su tipo nutricional pueden variar en dos formas: una en relación a la fuente de energía y la otra respecto a la fuente de carbono.

Según la fuente de energía estos pueden ser:

- Fotótrofos, utilizan energía electromagnética para su desarrollo (generalmente en el rango de luz visible)
- Quimiótrofos, obtienen energía a partir de la reacción de compuestos químicos; a su vez estos pueden ser: Quimiolitótrofos, con la oxidación de compuestos inorgánicos, y los Quimiorganótrofos, con la oxidación de compuestos orgánicos.

Según la fuente de carbono estos pueden ser:

- Autótrofos, que requieren de dióxido de carbono y/o carbonatos para sintetizar moléculas complejas.
- Heterótrofos, requieren de fuentes externas de moléculas complejas para su desarrollo.

Entre los factores que influyen en el desarrollo de los microorganismos en general podemos destacar al pH, la temperatura y al oxígeno.

La Kombucha es una bebida fermentada cuyo microbiota está formado principalmente por una simbiosis de bacterias acéticas y levaduras, donde estos grupos de microorganismos en la Kombucha se caracterizan por sus procesos bioquímicos: fermentación alcohólica y oxidación acética; a esta comunidad se desarrolla en un cultivo simbiótico, presentada en esta sección como SCOBY (Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast).

El SCOBY está compuesto principalmente por dos familias de microorganismos: la familia bacteriana de Acetobacteraceae y una familia de levaduras del género Ascomycota.

- Bacterias Acéticas

Género Principal: *Acetobacter* y *Komagataeibacter*

Característica clave: Tienen la capacidad de oxidar el etanol (producido por las levaduras) en ácido acético en condiciones aeróbicas, lo que contribuye al sabor ácido característico de la Kombucha (Jayabalan et al., 2014).

Clasificación Taxonómica de Referencia:

Familia: *Acetobacteraceae*

Género: *Komagataeibacter*

Especie de ejemplo: *Komagataeibacter xylinus* (anteriormente nombrada como *Acetobacter xylinum*), principal productor de la matriz de celulosa que forma el SCOBY (Chakravorty et al., 2016).

- Levaduras

Principalmente del filo *Ascomycota*, son responsables de la fermentación alcohólica de los azúcares (Teoh et al., 2004).

Géneros Representativos:

- *Saccharomyces cerevisiae*: Levadura muy común en fermentaciones, habita en entornos ricos en azúcares.
- *Saccharomyces ludwigii*: Levadura tolerante a altas concentraciones de azúcar y alcohol.
- *Schizosaccharomyces pombe*: Utilizada como organismo modelo en investigación genética y con un rol en la ecología de la fermentación.
- *Zygosaccharomyces bailii*: Conocida por su alta resistencia a conservantes y su fuerte capacidad fermentativa.
- *Pichia fermentans*: Otro género de levadura frecuentemente encontrado en el cultivo.

Clasificación Taxonómica de Referencia (Ejemplo con *Saccharomyces cerevisiae*):

Reino: *Fungi*

Filo: Ascomycota

Clase: Saccharomycetes

Orden: Saccharomycetales

Familia: Saccharomycetaceae

Género: Saccharomyces

Especie: *S. cerevisiae*

Algunas de las cualidades atribuidas a la Kombucha son las siguientes:

- Funciona como antibiótico eliminando infecciones recurrentes y molestas, como aquellas causadas por *Candida* en la piel o las urinarias.
- Ayuda a regular el tránsito intestinal y disminuir los cólicos causados por la menstruación.
- Alivia los dolores crónicos de articulaciones, huesos y músculos, como el síndrome del túnel carpiano, dolores de rodilla, hombros, muñecas y piernas o los síntomas de la artritis.
- Funciona como desintoxicante, renovando las energías y el bienestar general del organismo.
- Favorece el crecimiento de cabello y su fortalecimiento.
- Disminuye la inflamación y el dolor
- Ayuda a curar resfriados y gripes y es útil como adyuvante de enfermedades como el asma.
- Mejora el aspecto y la salud general de la piel de todo el cuerpo.
- Colabora con la cura de quemaduras y heridas.

b. Procesos bioquímicos

El principio científico del proceso radica en la fermentación mixta, donde coexisten reacciones oxidativas aeróbicas (por bacterias) y fermentativas anaeróbicas (por levaduras), dando lugar a un equilibrio dinámico entre la producción de etanol, ácidos

orgánicos y compuestos secundarios bioactivos (Jayabalan et al., 2014; Villarreal-Soto et al., 2018).

Los procesos bioquímicos producidos por el inóculo pueden dividirse en tres etapas principales, la hidrólisis de la sacarosa, la fermentación alcohólica y la oxidación acética:

Hidrólisis de la Sacarosa

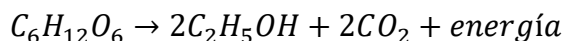
La sacarosa aporta el carbono necesario para los procesos bioquímicos pero los microorganismos no pueden transportar directamente la sacarosa y es allí donde entran en acción las enzimas que hidrolizan el disacárido y se obtienen los monosacáridos glucosa y fructuosa (Ecuación 1: Mecanismo hidrólisis de la sacarosa), por ejemplo, las levaduras osmófilas como *Zygosaccharomyces bailii*, *Saccharomyces cerevisiae* o *Brettanomyces bruxellensis* comienzan a hidrolizar la sacarosa en glucosa y fructosa mediante la enzima invertasa (β -fructofuranoside-fructohydrolase) (Vitolo, 2021).

Fermentación Alcohólica

Entendemos por fermentación al conjunto de procesos metabólicos de algunos organismos que transforman compuestos químicos orgánicos, principalmente azúcares, en otras sustancias orgánicas de estructura más simple como etanol, dióxido de carbono, etc.

La fermentación alcohólica es el proceso en el cual las levaduras, transforman la glucosa, o la fructuosa en alcohol etílico y dióxido de carbono, este proceso ocurre en ausencia de oxígeno (Nelson & Cox, 2013). En la elaboración de Kombucha el SCOBY aporta las levaduras que transforman los azúcares simples en etanol y dióxido de carbono mediante la fermentación anaeróbica:

Ecuación 2: fermentación alcohólica



Fuente: Nelson & Cox, 2013

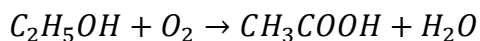
Esta reacción genera burbujeo (efervescencia natural) y pequeñas cantidades de alcohol (0.3–1.0%), que luego sirven como sustrato para las bacterias acéticas (Dufresne & Farnworth, 2000).

Producción de ácido acético

El SCOBY aporta las bacterias del género *Komagataeibacter* que oxidan el etanol producido por las levaduras en ácido acético y otros ácidos orgánicos (como el ácido glucónico y el glucurónico), además de sintetizar celulosa bacteriana que forma la estructura gelatinosa (Marsh, O’Sullivan, Hill, Ross, & Cotter, 2014).

La reacción química de oxidación del etanol es llevada a cabo por bacterias acéticas en la Kombucha (Ohl, 2024).

Ecuación 3: Oxidación del etanol



Fuente: (Ohl, 2024)

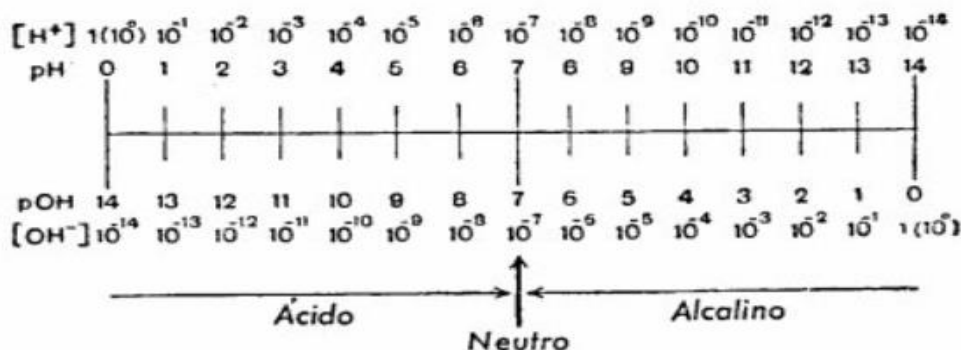
c. Factores físico-químicos que influyen a los procesos bioquímicos

El pH

Convencionalmente el pH de una disolución se define como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno, el logaritmo negativo proporciona un número positivo para el pH, así nos los define la versión en español del libro Química de Raymond Chang (Chang & College, 2002) y Arthur Vogel (Vogel, 1960) Figura 0-3.

En la definición moderna de pH se incluye a la actividad del ion hidrógeno en lugar de su concentración, pero en casi todos los casos de determinación de pH, las concentraciones equivalen aproximadamente a las actividades de los iones, así nos lo indican (Cruz & Gamed, 2008)

Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-3,



Fuente: Vogel's textbook of quantitative chemical analysis (Vogel, 1960).

En lo que concierne a los microorganismos, en el libro de *Biología de los microorganismos* (Madigan M. T., Martinko, Bender, Buckley, & Stahl, 2015), se nos indica que la mayoría de los ambientes naturales tienen un pH entre 3 y 9, respecto al pH los microorganismos pueden ser clasificados en tres grupos:

- Neutrófilas, su crecimiento óptimo se halla entre valores de pH de 5,5 y 7,9.
- Acidófilas, su crecimiento óptimo se halla entre valores de pH menores a 5,5.
- Alcalófilas, su crecimiento óptimo se halla entre valores de pH de mayores a 8,5.

Se nos dice también que el pH óptimo para el crecimiento de un organismo hace referencia únicamente al ambiente extracelular; ya que el pH intracelular debe permanecer cerca de la neutralidad para impedir la destrucción de las macromoléculas.

En la elaboración de Kombucha el pH es un factor clave para el desarrollo del SCOBY si este no se halla por debajo de 5 es susceptible a contaminación por crecimiento de microorganismos patógenos (Chong, Chin, Talib, & Basha, 2024) .

La Temperatura

Las diferentes especies microbianas varían ampliamente en cuanto a sus intervalos óptimos de temperatura para su proliferación:

- Los psicrófilos se desarrollan mejor en temperaturas bajas (15 a 20°C)

- Los mesófilos a 30 a 37°C
- los termófilos a temperaturas de 50 a 60°C.

Algunos microorganismos son hipertermófilos y pueden desarrollarse a temperatura de ebullición, la cual existe en sitios con alta presión como en las profundidades del océano. La mayor parte de los microorganismos son mesófilos; 30°C es la temperatura óptima para muchas formas de vida libre y la temperatura corporal del hospedador es óptima para simbioses homeotermos (Brooks, 2010).

El equilibrio entre levaduras y bacterias varía según las condiciones de fermentación:

- A temperaturas más bajas (25–28 °C), las levaduras predominan, generando más etanol y un sabor más dulce.
- A temperaturas más altas (30–34 °C), se favorece la actividad bacteriana, aumentando la producción de ácidos y reduciendo el dulzor.

Este balance explica las diferencias sensoriales entre Kombuchas fermentadas a distintas condiciones y fundamenta el control experimental de tiempo y temperatura como variables críticas (Villarreal-Soto et al., 2018).

El oxígeno

El oxígeno es un elemento químico que una de sus formas gaseosas (O₂) se presenta en estado natural representando aproximadamente el 21% de la composición atmosférica, también se encuentra presente en la corteza terrestre en forma de otros compuestos químicos (óxidos, anhídridos, bases, etc.) (CarbMet, s.f.).

Los microorganismos según su requerimiento de oxígeno los podemos diferenciar entre Aerobios y Anaerobios:

Muchos microorganismos son aerobios obligados, es decir, de manera específica necesitan oxígeno como aceptor de hidrógeno;

Algunos anaerobios son facultativos, es decir, tienen la capacidad de vivir de forma aerobia o anaerobia; en tanto que otros son anaerobios obligados, pues requieren una

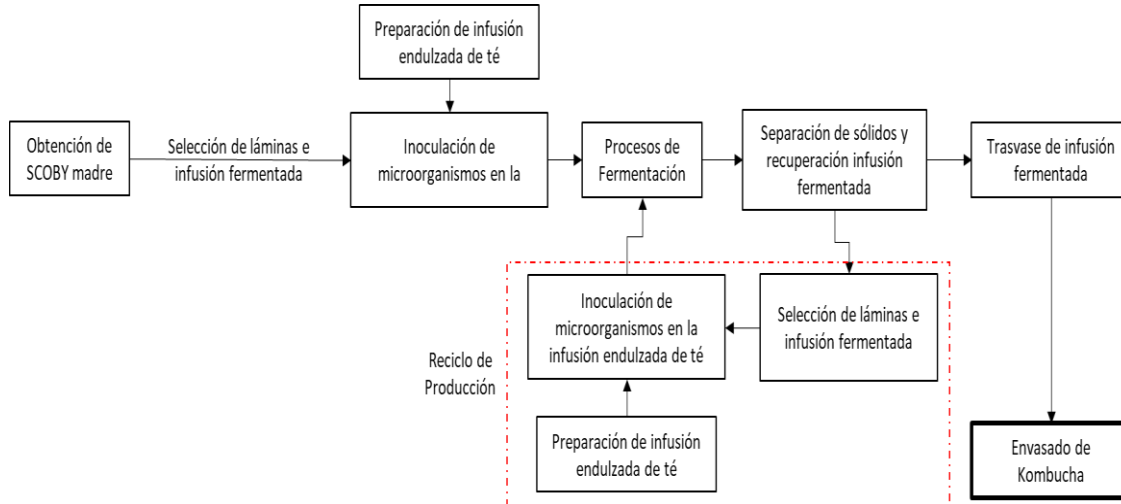
sustancia diferente al oxígeno como aceptor hidrógeno y son sensibles a la inhibición con oxígeno (Brooks, 2010).

En el SCOBY están presentes los microorganismos que trabajan para convertir el etanol en ácido acético a través de un proceso de oxidación. (Czarnecki, y otros, 2024)

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESAMIENTO Y SUS ALTERNATIVAS

El proceso de obtención de Kombucha es considerado sencillo debido a que no precisa de gran equipamiento ni de ingredientes difíciles de conseguir, ; si bien de acuerdo a la región donde se elabora pueden ocurrir variaciones entre las proporciones de los insumos y otras especificaciones, la metodología del proceso es descrita por Jayabalan (Jayabalan, 2014) está referida como un proceso estándar según nos lo indica da Silva Junior (da Silva Junio y otros, 2022) basado en el capítulo Kombucha drink del libro “Production and management of beverages” (Dutta & Pauk, 2019), por lo cual se puede resumir el proceso como en el Esquema 1 representado a continuación:

Esquema 1: Elaboración de Kombucha



Fuente: Elaboración Propia (2023)

Dicho proceso, del Esquema 1, se desarrolla en varias etapas bien definidas, para un mejor entendimiento de cada una de estas partes del proceso estos se desarrollan a continuación, desde la obtención del SCOBY:

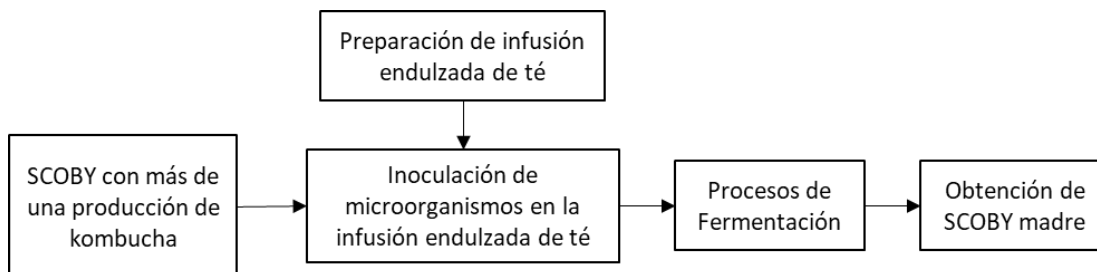
1.2.1. Obtención de SCOBY madre

La obtención de SCOBY madre puede realizarse por 4 (cuatro) métodos, 2 (dos) métodos utilizando productos terminados para la obtención (incisos a y b) y así producir fermentación, 1 (un) método poco controlado (inciso c) de fermentación más básica y 1 (un) método basado en el cultivo controlado de los microorganismos para la inoculación (inciso d); el primer método seguro de obtención es por la adquisición de SCOBY maduro que ya hubiese producido más de una Kombucha, siendo este el método más popular entre los aficionados de la Kombucha (Marsh y otros, 2014), el segundo método de obtención es por medio de la inoculación de microorganismos contenidos en productos como el vinagre, vino o cerveza condicionados estos a no ser pasteurizados, siendo este método utilizado según entusiastas que pretenden sacar provecho de propiedades de los productos utilizados para ser insertas en la Kombucha pero no tiene un sustento científico, el tercer método descrito se trata de fermentación espontánea, respecto al aprovechamiento de microorganismos presentes en los insumos y/o el medio ambiente de forma natural (Katz, 2012), y el cuarto método consiste en el aislamiento, identificación y la selección de microorganismos que son cultivados en medios específicos y luego inoculados para un fin en específico (Barja, 2021).

a. MÉTODO 1: Uso de Scoby para obtención de Scoby Madre

Se adquiere un SCOBY que al menos haya tenido más de una producción de Kombucha, a este SCOBY se le alimenta con una infusión de té endulzado (Villarreal-Soto y otros, 2018) el tiempo de fermentación debe de ser entre 5 a 10 días en función a la cantidad de endulzante utilizado. Esquema 2. Método 1 para Obtención de SCOBY madre).

Esquema 2. Método 1 para Obtención de SCOBY madre

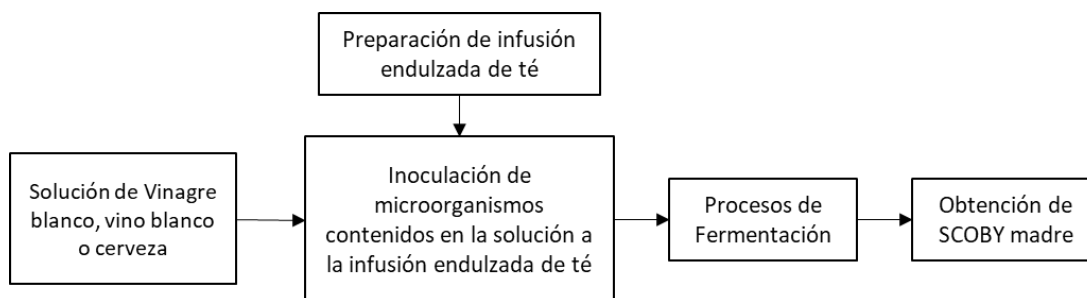


Fuente: Elaboración Propia (2023)

b. MÉTODO 2: Uso de productos terminados para obtención de Scoby Madre

En una infusión endulzada de té se le añade porción de vinagre blanco, que este haya sido producido por vía microbiológica, vino blanco o cerveza que no haya sido pasteurizada. Se espera al menos catorce (14) días a que se realice la fermentación y la oxidación, entonces se espera otra semana para que el SCOBY alcance la suficiente madurez, este método no tiene respaldo científico sino es una recopilación de criterios empíricos en foros de entusiastas. (Esquema 3. Método 2 para Obtención de SCOBY madre)

Esquema 3. Método 2 para Obtención de SCOBY madre



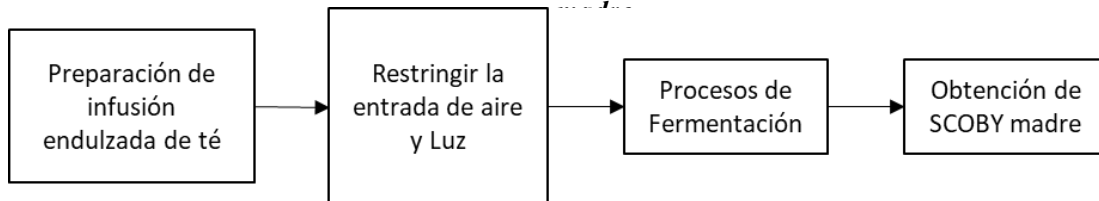
Fuente: Elaboración Propia (2023)

c. MÉTODO 3: Fermentación “espontánea” por microorganismos salvajes para obtención de Scoby Madre

En una infusión endulzada de té debe de reposar cubierta con la mínima entrada de aire atmosférico posible y debe de tener la menor exposición a luz solar, esperando a que

los microorganismos presentes en el té y el endulzante, microorganismos salvajes (Katz, 2012) realicen la fermentación, la contaminación por moho es muy probable en los primeros días de fermentación (KefirKO, 2022), de no presentar dicha contaminación se debe incrementar la entrada de aire a la solución.

Esquema 4. Método 3 para Obtención de SCOBY



Fuente: Elaboración Propia (2023)

d. MÉTODO 4: Cultivo de microorganismos en laboratorio para obtención de Soby Madre

Este método consiste en aislar e identificar bacterias acéticas y levaduras específicas, cultivarlas en medios apropiados (HS-medium, GYC, YPD) y posteriormente inocularlas estratégicamente en el té negro endulzado, hasta la fecha los estudios de los microorganismos identificados y aislados (Marsh y otros, 2014) no indican la intención para la obtención de un SCOBY madre sino principalmente para la obtención de celulosa bacteriana (Barja, 2021).

1.2.2. Selección de láminas e infusión fermentada

Una vez que el SCOBY madre presente las condiciones de maduración se extrae de estas láminas circulares de celulosa (celulosa bacteriana) en conjunto a una porción de su infusión fermentada que será al menos el diez por ciento del volumen final de Kombucha a producir (Chong y otros, 2024), deberá ser filtrado o separado de los posibles sólidos que contenga. La celulosa bacteriana no contiene hemicelulosa ni lignina y tiene mayor pureza, grado de polimerización y cristalinidad que la celulosa aislada de plantas (Ribeiro Gagliardi, de Farias Nascimento, & Ayala Valencia, 2025). El uso de las láminas es opcional.

1.2.3. Preparación de té endulzado

Se debe de llevar el agua potable a su punto de ebullición para garantizar la inhibición de microorganismos no deseados que podrían adherirse al recipiente para fermentación, mientras permanece el fluido caliente se le añaden las hojas de té para realizar el proceso extracción.

Las alternativas para la preparación de té endulzado son 2:

a. MÉTODO 1: preparación de té endulzado (azúcar después del hervor)

Una vez alcanzado el punto de ebullición del agua potable dejar de brindar calor al fluido y añadir el té seco, se retiran los restos de las hojas y se adiciona el endulzante (Brod & Taylor, s.f.).

b. MÉTODO 2: preparación de té endulzado

Añadir el endulzante al agua y llevar a punto de ebullición y una vez alcanzado este punto cesar el suministro de calor al fluido luego añadir el té (Balance Anahata, 2007).

1.2.4. Inoculación de microorganismos en la infusión endulzada de té

Los elementos seleccionados del SCOBY madre son colocados en un recipiente previamente esterilizado, a este último se le vierte la infusión endulzada de té que debe de estar a temperatura ambiente (Viver, s.f.).

1.2.5. Procesos de Bioquímicos

En la primera etapa ocurre la fermentación donde se produce alcohol etílico, y dióxido de carbono, este alcohol servirá principalmente para la producción de ácido acético para una segunda etapa del proceso, uno de los metabolitos visualmente reconocibles es la producción de láminas de celulosa en la parte superficial del líquido (Wang, Rutherford-Markwick, Zhang, & Mutukumira, 2022).

A medida que transcurre el tiempo de los procesos el fluido comienza a perder su color tornándose más claro (Phung, 2023), esto relacionado con el consumo de los polifenoles en la Kombucha (Saimaiti, y otros, 2022) .

1.2.6. Filtrado de sólidos y recuperación de infusión fermentada

Completada la fermentación al punto requerido se procede al filtrado de posibles sólidos presentes en la infusión fermentada (Kombucha Works, 2024), luego se procede a la recuperación de la celulosa producida en conjunto a una porción de la infusión fermentada (Mehtari, s.f.).

1.2.7. Reciclo de producción (Fermentación continua)

En esta etapa se utilizan los recuperados y luego de la una selección se añade con una infusión endulzada de té, y de ser necesario se añaden láminas de celulosa con infusión fermentada del SCOBY madre, todo esto se mezcla en un recipiente previamente esterilizado, entonces se producen los procesos de fermentación y se vuelve al reciclo de producción (Mehtari, s.f.), (Nyhan, Lynch, Sahin, & Arendt, 2022).

1.2.8. Trasvase de infusión fermentada

Una vez filtrada la infusión fermentada es colocada en un recipiente previamente esterilizado cuyo fin será el de una posible estabilización en caso de que la infusión fermentada presente ya sea una acidez muy elevada, muy bajo contenido de endulzante, carencia de sabor, cualquier otro parámetro que influya en el sabor y/o aroma del producto final (Nyhan, Lynch, Sahin, & Arendt, 2022).

1.2.9. Envasado de Kombucha

Se recomienda que el llenado embotellado en lugar de enlatado y que las botellas sean de cierre hermético, otra de las recomendaciones es que el producto permanezca refrigerado (Brew Movers, 2024) (The good bug, 2025).

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. INTRODUCCIÓN

La parte experimental de este trabajo de investigación fue realizada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS). Los análisis físico-químicos y microbiológicos se llevaron a cabo en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), a petición personal.

2.2. SELECCIÓN DE FACTORES Y DEL PROCESO

Se identificaron de los factores Fijos y Variables para facilitar el desarrollo experimental y la lectura de las respuestas:

2.2.1. FACTORES FIJOS Y VARIABLES

a. Factores Fijos: Entendido como los factores que se mantienen igual en todos los ensayos para que no confundir los efectos:

- Tipo de recipiente (material, boca, área de superficie libre)
- Volumen de trabajo.
- Tipo y proporción de inóculo (starter).
- Tipo de té.
- Procedimiento de preparación del té.
- Métodos de medición.
- Condiciones de higiene y saneamiento.

b. Factores Variables: Entendidos aquellos que deliberadamente fueron sujetos a variación para estudiar su efecto sobre las variables respuesta, éstas se presentan como dependientes e independientes:

Independientes, aquellos controlados externamente (y no quedaron como Factores fijos):

- Tipo de azúcar.
- Concentración de azúcar inicial.

- Temperatura de fermentación.
- Tiempo de fermentación.
- Concentración de té.
- Tipo de Aeración.
- pH inicial.
- Presencia de nutrientes o aditivos.
- Remoción o manipulación del SCOBY durante fermentación.

Dependientes, son los factores de los cuales es posible obtener algún tipo de medición:

- Masa de celulosa seca.
- °Brix del proceso.
- pH del proceso.
- acidez titulable.
- Volumen recuperado / pérdida por evaporación.
- Biomasa microbiana no celulosa.
- Composición de ácidos orgánicos.
- Sensorial-organoléptico.
- Rendimiento volumétrico.
- rendimiento por sustrato.

Para los factores fijos se consideraron todos los enunciados basados en que en la mayoría de los documentos científicos tienen como factores fijos los anteriormente enlistados.

Los factores variables independientes fueron considerados según la mejor forma de control para la repetibilidad, siendo estos el tiempo y temperatura de fermentación dejando en la medida de lo posible a los otros factores enlistados como factores fijos.

De los factores dependientes dada las posibilidades materiales se tomaron a la masa de celulosa, como principal metabolito, los °Brix al considerarse la medida de sustrato residual y el pH como monitoreo del medio para evitar contaminaciones.

Para la selección del proceso, se eligió un método que permitiera un control óptimo de las variables involucradas, buscando minimizar cualquier factor de variabilidad.

2.2.2. SELECCIÓN DE MÉTODO PARA “OBTENCIÓN DE SCOBY MADRE”

Si bien se definió como factor fijo el tipo y proporción de inóculo este está sujeto a diversas formas de obtención.

En la Tabla II-1: Ventajas y desventajas de los procesos para obtención de SCOBY madre se muestran las ventajas y desventajas de los procesos anteriormente expuestos en “Obtención de SCOBY madre” en marco teórico.

Tabla II-1: Ventajas y desventajas de los procesos para obtención de SCOBY madre

Nº	Método	Viabilidad	Ventajas	Desventajas
1	Fermentación por inoculación de Scoby madre	Es viable	-Se asegura la sobrevivencia de los microorganismos puesto que provienen de una solución madre de varias generaciones	-Depende de la salud de la solución madre, si la anterior presentaba fallos al tener aromas no deseados, estos pueden prevalecer en las siguientes producciones
2	Fermentación por inoculación de microorganismos presentes en soluciones fermentadas de	Es viable	-Puede seleccionarse microorganismos especiales para una producción más específicas, ya sea de alcohol, vinagre u otros compuestos	-Su capacidad reproductiva puede hallarse mermada y requiere de sustratos especiales para activar su reproducción

Nº	Método	Viabilidad	Ventajas	Desventajas
	producción industrial			
3	Fermentación por microorganismos salvajes	No es viable	-Su adaptación al sustrato es más rápida y existe poca probabilidad de muerte en las colonias	-Control microbiológico inexistente, fácil contaminación de microorganismos posiblemente patógenos para el ser humano

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Considerando las complicaciones asociadas a los métodos 2 y 3 expuestos en la Tabla , se seleccionó el método 1 como el más adecuado.

2.2.3. Selección de preparación para “té endulzado”

Si bien se definió como factor fijo la preparación de té este está sujeta diversas formas de preparación.

En la tabla presentada a continuación, Tabla , respecto a la preparación de “té endulzado” se muestran las ventajas y desventajas de los procesos anteriormente expuestos en “Preparación de té endulzado” en marco teórico.

Tabla II-2: Ventajas y desventajas en la preparación del té endulzado

Nº	Proceso	Ventajas	Desventajas
1	Llevar el agua a ebullición, cesar el suministro de calor, añadir las hojas de té (materia para infusión) y	-Debido a que el agua no presenta solutos su punto de ebullición es ligeramente más bajo en comparación a que sí	-Se debe procurar de esterilizar tanto la materia para infusión (el té) como el endulzante previa su

Nº	Proceso	Ventajas	Desventajas
	una vez concluida la infusión separar las hojas de la infusión para adicionar el endulzante.	presentase soluto alguno. -El adicionar el endulzante luego de que la materia para infusión (el té) sea retirada evita pérdidas del endulzante por descarte de la materia para infusión.	adición al agua, según el orden establecido, y que esta no haya perdido suficiente calor como para que sean completas la infusión del té y la dilución del endulzante.
2	Adicionar el endulzante al agua y llevar a punto de ebullición, una vez alcanzado este punto añadir las hojas de té (materia de infusión), transcurrido cierto tiempo retirar las hojas de té	- Se puede garantizar la merma de microorganismos no deseados en el endulzante y la materia de infusión por ebullición del agua.	- Existe pérdida en la cantidad de endulzante utilizado por descarte de la materia para infusión.

Fuente: Elaboración Propia (2023)

Para minimizar el riesgo de contaminación del azúcar, un medio propicio para el crecimiento microbiano, se seleccionó el proceso 2 de la Tabla .

2.2.4. Selección de tecnología para la fermentación:

La tecnología de fermentación es clave para el proceso y esta debe de presentar la menor variación posible respecto en su operación para minimizar el impacto en las respuestas.

En la selección para la tecnología de fermentación se presenta la siguiente tabla (Tabla II-3) de ventajas y desventajas en función a los equipos disponibles en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, y con la matriz de decisiones (Tabla II-4).

Tabla II-3: Ventajas y desventajas en la tecnología para la fermentación

No	Proceso	Ventajas	Desventajas
1	Fermentación en Baño María	Asegura el intercambio de calor constante y tiene un bajo nivel respecto a la pérdida de calor entre el fluido de intercambio y la solución a fermentar	Debido a que la fermentación se realiza en dos etapas casi simultaneas, el vapor formado remoja la cobertura permeable y lo vuelve susceptible a contaminación por moho
2	Fermentación en incubadora	Asegura un intercambio de calor uniforme y previene de contaminantes externos	No garantiza un suministro de oxígeno para la fermentación aeróbica por lo que requiere de la apertura de las chimeneas
3	Fermentación en Biorreactor	Garantiza el control de los parámetros para la fermentación doble	El volumen y masa de fermentación es muy limitado y la formación de celulosa obstruye el correcto funcionamiento de las partes móviles y lectura de los sensores

Fuente: Elaboración Propia (2023).

a. Equipos considerados para los procesos

Baño María

Se probaron dos equipos para la fermentación en baño maría, la disponibilidad de estos equipos estuvo limitada debido al uso por parte de otros compañeros en las mismas fechas de la elaboración del ensayo preliminar y posterior programación de uso en la etapa experimental.

Figura II-5: Equipo 1 de baño María



Fuente: Elaboración propia (2023)

Figura II-4: Etiqueta de información del termostato para el equipo 1



Fuente: Elaboración propia (2023)

En lo que respecta al equipo 1 (Figura II-5: Equipo 1 de baño María y Figura II-7), el diseño es abierto al medio ambiente y debido a que el proceso de fermentación es tanto aerobio como anaerobio la cubierta del biorreactor se la realiza con un paño estéril, pero este se humedecía demasiado y en la parte externa se volvió susceptible a la formación de moho y se da un exceso de luz recibida a los recipientes.

En el equipo 2 (Figura II-7) a pesar de las ventajas como el de impedir la entrada de luz y el resguardo contra el polvo ambiental este equipo presenta dos dificultades:

- Su cámara de intercambio de calor es muy pequeña.

- Humedece demasiado el paño estéril que cubre el biorreactor y no solo eso, sino que dada la agitación interna se infiltra agua desde la fuente de agua cálida hacia el interior del recipiente usado como biorreactor.

Figura II-7: Equipo 2 de baño María



Fuente: Elaboración propia (2023)

Figura II-6: Baño María con tapa



Fuente: Imagen referencial de internet, 2023

Dadas las diferencias en los modelos del baño María se evaluaron como equipos diferentes.

Estufa microbiológica

En el laboratorio de operaciones unitarias (LOU) se cuenta con al menos dos estufas microbiológicas (Figura II-25 y Figura II-24), para ilustración de los modelos se adjuntan imágenes obtenidas de internet (Figura II-9 y Figura II-8):

Figura II-9: Incubadora Heraeus REF-



Fuente: Imagen referencial de internet (2025)

Figura II-8: Incubadora Blue M, Model



Fuente: Imagen referencial de internet (2025)

Dada la operación de las estufas (incubadoras) se evaluaron como un solo tipo de equipo.

Biorreactor

El equipo biorreactor presente en el laboratorio de operaciones unitarias (LOU) es un equipo modelo minifors especializado en fermentaciones que consta con una variedad de sensores y que está orientado a la investigación y desarrollo, según el fabricante INFORS lo indica en su sitio web (INFORS, 2025) Figura II-10, al momento de su intención de uso el equipo llevaba meses sin haber sido utilizado y requería de pruebas adicionales para su puesta en marcha.

Figura II-10: Biorreactor minifors



Fuente: Imagen referencial de internet

b. Criterios de Evaluación

Se evaluó subjetivamente los siguientes parámetros con calificaciones en la tabla

Tabla II-4. Matriz de selección del proceso, del 1 al 10, siendo 1 la calificación menos

Proceso\Parámetro	Control de temperatura	Control visual de fermentación	Control de aireación	Control Físico químico	Aplicación de calor del equipo al fluido	Pérdida de calor del fluido con el medio próximo	Puesta en marcha del equipo	Mecánicas del recipiente con fluido	Trabajo con múltiples experimentos	Reserva con inactividad
Fermentación en Baño María 1	8	6	6	6	9	8	6	4	4	2
Fermentación en Baño María 2	8	6	6	5	9	8	7	6	6	4
Fermentación en incubadora	6	7	7	6	9	9	9	9	9	8
Fermentación en Biorreactor	9	8	9	9	9	9	4	5	2	9

provechosa del parámetro en relación al proceso y 10 siendo el valor más favorable del parámetro en relación al proceso para lograr la fermentación:

Control de temperatura, entendido como la posibilidad para realizar la lectura de la temperatura en grados Celsius.

Control visual de fermentación, se comprende por la facilidad con la que se logra ver la formación de celulosa en la superficie del fluido.

Control de aireación, es la capacidad del equipo para inyectar aire ambiental o permitir la interacción del aire con el fluido.

Control Físico químico, entendido como la posibilidad para realizar la lectura de parámetros como pH, y grados Brix.

Aplicación de calor del equipo al fluido, es la capacidad del equipo transferir calor al fluido.

Pérdida de calor del fluido con el medio próximo, entendido como la posibilidad de que el fluido transfiera su calor al medio en el que se halla inmerso.

Puesta en marcha del equipo, es el nivel de complejidad respecto a la preparación del equipo y manejo del fluido para el proceso

Mecánicas del recipiente con fluido, es referido a las interacciones físicas que presenta el recipiente con el fluido para la fermentación.

Trabajo con múltiples experimentos, comprendido por la factibilidad de realizar en simultáneo varias pruebas.

Resguardo por contaminación de entorno, es la posibilidad que presenta el equipo para evitar que agentes externos y no propios del proceso interactúen con el fluido.

Tabla II-4. Matriz de selección del proceso

Proceso\Parámetro	Control de temperatura	Control visual de fermentación	Control de aireación	Control Físico químico	Aplicación de calor del equipo al fluido	Pérdida de calor del fluido con el medio próximo	Puesta en marcha del equipo	Mecánicas del recipiente con fluido	Trabajo con múltiples experimentos	Resguardo por contaminación de entorno	Total
Fermentación en Baño María 1	8	6	6	6	9	8	6	4	4	2	59
Fermentación en Baño María 2	8	6	6	5	9	8	7	6	6	4	65
Fermentación en incubadora	6	7	7	6	9	9	9	9	9	8	79
Fermentación en Biorreactor	9	8	9	9	9	9	4	5	2	9	73

Fuente: Elaboración Propia (2023)

Se optó por realizar la fermentación en incubadora (Estufa Microbiológica), dado que este equipo estaba disponible en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) y debido a que los ensayos previos (ensayo preliminar) con el baño maría no fueron exitosos, y como el puntaje en la matriz de selección resultó ser el más alto (79 puntos).

2.3. CARACTERIZACIÓN DE INSUMOS

2.3.1. El agua potable

Para cumplir con los requisitos de la normativa boliviana NB 512-04 descrita en su punto 6 de los requisitos físicos y organolépticos y requisitos microbiológicos, se pretendió utilizar agua de la red de cañerías provista en el LOU haciéndola pasar por un filtro de carbón activado y luego fue hervida.

El proceso resultó demoroso y susceptible a contaminaciones cruzadas en varios puntos de la manipulación del fluido.

Figura II-11: Botellón de agua 6 Litros



Fuente: Elaboración Propia (2023).

Se optó por hacer uso de agua de mesa proveniente de un botellón con un sencillo manejo y transporte cómodo (Figura II-11), no se optó por otras marcas puesto que no se halló el producto en similares presentaciones.

2.3.2. El Té para infusión

Para la selección del té se buscó que sea “té negro” sin algún otro aditivo y/o aromatizante añadido a este, ninguna variedad como las presentadas en las imágenes a continuación (Figura II-12)

Figura II-12: Imágenes de distintas marcas de té con



Fuente: Imágenes de internet (2024)

La primera evaluación se realizó en base a la presentación del té, de donde se contó con las siguientes presentaciones: té a granel (Figura II-14), té en bolsita (Figura II-13).

Figura II-14: té a granel



Figura II-13: té en bolsitas



Fuente: imágenes de internet (2024)

Debido a que el té a granel debe de ser correctamente filtrado para evitar aspectos ajenos al producto final se decidió por la utilización del té en bolsitas.

Entre las variedades de té en bolsita se evaluó que el peso contenido en estas sea lo más invariable posible (**Figura II-15** y Figura II-16).

Figura II-15: Pesaje de la bolsa



Fuente: Elaboración Propia (2023)

Figura II-16: Pesaje de la bolsa de té B



Fuente: Elaboración Propia (2023)

La siguiente evaluación consistió en observar la difusión de la tintura del té (Figura II-17) y que esta no presente colores impropios (manchas azuladas y magentas) del té negro (rojizos naranja).

Figura II-17: Prueba de infusión



Fuente: Elaboración Propia (2023)

Tanto por el peso con menor irregularidad como por la mejor presentación de difusión se opta por la marca “Windsor”.

Figura II-18: Marca de té seleccionada



Fuente: Elaboración Propia (2023).

2.3.3. El endulzante

Se decidió por azúcar blanca de caña pensando en que se consta con una producción departamental proveniente de Industrias Agrícolas de Bermejo Sociedad Anónima (***Figura II-19***) con su producto “azúcar Bermejo”.

Figura II-19: Azúcar Blanca



Fuente: Elaboración Propia (2023)

2.3.4. El SCOBY madre

Se consiguió entre productores locales (*Figura II-20*), tanto de índole comercial como de producción personal, para evaluar una Kombucha según su aroma, estado de láminas de celulosa y sabor natural.

Figura II-20: Kombucha de producción local marca Probiotic



Fuente: Internet (2023)

Figura II-21: Kombucha de producción local



Fuente: elaboración propia (2023)

Se eligió de entre las variedades la mayor aceptada por mi persona para su continuación en la maduración.

2.4. ENSAYO PRELIMINAR

2.4.1. Prueba de hornalla eléctrica

En las condiciones ambientales donde fue desarrollado el ensayo se probó la hornalla eléctrica (*Figura II-22*) con un litro de agua en el nivel 3 de potencia indicada en el aparato eléctrico.

Figura II-22: Hornalla



Fuente: elaboración propia (2023)

Se controló el tiempo que se demora en alcanzar la temperatura de ebullición 1 litro de agua, con un tiempo de 12 a 15 minutos partiendo de la temperatura ambiente.

En un siguiente ensayo se adicionó el azúcar y las bolsitas de té requeridas para el volumen de agua previamente utilizado.

Se controló el tiempo que se demora en alcanzar la temperatura de ebullición, con un tiempo de entre 12 a 16 minutos desde una temperatura ambiente.

2.4.2. Uso de Autoclave

Bajo las recomendaciones del fabricante se operó con la autoclave a un tiempo y temperatura programados por mi persona para la esterilización de los materiales aptos para este equipo.

2.4.3. Dosificación de azúcar y té

Por acuerdo establecido de forma verbal en la defensa de perfil de este trabajo se acordó con los miembros del tribunal el utilizar una receta fija respecto a la cantidad en masa de azúcar y té para infundir, pero el detalle de las cantidades específicas se las realizó en base a recetas encontradas en internet, revistas, libros y compartidas por productores locales.

2.4.4. Dosificación de SCOBY (Kombucha madre)

Se utilizó una porción del 10 % de volumen de SCOBY en relación al agua para la infusión, esto debido a que, en la mayoría de las fuentes de información, en el anterior punto referidas, coinciden aproximadamente en este aspecto de dosificación.

Figura II-23 Kombucha madre



Fuente: Elaboración Propia (2023)

Para reducir la contaminación por manipulación y el desbalance en la distribución se decidió no usar las láminas de celulosa, en la Figura II-23 se denota la celulosa por encima de la solución color té, y dado que el distribuir equitativamente estas láminas de celulosa es una tarea complicada para realizar los cortes y la medición de masas podrían volver vulnerable de contaminación a esta etapa del ensayo.

2.4.5. Uso de incubadora

Al momento de realizar el ensayo se contaba con la disponibilidad de dos incubadoras (estufas microbiológicas, Figura II-25 y Figura II-24) y su funcionamiento fue comprobado con la ayuda de un termómetro para verificar sus temperaturas mínimas de operación y su constancia de temperatura en su cámara de incubación con lapsos de 1 hora durante 8 horas.

Figura II-25, Estufa microbiológica Heraeus



Fuente: Elaboración Propia (2023).

Figura II-24, Estufa microbiológica Blue M



Fuente: Elaboración Propia (2023).

2.4.6. Fermentación

Se escogió entre 2 recetas para un litro de agua (té y azúcar alto-bajo), tomando como indicador de tiempo la aparición de las láminas de celulosa y un límite de pH, la referencia para el límite de pH se tomó de productos comerciales adquiridos (pH de 3 a 4,5).

Tabla II-5: Recetas de Kombucha para 1 litro de agua

	Receta 1	Receta 2
Azúcar (g)	80	100
Té (g)	4	7

Fuente: Elaboración Propia (2023)

Se procedió a la esterilización de los recipientes para fermentación en la autoclave, se utilizó un recipiente para hacer hervir 2 litros de agua en el cual se añadió el azúcar y el té para infusión, una vez enfriada la infusión endulzada se procede al llenado de los recipientes para fermentación, se inoculan con la SCOBY madre y se llevan al respectivo equipo para realizar la fermentación hasta la aparición de los indicadores de tiempo antes mencionados.

Figura II-26: Kombuchas de los ensayos preliminares



Fuente: Elaboración Propia (2023).

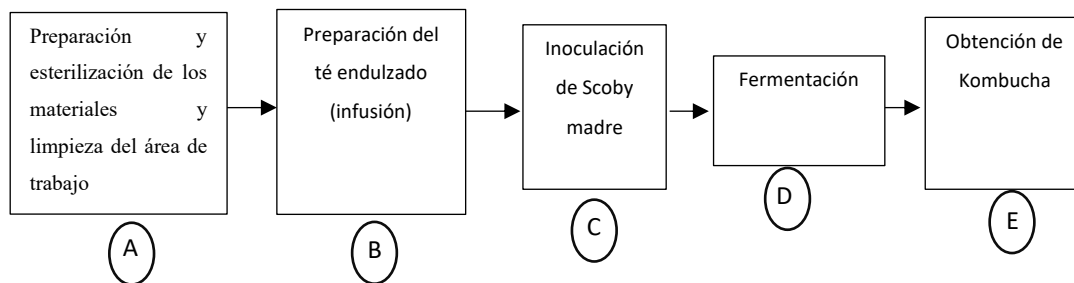
Se eligió azúcar de receta 1 (80g) y té de receta 2 (7g) a un tiempo de fermentación de 8 días y en conjunto a recomendaciones de recetas la temperatura de operación se define en 30° Celsius.

2.5. PROCESO PARA ELABORACIÓN DE KOMBUCHA

2.5.1. Diagrama de bloques

En el esquema 5, se halla resumido en diagrama de bloques el proceso general para la elaboración de Kombucha.

Esquema 5: Diagrama de bloques para elaboración de Kombucha



Fuente: Elaboración Propia (2023).

2.5.2. Descripción del bloque “A”

La preparación y esterilización de los materiales y limpieza del área de trabajo se comenzó con el lavado profundo de los recipientes de vidrio (Figura II-27) que hicieron la función de Biorreactores de flujo estacionario, también llamado por lotes (reactor batch), abiertos a la atmósfera y protegidos con una membrana esterilizada.

Figura II-27: Lavado de recipientes



Fuente: Elaboración Propia (2023)

El mesón de trabajo fue lavado con agua, luego con vinagre, después con alcohol potable de 96° y secado un paño limpio (Figura II-28).

Figura II-28: Material de limpieza



Fuente: imágenes referenciales de los materiales utilizados (2023)

Los utensilios como la cuchara, vaso para pesar el azúcar y la jarra metálica (Figura II-29) fueron lavados con abundante agua y esparcidos de alcohol potable de 96°, diluido hasta 70°, con un atomizador y secados al ambiente sobre un paño limpio.

Figura II-29: Utensilios para uso general



Fuente: imágenes referenciales de los materiales utilizados (2023).

Los recipientes fueron llevados a la autoclave a una temperatura de 121°C (grados Celsius) por un tiempo de 10 minutos (Figura II-30 y Figura II-31).

Figura II-31: canastilla llena de frascos para su esterilización



Fuente: Elaboración Propia

Figura II-30: Canastilla introducida a la autoclave



Fuente: Elaboración Propia

2.5.3. Descripción del bloque “B”

Con la jarra metálica limpia y seca, se le vertió la medida de agua de mesa para llevarla a punto de ebullición en conjunto a la cantidad de azúcar, pesada en balanza analítica, y té seleccionado.

Figura II-33: Azúcar pesado en balanza analítica



Fuente: Elaboración Propia

Figura II-32: Recipiente con agua a punto de ebullición



Fuente: Elaboración Propia

2.5.4. Descripción del bloque “C”

Cuando la infusión de té endulzada alcanzó una temperatura inferior a 25 °C mediante enfriamiento en baño maría, se procedió a inocular el SCOBY madre (Figura II-34) en la dosis necesaria.

Figura II-35: Solución de la infusión endulzada enfriada



Fuente: Elaboración Propia (2023)

Figura II-34: Kombucha madre



Fuente: Elaboración Propia (2023)

2.5.5. Descripción del bloque “D”

Los recipientes destinados como Biorreactores fueron llevados a estufa microbiológica a una temperatura dada por un tiempo determinado abiertos a la presión interna de la estufa y protegidos con una membrana esterilizada, teniendo como indicador de la fermentación el metabolito visible que es la capa de celulosa formada en la superficie del fluido.

Figura II-36: Frascos cubiertos dentro la estufa microbiológica



Fuente: Elaboración Propia (2023).

2.5.6. Descripción del bloque “E”

Concluido el criterio final (*Figura II-38*) para la fermentación se extrajo parte del fluido (*Figura II-37*), conocido como Kombucha, para su evaluación físico – química y sensorial.

Figura II-37: Producto finalizado



Fuente: Elaboración Propia

Figura II-38: Kombucha a trasluz



Fuente: Elaboración Propia

2.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Entre los parámetros identificados para el desarrollo de la parte experimental se eligieron:

- El tiempo de fermentación, medido en días.
- La temperatura de fermentación, medida en grados (°) Celsius.

Como el desarrollo microbiano no es lineal y su posible acción tampoco llegue a serlo se optará por un diseño factorial 3^k puesto que este diseño permite estudiar efectos de curvatura, efectos lineales y de interacción, como se nos indica en la sección de diseños factoriales 3^k del libro Análisis y diseño de experimentos (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2008).

$$3^k$$

Donde, 3 indica la cantidad de niveles y k el número de variables o factores.

En base a los ensayos preliminares se definió un tiempo de fermentación a una determinada temperatura, para un estudio acertado de estos parámetros se tendrá un diseño de dos factores con tres niveles (3^2), para recabar más datos se realizará una réplica o repetición.

$$3^2 = 9 * 2 \text{ repeticiones} = 18 \text{ experimentos}$$

Las variables serán las identificadas como los parámetros de Tiempo (a) y Temperatura (b) teniendo tres niveles para cada variable mencionada siendo estos: nivel medio (el definido para la fermentación), nivel bajo y nivel alto (Tabla II-6).

Tabla II-6: Niveles de las variables

Nivel	(a) Tiempo de fermentación (días)	(b) Temperatura de fermentación (°Celsius)
Inferior	5	26
Medio	8	30
Superior	11	34

Fuente: Elaboración Propia (2023)

En las tablas a continuación, tabla II-7 y tabla II-8, se denotan las variables en sus tres niveles a desarrollarse adjunta a una columna de variable respuesta, nivel inferior “-1”, nivel medio “0” y nivel superior “1”.

Tabla II-7: Combinaciones de variables

N	(a) Tiempo de fermentación (días)	(b) Temperatura de fermentación (° Celsius)	(c) Respuesta 1	(d) Respuesta 2	(e) Respuesta 3
1	-1	-1	W1	Y1	Z1
2	-1	0	W2	Y2	Z2
3	-1	+1	W3	Y3	Z3
4	0	-1	W4	Y4	Z4
5	0	0	W5	Y5	Z5
6	0	+1	W6	Y6	Z6
7	+1	-1	W7	Y7	Z7
8	+1	0	W8	Y8	Z8
9	+1	+1	W9	Y9	Z9
10	-1	-1	W10	Y10	Z10
11	-1	0	W11	Y11	Z11
12	-1	+1	W12	Y12	Z12
13	0	-1	W13	Y13	Z13
14	0	0	W14	Y14	Z14
15	0	+1	W15	Y15	Z15
16	+1	-1	W16	Y16	Z16
17	+1	0	W17	Y17	Z17
18	+1	+1	W18	Y18	Z18

Fuente: Elaboración Propia (2023)

Tabla II-8: combinación de variables con valores de tiempo y temperatura definidos

N	(a) Tiempo de fermentación (días)	(b) Temperatura de fermentación (° Celsius)	(c) Respuesta 1	(d) Respuesta 2	(e) Respuesta 3
1	5	26	W1	Y1	Z1
2	5	30	W2	Y2	Z2
3	5	34	W3	Y3	Z3
4	8	26	W4	Y4	Z4
5	8	30	W5	Y5	Z5
6	8	34	W6	Y6	Z6
7	11	26	W7	Y7	Z7
8	11	30	W8	Y8	Z8
9	11	34	W9	Y9	Z9
10	5	26	W10	Y10	Z10
11	5	30	W11	Y11	Z11
12	5	34	W12	Y12	Z12
13	8	26	W13	Y13	Z13
14	8	30	W14	Y14	Z14
15	8	34	W15	Y15	Z15
16	11	26	W16	Y16	Z16
17	11	30	W17	Y17	Z17
18	11	34	W18	Y18	Z18

Fuente: Elaboración Propia (2023).

2.7. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

Para realizar el balance de materia y energía del proceso se separó el cálculo en dos etapas:

- Preparación de la infusión endulzada.
- Fermentación en estufa microbiológica (incubadora).

Para una corrida de los nueve experimentos y como se consta con frascos de 750ml se estimó preparar un volumen final de 500ml de Kombucha, para lo cual se estimó el volumen total que se pretende obtener con la siguiente ecuación (ecuación 1):

$$V_T = N * V_F \quad \text{Ecuación 4: Volumen total}$$

Donde:

V_T : Volumen total final de una corrida en ml

N : Número de frascos (en base al diseño experimental)

V_F : Volumen de uso estimado para cada frasco en ml

$$V_T = 9 * 500ml$$

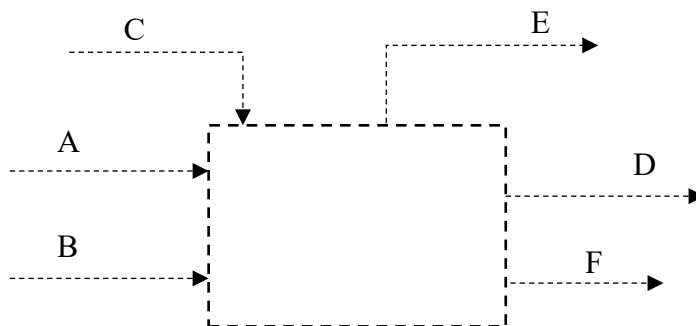
$$V_T = 4500ml$$

2.7.1. Balances en la preparación de la infusión endulzada

a. Balance de Materia

Para el balance de materia en la preparación de la infusión endulzada se considerarán tres corrientes de entrada (esquema 6), de las que se tiene la posibilidad de medir: la masa de agua a la entrada (A), la masa de la azúcar seca (B) y la masa del té seco en bolsas (C); y como salida se tiene identificadas tres corrientes: la solución endulzada (D), masa de agua evaporada (E) y el té húmedo en bolsas descartado (F).

Esquema 6: Diagrama de flujo para la preparación de la infusión



Se estableció la ecuación general para el balance de materia en la infusión endulzada, siendo este un proceso intermitente o por lotes, el balance se basa en la ley de la conservación de la materia según la cual los átomos no se crean ni se destruyen solo se transforman, los átomos del sistema entonces deben acumularse dentro del sistema o salir de él (Operaciones Unitarias (Transporte y almacenamiento de materiales), 2014).

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Acumulaciones}$$

Ecuación 5: Balance global en masa para la preparación de la infusión endulzada

(no se consideraron las acumulaciones en este trabajo)

$$(A + B + C) - (E + D + F) = \text{Acumulaciones}$$

$$A + B + C = E + D + F$$

Ecuación 6 Ecuación: Balance global en masa por Flujos de corriente

Puesto a que se añade alrededor del 10% de volumen de Kombucha madre (50ml por frasco) para así completar a los 500ml por frasco, para tal efecto la cantidad mínima por frasco de infusión endulzada se entendió por 450ml, considerando un exceso de 50ml de solución endulzada para cada frasco y así contar con un considerable margen ante los imprevistos:

$$V_{IE} = N * V_{IEF}$$

***Ecuación 7: Volumen de la infusión endulzada
requerido para la fermentación***

Donde:

V_{IE} : Volumen resultante de Infusión endulzada en ml

N: Número de frascos (en base al diseño experimental)

V_{IEF} : Volumen de infusión endulzada para cada frasco en ml

$$V_{IE} = 9 * 500ml$$

$$V_{IE} = 4500ml$$

Volumen resultante de la corriente D con exceso de solución endulzada para imprevistos

$$V_{IE} = 9 * 450ml$$

$$V_{IE} = 4050ml$$

Volumen resultante de la corriente D al límite inferior de volumen de la solución endulzada para lo requerido

Por lo tanto, el volumen de infusión endulzada debió de estar entre 4500 ml y 4050 ml con la concentración de Grados Brix ajustada de la receta elegida.

Los Grados Brix (°Brix) se definieron a un valor de 8 °Brix, así de la fórmula (ecuación 8) para Grados Brix podemos calcular la masa de azúcar (m_{az}):

$$oBrix = \frac{m_{az}}{m_{az} + m_{H2O}} * 100 \quad \text{Ecuación 8: Grados Brix}$$

Donde:

°Brix: Grados Brix

m_{az} : masa de azúcar

m_{H_2O} : masa de agua

$m_{az}+m_{H_2O}$: masa de solución endulzada

Despejando m_{az} de la ecuación 8:

$$8 = \frac{m_{az}}{m_{az} + m_{H_2O}} * 100$$

$$8 * (m_{az} + m_{H_2O}) = m_{az} * 100$$

$$8m_{az} + 8m_{H_2O} = 100m_{az}$$

$$8m_{H_2O} = 100m_{az} - 8m_{az}$$

$$8m_{H_2O} = 92m_{az}$$

$$m_{az} = \frac{8 * m_{H_2O}}{92} \quad \text{Ecuación 9: Cantidad de azúcar}$$

En la etapa preliminar del desarrollo experimental se tomaron los siguientes datos para ser considerados en el desarrollo experimental:

- 1) Cálculo de la densidad endulzada, se entiende por densidad a la relación de masa respecto a un determinado volumen (ecuación 10):

$$\delta = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 10: fórmula para densidad de soluciones líquidas}$$

Donde:

m: masa

V: volumen

Para un volumen de agua de 90ml, aprox. 90g según las tablas de propiedades del agua saturada (Çengel & Boles, 2015), y 8 °Brix (según la ecuación 9, fueron medidos 7,8gramos de azúcar) se midieron un volumen resultante de 94ml, entendiendo la densidad de la solución endulzada como:

$$\delta = \frac{(90 + 7,8)g}{94ml}$$

$$\delta = 1,04 \frac{g}{ml}$$

- 2) Se comprobó de forma empírica que en el proceso de la elaboración de infusión endulzada se llega a perder hasta alrededor de un 7% del volumen de agua en forma de vapor desde la primera medición para la preparación hasta el enfriamiento de la solución endulzada, por lo tanto, a la corriente A debe de añadirse un 7% de volumen extra sobre su volumen inicial para el desarrollo experimental.
- 3) Cálculo de la masa del flujo C, se pesó la masa de las bolsas de té antes de iniciar el proceso de infusión (1,8g por bolsa):

$$m_B = N_B * m_{PB}$$

Ecuación 11: masa bolsas de té

Donde:

m_B = masa total de las bolsas de té secas, en gramos

N_B = cantidad de bolsas utilizadas para la infusión

m_{PB} = masa promedio de las bolsas de té secas

$$m_B = 18 * 1,8g$$

$$m_B = 32,4g$$

Masa del flujo C

y luego se pesaron una vez enfriada la infusión endulzada y escurridas las bolsas de té, 9.1g en promedio por bolsa, y como diferencia de masas (masa de bolsa escurrida húmeda con infusión absorbida menos masa de bolsas de té seca) se obtuvo una masa promedio de 7,3g de solución absorbida por bolsa de té. En la etapa experimental se utilizaron 18 bolsas de té, por lo tanto:

$$m_{BE} = N_B * m_{PBE}$$

Ecuación 12: masa de bolsas escurridas

Donde:

m_{BE} = masa total de las bolsas escurridas, en gramos

N_B = cantidad de bolsas utilizadas para la infusión

m_{PBE} = masa promedio de las bolsas escurridas húmedas con infusión absorbida

$$m_{BE} = 18 * 9,1g$$

$$m_{BE} = 163,8g$$

Masa del flujo F

- 4) Cálculo de la masa del flujo B, de la ecuación 6 conocemos que para determinada masa de agua se requiere determinada masa de azúcar para cumplir el requerimiento de la concentración en la solución endulzada:

$$m_{az} = \frac{8 * m_{H_2O}}{92}$$

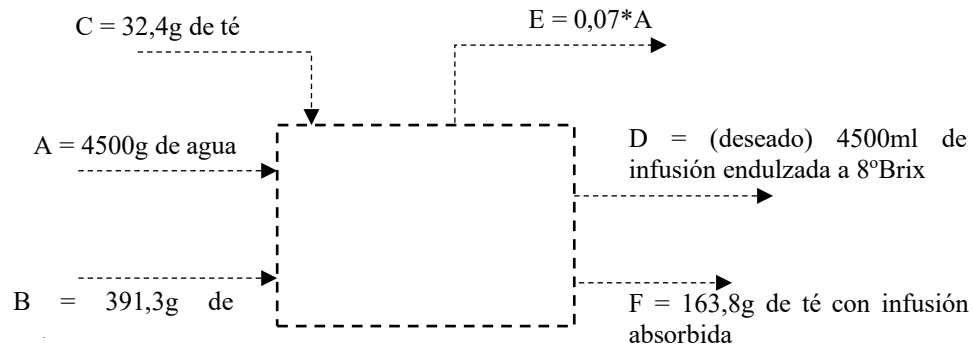
$$m_{az} = \frac{8 * 4500g}{92}$$

$$m_{az} = 391,304g$$

Masa del flujo B

Con los datos y ecuaciones presentadas se establecieron las corrientes de la siguiente forma:

Esquema 7: Diagrama de flujo con incógnita de la masa y volumen de la solución endulzada



En la ejecución de la etapa experimental se desarrolló bajo las siguientes corrientes de entrada:

La masa de agua a la entrada (A): $4500g + 315g = 4815g$

La masa de la azúcar seca (B): 391,3g

La masa del té seco en bolsas (C): 32,4g

Los grados Brix a la entrada se determina con la ecuación 5:

$$oBrix = \frac{391,3g}{391,3g + 4815g} * 100$$

$$oBrix = 7,52$$

Y las corrientes de salida:

Solución endulzada (D) medida en volumen deseado mínimo: 4500ml

Masa de agua evaporada (E) estimada: 337,05g

Té húmedo en bolsas descartado (F): 163,8g

De la ecuación 3 despejamos el flujo D:

$$D = A + B + C - E - F$$

$$D = 4815g + 391,15g + 32,4g - 337,05g - 163,8g$$

$$D = 4737,85g$$

Para determinar los grados Brix de la solución endulzada resultante se debe de considerar que parte de la solución endulzada se halla en el flujo F, la solución endulzada es prácticamente agua con azúcar y la cantidad de té extraído no se llegaría a considerar versus la cantidad de solución endulzada absorbida en las bolsas de té.

$$SEf = D + F - C$$

Donde

SEf = Solución Endulzada final

$$SEf = 4737,85g + 163,8 - 32,4g$$

$$SEf = 4869,25g$$

Los grados Brix a la salida se determina con la ecuación 5:

$$oBrix = \frac{391,3g}{4869g} * 100$$

$$oBrix = 8,03$$

Dada la concentración de la solución endulzante podemos considerar la densidad de 1,04g/ml por lo tanto de la ecuación 7 el volumen resultante del flujo D vendría dado por:

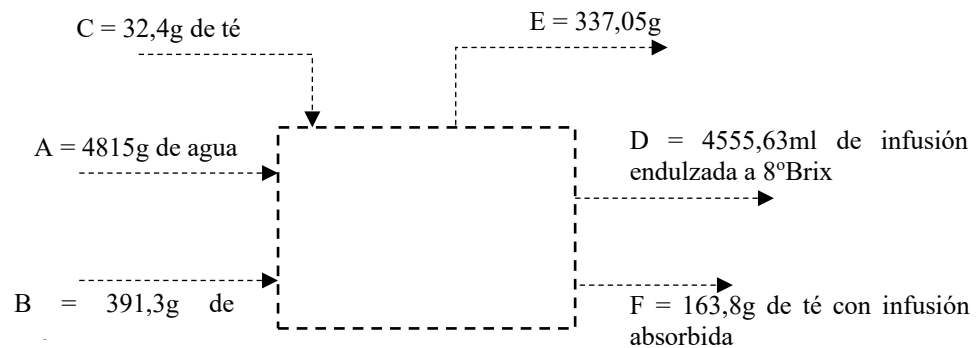
$$V = \frac{m}{\delta}$$

$$V = \frac{4737,85g}{1,04g/ml}$$

$$V = 4555,625ml$$

Con un volumen de 4550 ml medidos experimentalmente, dejando el diagrama de flujo como se muestra en el esquema 8.

Esquema 8 Diagrama de flujo para balance de masa



b. Balance de Energía

En el balance de energía para la preparación de la infusión endulzada se realizó en tres etapas: calentamiento de la solución con azúcar, hervor de la solución para realización de la infusión y enfriamiento de la solución, para lo cual consideramos los siguientes datos:

Temperatura inicial del agua para la solución: 18°C.

Temperatura de ebullición de la solución: 94,6°C.

Masa inicial de la solución: 4815g

Potencia de la hornilla para el proceso: 1000 W.

Tiempo del hervor: 10 minutos como mínimo.

Temperatura objetivo de enfriamiento: 25°C

Temperatura del agua de red para enfriamiento: 16°C

Calor específico del agua: 4,18 J/(gC)

Calor latente de vaporización del agua: 2257 J/g

Debido a limitaciones físicas del tamaño de los recipientes respecto al calentador se dividió la en dos partes iguales el volumen de la solución endulzada para su calentamiento y posterior hervor.

Desde la primera ley de la termodinámica (ecuación 10), conocida como principio de conservación de la energía (Cengel & Ghajar, Primera ley de la termodinámica, 2011) podemos definir para un sistema cerrado:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Energía total} \\ \text{que entra en el} \\ \text{sistema} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Energía total} \\ \text{que sale del} \\ \text{sistema} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Cambio en la} \\ \text{energía total} \\ \text{del sistema} \end{array} \right)$$

$$E_{ent} - E_{sal} = \Delta E_{sistema}$$

***Ecuación 13: planteamiento general de la
Primera ley de la termodinámica***

Descartando la pérdida de calor del sistema hacia el ambiente debido a la complicación en la medición de este valor y posteriormente para un sistema cerrado estacionario y sin trabajo que cruce la frontera tenemos que la energía recibida viene dada por la cantidad de calor intercambiado:

$$E_{ent} = \Delta E_{sistema}$$

$$E_{ent} = \Delta U \quad \textbf{Ecuación 14: balance de energía para sistema cerrado}$$

Si en el cambio de energía de energía interna no ocurre el cambio de fase y como los calores específicos de las sustancias incompresibles solo dependen de la temperatura, tendremos a la Ecuación 15 como:

$$\Delta U = m * c * \Delta T$$

$$E_{ent} = m * c * \Delta T$$

***Ecuación 15: Energía suministrada al sistema
en función de la masa***

Donde:

m = masa

c = calor específico

ΔT = variación de la temperatura (T final -T inicial)

La ebullición depende del calor latente de vaporización y en las condiciones de equilibrio la temperatura se considera constante (Cengel & Ghajar, Ebullición y condensación, 2011) tenemos la Ecuación 16:

$$E_{ent} = m * h_{fg} \quad \textbf{Ecuación 16: Calor latente para Evaporación}$$

Donde:

m = masa

h_{fg} = calor latente de vaporización del agua

Para el presente trabajo se descartó el cálculo de la energía suministrada al metal del caldero donde se llevó a cabo la preparación de la infusión endulzada y se consideró solo el calor suministrado al fluido.

Balance para el calentamiento:

De la Ecuación 14 podemos obtener que la energía para el calentamiento (E_{cal}):

$$E_{ent} = m * c * \Delta T$$

$$E_{cal} = 4815g * 4,18 \frac{J}{g \text{ } ^\circ C} * (94,6 - 18)^\circ C$$

$$E_{cal} = 1541705,22 \text{ J}$$

$$E_{cal} = 1541,71 \text{ KJ}$$

Balance para el hervor

Haciendo uso de la Ecuación 16, y considerando que hasta ese punto no se logró estimar la pérdida de masa por evaporación se tomó la masa inicial, tendremos la energía para evaporación (E_{evp}):

$$E_{evp} = m * h_{fg}$$

$$E_{evp} = 4815g * 2257 \frac{J}{g}$$

$$E_{evp} = 10867455 J$$

$$E_{evp} = 10867,5 KJ$$

Balance para enfriamiento

Una vez evaporada cierta cantidad de masa y partiendo de la Ecuación 13 y descartando las pérdidas de energía al ambiente y acomodando según la Ecuación 15, tendremos que la energía de enfriamiento (E_{enf}) como cantidad de calor en función a la masa de agua para enfriamiento:

$$E_{ent} - E_{sal} = \Delta E_{sistema}$$

$$E_{ent} = \Delta E_{sistema}$$

$$E_{enf} = E_{sistema}$$

$$E_{enf} = m * c * \Delta T$$

$$E_{enf} = 4737,85g * 4,18 \frac{J}{g C} * (25 - 94,6)C$$

$$E_{enf} = -1378373,2248J$$

$$E_{enf} = -1378,37 KJ$$

Como el signo es negativo se entiende por calor cedido de la solución endulzada hacia el agua de enfriamiento, de la Ecuación 15 podemos hallar la masa de agua necesitada para el enfriamiento (tomando a E_{enf} con signo positivo):

$$E_{enf} = m * c * \Delta T$$

$$\frac{E_{enf}}{c * \Delta T} = m_{H_2O}$$

$$m_{H_2O} = \frac{1378373,2248J}{4,18 \frac{J}{g \text{ } ^\circ C} * (25 - 16)^\circ C}$$

$$m_{H_2O} = 36639,37\bar{3}g$$

$$m_{H_2O} = 36,639 Kg$$

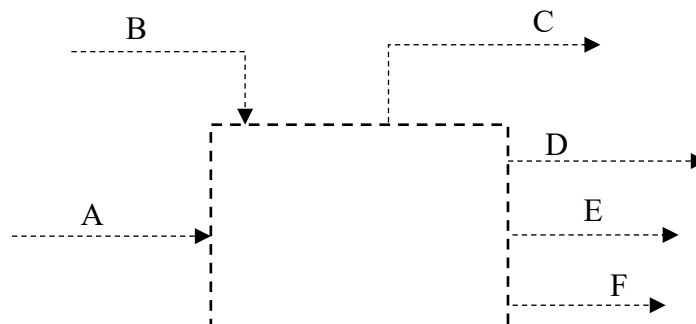
2.7.2. Balances de la fermentación en estufa microbiológica

Como las variables de control fueron dadas para la fermentación (tiempo y temperatura) se presentan múltiples resultados y se mostrarán en este segmento en forma de tablas para los resultados relevantes.

a. Balance de Materia

La fermentación se llevó a cabo en recipientes de vidrio 700ml en estufa microbiológica como se indica en la “descripción del bloque D” en el punto 2.5.5 del presente trabajo.

Esquema 9, diagrama de flujo para fermentación en estufa



Fuente: elaboración propia (2023)

Dejando el diagrama de flujo para fines ilustrativos (Esquema 9) en donde podemos definir como los flujos siguientes: infusión endulzada adicionada con Kombucha madre (A), aire ingresado a la estufa (B), gases de fermentación (C), celulosa formada por fermentación (D), Kombucha resultante por fermentación (E) y sólidos decantados (F).

De la ecuación 2, y bajo la misma consideración de no tomar en cuenta las acumulaciones, tenemos la siguiente ecuación para cada recipiente:

$$A + B = C + D + E + F$$

***Ecuación 17: balance global para
recipientes de fermentación***

Cabe en resaltar las siguientes consideraciones para completar lo mejor posible los flujos para el balance global:

- 1) Tomando en cuenta que el flujo A, está compuesto por 450 ml de la solución de té endulzado y 50 ml de Kombucha madre con una densidad promedio de 1,33 g/ml, como la densidad de la solución endulzada se tomó 1,04 g/ml por medición empírica (punto 1 del balance de materia en balance en la preparación de la infusión endulzada) se calculó la densidad de la mezcla, flujo A:

El volumen total para cada recipiente es definido por la suma de las dos soluciones:

$$450 \text{ ml} + 50 \text{ ml} = 500 \text{ ml}$$

$$m_{en} + m_{km} = m_A \quad \textbf{Ecuación 18: cálculo de masa
para cada recipiente}$$

Donde:

m_{en} : masa de la infusión endulzada

m_{km} : masa de Kombucha madre

m_A : masa del flujo A

De la Ecuación 10: fórmula para densidad de soluciones líquidas, se puede inferir que la masa se puede representar en la Ecuación 19: densidad del flujo A como:

$$\delta_{en} * 450 \text{ ml} + \delta_{km} * 50 \text{ ml} = \delta_A * 500 \text{ ml}$$

Ecuación 19: densidad del flujo A

Donde:

δ_{en} : densidad de la infusión endulzada (1,04 g/ml)

δ_{km} : densidad de Kombucha madre (1,033g/ml)

δ_A : densidad del flujo A

Reemplazando datos y despejando δ_A de la ecuación 16:

$$\delta_A = \frac{1,04 \frac{g}{ml} * 450 \text{ ml} + 1,033g/ml * 50 \text{ ml}}{500 \text{ ml}}$$

$$\delta_A = 1,0393 \text{ g/ml}$$

y por ende con el uso de la Ecuación 10: fórmula para densidad de soluciones líquidas una masa del flujo A de:

$$m_A = 519,65 \text{ g}$$

- 2) Se descartó del cálculo valor del flujo B dada su dificultad para la medición, pero estimando su exceso respecto al oxígeno que aporta el aire para la fermentación aerobia.
- 3) No se midió el valor del flujo F dado que se debería usar métodos de separación que impliquen trasvase.

Como el tipo de fermentación fue aeróbico, sin burbujeo mecánico sino de aire ingresado a la estufa microbiológica por su respirador de forma no forzada, no se logró medir la cantidad de CO₂ que se supone fue producida en la fermentación, pero la variación de los grados Brix (tabla II-9) y la celulosa (tabla II-10) fueron medidas para cada variación.

Tabla II-9: Respuestas de grados Brix según el tiempo de fermentación y la temperatura de la estufa

Grados Brix (Brix)	Temperatura 26 °C	Temperatura 30 °C	Temperatura 34 °C
Día 5	Brix11	Brix12	Brix13
Día 8	Brix21	Brix22	Brix23
Día 11	Brix31	Brix32	Brix33

Fuente: elaboración propia (2023)

Tabla II-10: Respuestas de masa de celulosa seca formada

Masa de Celulosa (Mc)	Temperatura 26 °C	Temperatura 30 °C	Temperatura 34 °C
Día 5	Mc11	Mc12	Mc13
Día 8	Mc21	Mc22	Mc23
Día 11	Mc31	Mc32	Mc33

Fuente: elaboración propia (2023)

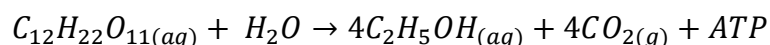
b. Balance de Energía

El fluido debió de ser colocado al interior de una estufa microbiológica desde una temperatura de 25°C a 26, 30 y 34°C en sus recipientes que contienen una masa aproximada de 520g, o 500ml de solución inoculada.

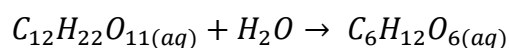
Los cálculos del calor se realizaron respecto a tres conceptos (Calor metabólico, Calor de incubadora y pérdidas):

- 1) Calor Metabólico, dado que el metabolismo se da a nivel celular entendido como el conjunto de reacciones químicas gracias al flujo de energía y la participación de enzimas, puede darse en dos procesos calor: Catabólico y Anabólico.

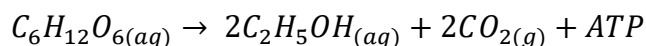
En lo catabólico, se tienen al menos dos tipos de fermentación y una hidrólisis de la sacarosa y un paso intermedio en la oxidación de alcoholes primarios en ácido acético:



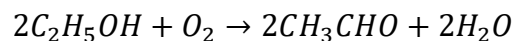
***Ecuación 20: fermentación de Sacarosa
por acción enzimática de levaduras***



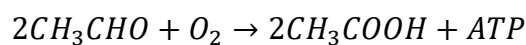
***Ecuación 21: hidrólisis de Sacarosa
por enzimas microbianas***



***Ecuación 22: fermentación de
Glucosa por acción microbiana***



Ecuación 23: oxidación de etanol



***Ecuación 24: oxidación de etanal
en ácido acético***

En lo anabólico, no se tiene constatado otra formación de compuestos más que la celulosa bacteriana.

- 2) Calor de incubadora (estufa microbiológica), por ser un artefacto eléctrico se utiliza la ecuación de energía eléctrica (Ecuación 25: ecuación para Energía eléctrica) y los datos recogidos en tabla II-7, en el que este calor es entendido como la energía de entrada:

$$E = P * t$$

***Ecuación 25: ecuación para
Energía eléctrica***

Donde:

E: Energía eléctrica de la estufa (en Joules, J) [Qe xx]

P: Potencia del equipo declarada en etiqueta del fabricante (en Watts, W)

t: tiempo de operación indicado por luz de activación en el equipo (en segundos,s)

Tabla II-11: Respuestas de consumo energético

Energía e. de la estufa (Qe)	Temperatura 26 °C	Temperatura 30 °C	Temperatura 34 °C
Día 5	Qe11	Qe12	Qe13
Día 8	Qe21	Qe22	Qe23
Día 11	Qe31	Qe32	Qe33

Fuente: elaboración propia (2025)

- 3) Pérdidas, para estimarlas podemos basarnos en el despeje de la siguiente ecuación de balance de energía en la estufa microbiológica (Ecuación 26):

$$Q_{\text{entrada}} = Q_{\text{útil}} + Q_{\text{pérdidas}}$$

Ecuación 26: balance general de energía en la estufa

Donde:

Q_{entrada} : Energía suministrada por el equipo (en Joules, J) [Q_e xx]

$Q_{\text{útil}}$: Energía necesaria para mantener la temperatura al interior de la estufa (en Joules, J) [Q_u xx]

$Q_{\text{pérdidas}}$: energía transmitida a las paredes del equipo y transferida al ambiente por la chimenea de ventilación (en Joules, J) [Q_p xx]

Para calor útil tenemos que:

$$Q_{\text{útil}} = \sum m_A c_{p_{k,f}} \Delta T + \sum m_{rec} c_{p_v} \Delta T$$

Ecuación 27: energía cedida a la solución endulzada inoculada y a los recipientes

Donde:

$Q_{\text{útil}}$: Energía necesaria para mantener la temperatura al interior de la estufa (en Joules, J) [Q_u xx]

m_A : masa la infusión endulzada inoculada

c_{p_k} : calor específico de la infusión endulzada asumido como el cp del agua (4,18 J/gC)

ΔT : variación de la temperatura

m_{rec} : masa del recipiente

c_{p_v} : calor específico del frasco de vidrio (0.84 J/gC)

Tabla II-12: Respuestas requerimiento energético de los recipientes con la infusión endulzada inoculada

Energía requerida (Qu)	Temperatura 26 °C	Temperatura 30 °C	Temperatura 34 °C
Día 5	Qu11	Qu12	Qu13
Día 8	Qu21	Qu22	Qu23
Día 11	Qu31	Qu32	Qu33

Fuente: elaboración propia (2025)

Finalmente, para el cálculo de las pérdidas despejamos de la Ecuación 26 la energía perdida, teniendo así la Ecuación 28:

$$Q_{\text{pérdidas}} = Q_{\text{entrada}} - Q_{\text{útil}}$$

Ecuación 28: Energía cedida a las paredes y al exterior

Tabla II-13: Respuestas de las pérdidas estimadas

Energía requerida (Qp)	Temperatura 26 °C	Temperatura 30 °C	Temperatura 34 °C
Día 5	Qp11	Qp12	Qp13
Día 8	Qp21	Qp22	Qp23
Día 11	Qp31	Qp32	Qp33

Fuente: elaboración propia (2025)

CAPÍTULO III

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Resultados del proceso de fermentación

Tomando en cuenta que los datos tomados tabulados en la tabla 18, entendidos como datos iniciales, para así tener la comparativa y evidencia de procesos existentes en un lapso de tiempo determinado, se obtuvieron los siguientes datos con el fin de caracterizar el producto terminado:

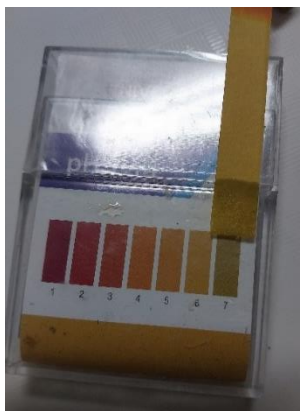
Tabla III-1: Datos iniciales de los fluidos

Sustancia	pH	temperatura	Brix	acidez total
té endulzado	6,5	25 C	8	<1 g/L
Kombucha madre	3,5	18 C	10	14 g/L
infusión inoculada	5	25 C	8,2	2 g/L

Fuente: elaboración propia (2023-2024)

El pH fue medido con papel indicador (Figuras III-1, 2 y 3) y un potenciómetro de bolsillo (Figura III-5), la temperatura fue anotada de la pantalla del refractómetro (Figura III-4) y de la pantalla de un termómetro digital (Figura III-6), los grados Brix fueron anotados de la pantalla de un refractómetro (Figura III-5) del LOU y la acidez total (como ácido acético) fue calculada por mi persona por titulación con hidróxido de Sodio (NaOH) en instalaciones del CEANID (Figura III-7):

Figura III-39: papel indicador con pH 7 aprox.



Fuente: elaboración propia (2023).

**Figura III-41: papel
indicado con pH 3 aprox.**



Fuente: elaboración propia (2023)

**Figura III-40: papel
indicador con pH 5 aprox.**



**Figura III-43: Potenciómetro de
bolsillo**



Fuente: elaboración propia (2023)

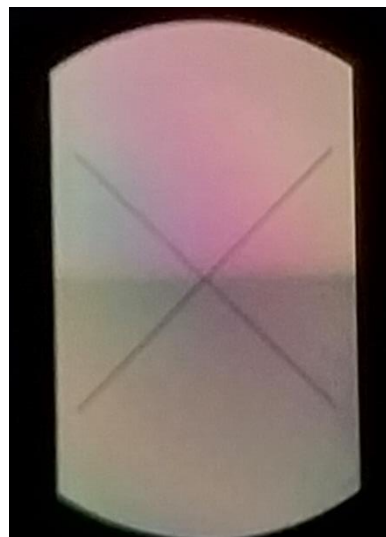
**Figura III-42: refractómetro
digital ABBE**



Fuente: elaboración propia (2023)

Figura III-45: termómetro digital

Fuente: elaboración propia (2023)

Figura III-44: línea de demarcación ocular del refractómetro

Fuente: elaboración propia (2023)

En lo que respecta a la titulación Acido-Base para la determinación de acidez total, utilizó el método descrito a continuación:

- Dependiendo del caso se toma una muestra para ser directamente titulada o tomar una porción de la muestra para aforar a un volumen determinado.
- Se llena la bureta con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) con una concentración de 0.1 N y un factor determinado.
- Verter la muestra a ser analizada dentro de un matraz de tamaño conveniente para la agitación.
- Añadir de 2 a 3 gotas de fenolftaleína al 1%.
- Añadir el titulante hasta el viraje a color rosa con permanencia mayor a 10 segundos

Para estimar la cantidad de ácido acético en las muestras se utiliza la siguiente fórmula:

$$m_{a.ac} = V_t * PM * N * f * 1000 * \left(\frac{V_L}{V_m} \right) * \frac{1}{n}$$

Ecuación 29: cálculo de acidez total

Donde:

$m_{a.ac}$: masa de ácido acético en mg/L.

V_t : Volumen gastado del titulante en ml.

PM: Peso Molecular del ácido acético en g/mol.

N: concentración Normal del titulante en mol/L.

f : factor de corrección para el titulante, adimensional.

V_L : Volumen al cual es llevado la muestra en ml.

V_m : Volumen tomado de la muestra en ml.

n : alícuota de V_L/V_m tomada.

Ejemplo:

$m_{a.ac}$: ¿?

V_t : 0.15 ml.

PM: 60 g/mol.

N: 0.1 mol/L.

f : 0.9859.

V_L : 25 ml.

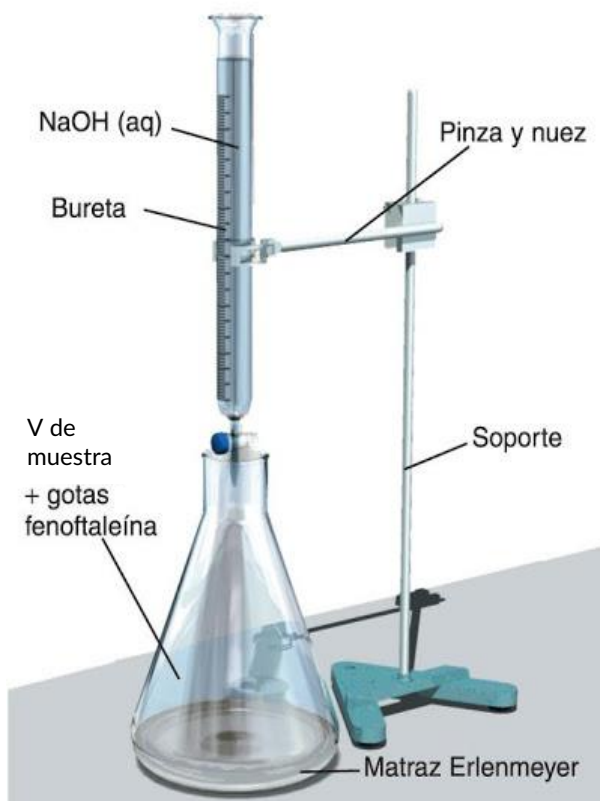
V_m : 0.5 ml.

n : 3 ml.

$$m_{a.ac} = 0.15 \text{ ml} * 60 \text{ g/mol} * 0.1 \text{ mol/L} * 0.9859 * 1000 * \left(\frac{25}{0.5} \right) * \frac{1}{3 \text{ ml}}$$

$$m_{a.ac} = 14788,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de a. ac} = 14,79 \text{ g/L}$$

Figura III-46: esquema demostrativo del material para titulación Ácido-Base



Fuente: Internet (2025)

3.1.1. Resultados de la fermentación para el balance de materia

Para las respuestas se obtuvieron los datos de grados Brix (c), pH (d) y masa de celulosa pesada en seco (e), no se tomó el cálculo de acidez desde un principio dado en acceso y costo de materiales.

Tabla III-2: Combinación de variables con tiempo - temperatura con respuestas

Nº	(a) Tiempo de fermentación (días)	(b) Temperatura de fermentación (° Celsius)	(c) Brix	(d) pH	(e) masa de celulosa en gramos
1	5	26	7,20	4,20	0,50
2	5	30	8,00	3,90	0,70
3	5	34	8,90	4,40	0,90
4	8	26	7,60	3,30	0,60
5	8	30	9,80	3,30	1,40
6	8	34	10,10	4,00	1,40
7	11	26	7,80	3,80	1,60
8	11	30	10,40	3,40	1,40
9	11	34	8,40	3,20	2,30
10	5	26	7,80	4,30	0,55
11	5	30	8,20	4,40	0,60
12	5	34	8,50	4,50	0,80
13	8	26	7,90	3,20	0,70
14	8	30	9,40	3,60	1,50
15	8	34	9,80	3,80	1,50
16	11	26	7,60	3,60	1,70
17	11	30	10,10	3,50	1,30
18	11	34	9,00	3,30	1,90

Fuente: elaboración propia (2023)

Con lo cual las tablas II-5 y II-6 fueron llenadas con los datos obtenidos por la primera corrida de experimentos y su réplica, los grados Brix fueron leídos de un refractómetro previamente indicado relleno así a la tabla III-3:

Tabla III-3: respuestas de primera corrida con grados Brix

Grados Brix (Brix)	Temperatura 26 °C	Temperatura 30 °C	Temperatura 34 °C
Día 5	7,20	8,00	8,90
Día 8	7,60	9,80	10,10
Día 11	7,80	10,40	8,40

Fuente: elaboración propia (2023)

Tabla III-4:respuestas de réplica con grados Brix

Grados Brix (Brix)	Temperatura 26 °C	Temperatura 30 °C	Temperatura 34 °C
Día 5	7,80	8,20	8,50
Día 8	7,90	9,40	9,80
Día 11	7,60	10,10	9,00

Fuente: elaboración propia (2023)

Las tablas de pH fueron añadidas en esta sección a manera de mantener un esquema similar en la lectura de las respuestas y tener registro para la comparación con productos comerciales:

Tabla III-5: datos leídos de pH para la primera corrida

pH	Temperatura 26 °C	Temperatura 30 °C	Temperatura 34 °C
Día 5	4,20	3,90	4,40
Día 8	3,30	3,30	4,00
Día 11	3,80	3,40	3,20

Fuente: elaboración propia (2023)

Tabla III-6: datos leídos de pH para la réplica

pH	Temperatura 26 °C	Temperatura 30 °C	Temperatura 34 °C
Día 5	4,30	4,40	4,50
Día 8	3,20	3,60	3,80
Día 11	3,60	3,50	3,30

Fuente: elaboración propia (2023)

La masa de celulosa se pesó una vez esta fue retirada de los recipientes de vidrio y secada sobre un paño en estufa a 50 °C por una hora y enfriadas al ambiente, rellenando así a la tabla III-7 y tabla III-8:

Tabla III-7: datos de masa de celulosa en gramos para la primera

Masa de Celulosa (Mc)	Temperatura 26 °C	Temperatura 30 °C	Temperatura 34 °C
Día 5	0,50	0,70	0,90
Día 8	0,60	1,40	1,40
Día 11	1,60	1,40	2,30

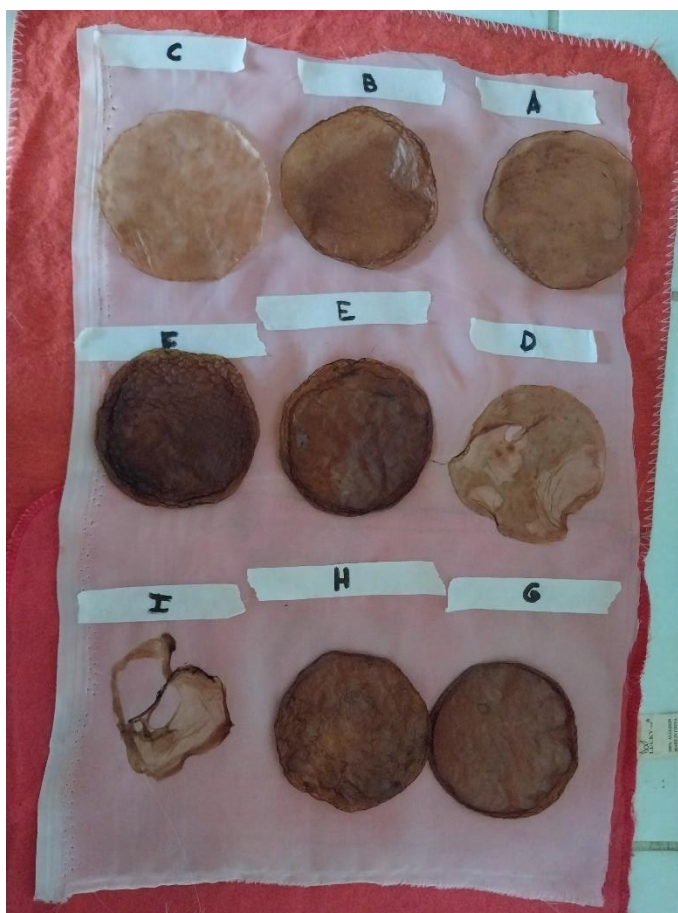
Fuente: elaboración propia (2023)

Tabla III-8: datos de masa de celulosa en gramos para la réplica

Masa de Celulosa (Mc)	Temperatura 26 °C	Temperatura 30 °C	Temperatura 34 °C
Día 5	0,55	0,60	0,80
Día 8	0,70	1,50	1,50
Día 11	1,70	1,30	1,90

Fuente: elaboración propia (2023).

Figura III-47: celulosas secadas sobre paño



Fuente: Elaboración Propia (2023)

3.1.2. Resultados de la fermentación para el balance de energía

No fue posible estimar la cantidad de calor generado por la fermentación y/o la oxidación del alcohol.

En lo que respecta al calor suministrado por la incubadora se midió el tiempo de funcionamiento tanto al arranque del equipo como por lapsos de 2 horas cada 3 horas para una temperatura de 34 °C establecida en la incubadora, dejando la siguiente tabla:

Tabla III-9: Tiempo de funcionamiento registrado de la incubadora

	Arranque	día 2	día 3	día 4	día 5	día 6	día 7	día 8	día 9	día 10	día 11
hora	min	min	min	min	min	min	min	min	min	min	min
7	-	3	4	-	-	-	5	-	-	5	-
8	10	2	-	-	3	-	5	-	-	-	4
9	2	-	-	-	4	-	-	4	-	-	3
10	-	-	-	4	-	-	-	4	3	-	-
11	-	-	2	3	-	-	-	-	2	-	-
12	-	3	2	-	-	-	2	-	-	4	-
13	2	2	-	-	2	-	2	-	-	2	3
14	2	-	-	-	3	-	-	3	-	-	2
15	-	-	-	2	-	-	-	2	2	-	-
16	-	-	3	2	-	-	-	-	2	-	-
17	-	2	2	-	-	-	3	-	-	3	-
18	3	2	-	-	5	-	4	-	-	2	2
19	3	-	-	-	3	-	-	4	-	-	3
20	-	-	-	4	-	-	-	3	4	-	-
21	-	-	5	5	-	-	-	-	5	-	-
total	22	11	9	15	20	0	16	20	13	11	17

Fuente: elaboración propia (2023)

Donde la columna hora se trata de la hora del día en la que se registró el tiempo total que permanecía encendida la luz del equipo para determinado día; ejemplo:

El día 2 después de las 8 y antes de las 9 se registró un total aproximado de 2 minutos en los cuales la luz se encendía indicando el suministro de energía.

El tiempo registrado promediado fue de 15,4 minutos (sin tomar en cuenta al día 6), como se trató del registro de 6 de las 14 horas en las que se podía tener acceso libre al

laboratorio se considera multiplicar por 2 y como en la noche y madrugada no se tomó datos se multiplicó adicionalmente 2,5 más, teniendo:

$$t_{est} = t_{prom} * 2 * 2,5$$

Donde:

t_{est} : tiempo estimado de funcionamiento de la incubadora.

t_{prom} : tiempo promedio de funcionamiento registrado.

$$t_{est} = 15,4min * 2 * 2,5$$

$$t_{est} = 15,4min * 2 * 2,5$$

$$t_{est} = 77 \text{ min por día}$$

Para la energía suministrada por la incubadora fue casi independiente al número de recipientes en su interior, por lo que los datos registrados dieron una suma que representó la potencia suministrada por la incubadora:

Tabla III-10: potencia estimada suministrada durante 5 a 11 días por la estufa en KJ

Energía e. de la estufa (Qe)	Temperatura 26 °C	Temperatura 30 °C	Temperatura 34 °C
Día 5	Qe11	Qe12	2772
Día 8	Qe21	Qe22	1663,2
Día 11	Qe31	Qe32	1663,2
KJ total			6098,4

Fuente: elaboración propia (2025).

Donde consideramos el valor de la columna temperatura a 34 °C para los demás valores puesto que fue el más alto a considerar, resultando el valor acumulado hasta el día 11 y multiplicado por 3, sabiendo que 1000 KJ equivalen a 0.277778 KW-H:

$$\text{Energía consumida} = 6098,4 \text{ KJ} * 3 * \frac{0,277778 \text{ KW} - H}{1000 \text{ KJ}}$$

$$\text{Energía consumida} = 18295,2 \text{ KJ} * \frac{0,277778 \text{ KW} - H}{1000 \text{ KJ}}$$

$$\text{Energía consumida} = 5,08 \text{ KW} - H$$

Para calor útil tenemos de la ecuación 24 que:

$$Q_{\text{útil}} = \sum m_A c_{p_{k,f}} \Delta T + \sum m_{\text{rec}} c_{p_v} \Delta T$$

Donde:

$Q_{\text{útil}}$: Energía necesaria para mantener la temperatura al interior de la estufa (en Joules, J) [Qu xx]

m_A : masa la infusión endulzada inoculada 519,65 g multiplicado por la cantidad de recipientes según el día (hasta el día 5 se tienen 3 recipientes, hasta el día 8 se tienen 2 recipientes y hasta el día 11 se tiene 1 recipiente al interior de la incubadora).

c_{p_k} : calor específico de la infusión endulzada asumido como el cp del agua (4,18 J/gC)

ΔT : variación de la temperatura de 25 C a 34 C para el arranque

m_{rec} : masa del recipiente 422 g multiplicado por la cantidad de recipientes según el día (hasta el día 5 se tienen 3 recipientes, hasta el día 8 se tienen 2 recipientes y hasta el día 11 se tiene 1 recipiente al interior de la incubadora).

c_{p_v} : calor específico del frasco de vidrio (0.84 J/gC)

Tabla III-11: energía estimada requerida para mantener la temperatura a 34 °C en KJ

Energía requerida (Qu)	Temperatura 26 °C	Temperatura 30 °C	Temperatura 34 °C
Día 5	Qu11	Qu12	341,093295
Día 8	Qu21	Qu22	136,437318
Día 11	Qu31	Qu32	68,218659
KJ total			545,749272

Fuente: elaboración propia (2025)

De similar forma a la energía suministrada para el calor útil multiplicaremos por 3 para el acumulado de 11 días, teniendo una estimación elevada:

$$\text{Energía requerida} = 545,74 \text{ KJ} * 3$$

$$\text{Energía requerida} = 1637,247 \text{ KJ}$$

Para las pérdidas presentamos la tabla III-12 de donde según la Ecuación 28 (Energía cedida a las paredes y al exterior) estimamos las pérdidas por una diferencia entre la energía suministrada menos la energía útil requerida:

Tabla III-12: pérdidas estimadas de energía

Energía requerida (Qp)	Temperatura 26 °C	Temperatura 30 °C	Temperatura 34 °C
Día 5	Qp11	Qp12	2430,90671
Día 8	Qp21	Qp22	1526,76268
Día 11	Qp31	Qp32	1594,98134
KJ total			5552,65073

Fuente: elaboración propia (2025).

$$\text{Energía perdida} = (6098,4\text{KJ} - 545,74\text{ KJ}) * 3$$

$$\text{Energía perdida} = 5552,65\text{ KJ} * 3$$

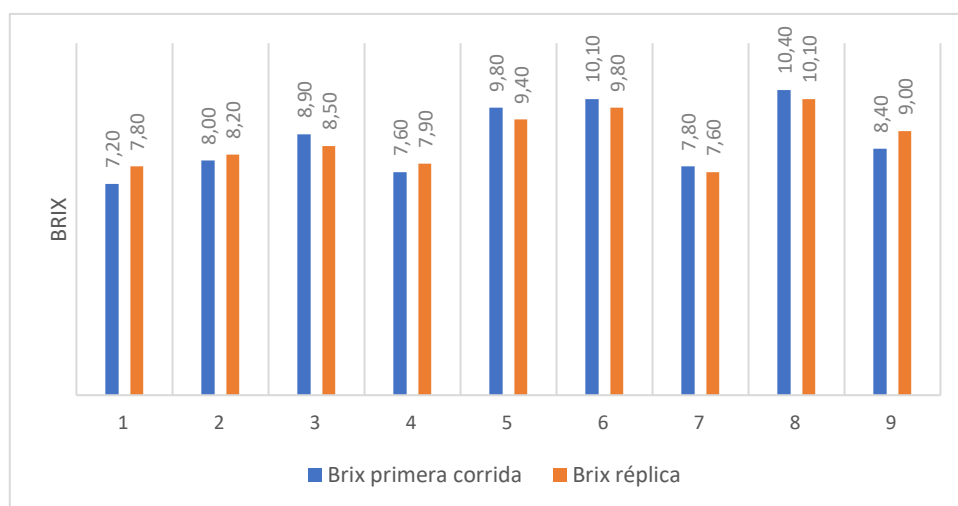
$$\text{Energía perdida} = 16657,95\text{ KJ}$$

3.2. Análisis del proceso de fermentación

Si bien logró alcanzar los rangos de pH de productos comerciales adquiridos (pH 3 – 4,5) y los grados Brix (7 – 10 Brix), se obtuvo un crecimiento favorable del biofilm de celulosa que se considera un metabolito de crecimiento bacteriano y una reducción al valor del pH.

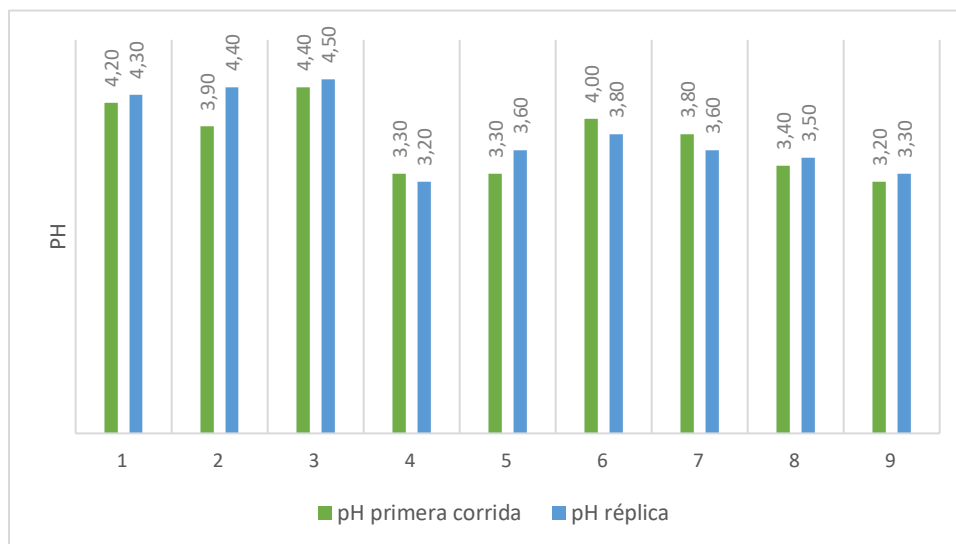
Se logró casi reproducir exactamente los resultados por el cuidado de posición hacia la puerta donde se piensa había mayor pérdida de calor:

Figura III-48: gráfico de barras Brix



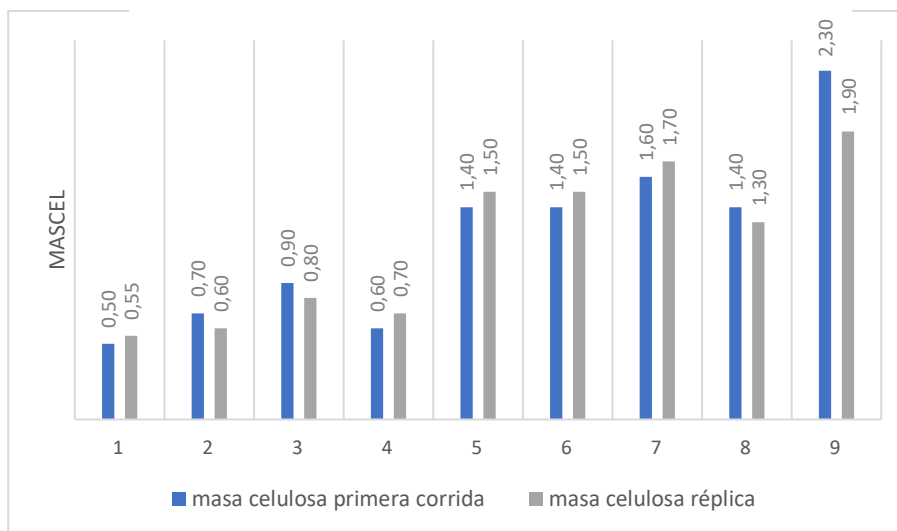
Fuente: Elaboración propia (2023).

Para pH también se obtuvo una reproducción de datos casi sin variación quizá por tener una Kombucha madre lo suficientemente madura y suficiente para los 9 experimentos por corrida:

Figura III-49: gráfico de barras pH

Fuente: Elaboración propia (2023)

En los resultados de masa de celulosa se obtuvieron datos, a diferencia de Brix y pH, un poco variados por causas aún no determinadas al momento de realizar la transcripción:

Figura III-50: gráfico de barras masa de celulosa

Fuente: Elaboración Propia (2023).

3.3. Análisis estadístico del diseño factorial

3.3.1. Análisis de varianza ANOVA del diseño factorial

Con el software IBM SPSS se realizó el análisis de varianza, modelo lineal general multivariante con los datos de la tabla 19 tomando como factores fijos al tiempo con los días 5, 8 y 11 como -1, 0 y 1 respectivamente; y a las Temperaturas 26 °C, 30 °C y 34 °C como -1, 0 y 1 respectivamente, según lo indicado en la tabla II-3; y variables dependientes a Brix, pH y masa de celulosa, analizadas en la tabla III-9:

Tabla III-12: ANOVA de tres variables

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	Brix	16.954 ^a	8	2,119	27,444	0,000
	pH	3.208 ^b	8	0,401	15,356	0,000
	massCel	4.683 ^c	8	0,585	45,317	0,000
Intersección	Brix	1360,681	1	1360,681	17620,324	0,000
	pH	254,627	1	254,627	9751,681	0,000
	massCel	25,323	1	25,323	1960,527	0,000
tiempo	Brix	3,321	2	1,661	21,504	0,000
	pH	2,468	2	1,234	47,255	0,000
	massCel	3,152	2	1,576	122,011	0,000
Temperatura	Brix	9,938	2	4,969	64,345	0,000
	pH	0,108	2	0,054	2,064	0,183
	massCel	0,839	2	0,419	32,462	0,000
tiempo * Temperatura	Brix	3,696	4	0,924	11,964	0,001
	pH	0,632	4	0,158	6,053	0,012
	massCel	0,692	4	0,173	13,398	0,001
Error	Brix	0,695	9	0,077		
	pH	0,235	9	0,026		
	massCel	0,116	9	0,013		
Total	Brix	1378,330	18			
	pH	258,070	18			
	massCel	30,123	18			
Total corregido	Brix	17,649	17			
	pH	3,443	17			
	massCel	4,799	17			

a. R al cuadrado = .961 (R al cuadrado ajustada = .926)
 b. R al cuadrado = .932 (R al cuadrado ajustada = .871)
 c. R al cuadrado = .976 (R al cuadrado ajustada = .954)

Fuente: elaboración propia con SSPS (2023)

Como se logró casi replicar de forma exacta la primera corrida tanto los factores fijos como la interacción de estos son significativas excepto para el pH respecto a la temperatura, se procede a realizar un nuevo análisis:

Tabla III-13: ANOVA con dos variables

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	Brix	16.954 ^a	8	2,119	27,444	0,000
	massCel	4.683 ^b	8	0,585	45,317	0,000
Intersección	Brix	1360,681	1	1360,681	17620,324	0,000
	massCel	25,323	1	25,323	1960,527	0,000
tiempo	Brix	3,321	2	1,661	21,504	0,000
	massCel	3,152	2	1,576	122,011	0,000
Temperatura	Brix	9,938	2	4,969	64,345	0,000
	massCel	0,839	2	0,419	32,462	0,000
tiempo * Temperatura	Brix	3,696	4	0,924	11,964	0,001
	massCel	0,692	4	0,173	13,398	0,001
Error	Brix	0,695	9	0,077		
	massCel	0,116	9	0,013		
Total	Brix	1378,330	18			
	massCel	30,123	18			
Total corregido	Brix	17,649	17			
	massCel	4,799	17			

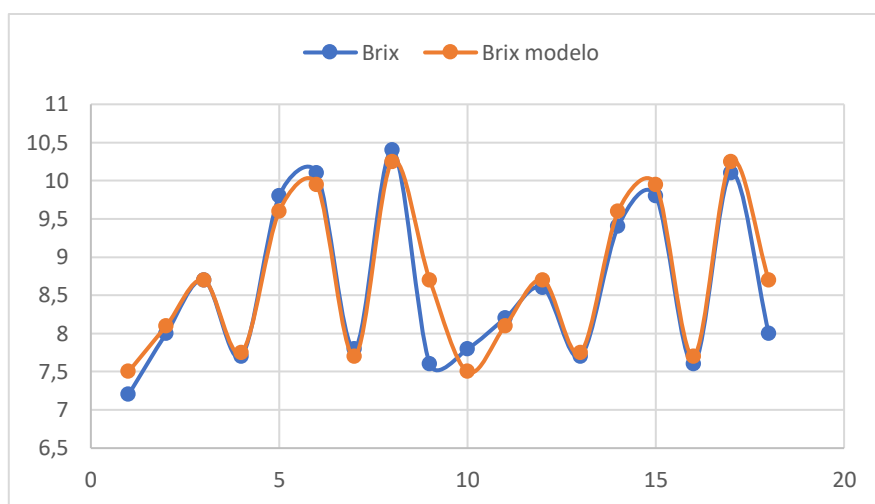
a. R al cuadrado = .961 b. R al cuadrado = .976

(R al cuadrado ajustada = .926) (R al cuadrado ajustada = .954)

Fuente: elaboración propia con SPSS (2025).

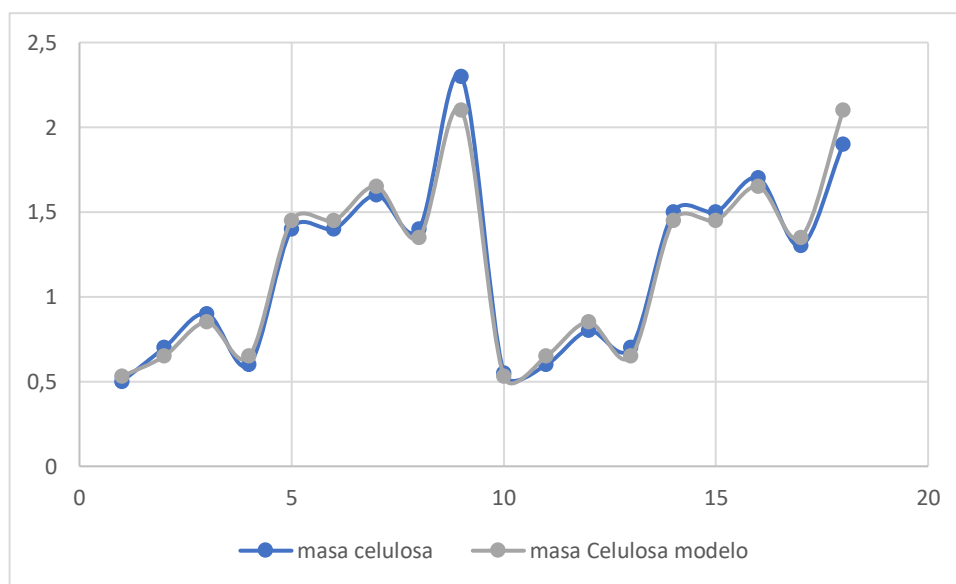
Presentando los datos obtenidos versus el modelo corregido de para cada variable significativa:

Figura III-51: Brix medidos versus ajustados



Fuente: Elaboración propia (2025)

Figura III-52: masa de celulosa medida versus ajustada



Fuente: elaboración propia (2025)

3.4. Jurado organoléptico

Nuevamente, si bien logró alcanzar los rangos de pH de productos comerciales adquiridos (pH 3 – 4,5) y los grados Brix (7 – 10 Brix) la definición del mejor producto vino dado de forma subjetiva por un jurado organoléptico (también llamado panel sensorial) considerado no entrenado para no hacer un doble análisis, puesto que sí habían jurados que tenían entrenamiento en análisis sensorial:

Como primer paso y sin conocimiento de cualquiera de los miembros del jurado se realizó un sorteo de forma aleatoria con la herramienta función “aleatorio entre” de la hoja de cálculo Excel para cada recipiente de forma previa al día de la degustación, donde el orden se estableció de las letras A hasta la I:

Tabla III-14: Asignación de letras

	26	30	34
5	D	C	A
8	I	G	B
11	H	E	F

Fuente: elaboración propia (2023)

El modelo de la cartilla de calificación fue el siguiente:

Tabla III-15: Cartilla de degustación

Nombre

Edad

MUESTRA	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Dulzor									
Astringencia									
Acidez									
Aroma									
Color									
Sabor									

Calificación									
--------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: elaboración propia (2023)

Donde las puntuaciones de la primera parte de la cartilla con características (dulzor, Astringencia, etc.) iban del 1 al 5, entendiendo por gusto subjetivo que:

1: era rechazo, 2: no es de su buen gusto, 3: le es indiferente, 4: lo halla de buen gusto y 5: es de su agrado.

La parte segunda tenía por objeto contrastar aún más la subjetividad teniendo de similar forma 5 puntuaciones calificando de forma general a la muestra:

MM: muy malo, M: malo, R: regular, B: bueno, MB: muy bueno.

Fueron recogidas 26 encuestas el día 21 de julio del 2023 desde horas 9:00 a 19:00 en instalaciones del LOU en la UAJMS, aclarando que no se siguió un orden exhaustivo alfabético y se les concedió repetir la degustación de la muestra que pidiese el jurado organoléptico

Se consideró un factor según determinada característica para que la suma de la puntuación multiplicada por el factor y dividido entre 100 de como resultado un puntaje base para realizar la suma:

Tabla III-16: factor de evaluación

CARACTERÍSTICA	FACTOR
Dulzor	15
Astringencia	17
Acidez	17
Aroma	16
Color	15
Sabor	20

Fuente: Elaboración propia (2023).

Recabada la información y tabulados los datos se procedió a realizar la suma y posterior multiplicación por el factor correspondiente:

Tabla III-17: Datos tabulados correspondientes a la muestra A

	No	Dulzor	Astringenc	Acidez	Aroma	Color	Sabor	Calificación
1	1	5	5	5	5	5	5	5
2	2	5	3	5	5	5	5	2
3	3	3	3	4	2	2	2	0
4	4	3	5	3	1	2	3	0
5	5	4	4	3	3	2	4	0
6	6	3	3	3	3	4	4	5
7	7	4	3	4	4	3	4	5
8	8	2	4	3	4	5	3	-2
9	9	3	5	3	2	1	4	0
10	10	4	5	3	2	2	4	-5
11	11	4	3	3	4	5	4	5
12	12	3	2	3	3	3	4	2
13	13	2	1	2	3	3	4	0
14	14	2	2	1	4	2	4	0
15	15	1	0	3	5	4	4	2
16	16	3	4	2	4	5	4	2
17	17	3	2	2	3	3	4	5
18	18	4	3	1	4	3	4	2
19	19	5	4	5	4	4	5	5
20	20	3	1	2	3	5	3	-2
21	21	2	2	2	3	3	3	2
22	22	1	2	1	3	5	3	0
23	23	2	1	1	2	1	2	0
24	24	5	1	1	3	4	5	2
25	25	2	4	3	4	3	3	0
26	26	5	5	5	5	5	5	5
27	27							
28	28							
29	29							
30	30							

Fuente: elaboración propia (2023)

Tabla III-18: Resumen de datos y suma de puntuaciones parciales

MUESTRA	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Dulzor	12,45	13,05	12,45	13,5	8,7	11,4	13,65	12,6	11,7
Astringencia	13,09	13,94	13,09	11,9	12,07	13,77	12,41	11,39	11,39
Acidez	12,41	13,6	13,6	13,09	12,24	13,6	13,09	11,9	13,6
Aroma	14,08	12,16	13,92	14,24	11,84	13,44	12,8	13,12	13,6
Color	13,35	13,2	13,95	14,55	12,15	12	12,75	13,65	14,1
Sabor	19,8	17,4	17,6	17,4	13	16,6	17,8	17	17
Suma	85,18	83,35	84,61	84,68	70	80,81	82,5	79,66	81,39

Fuente: elaboración propia (2023).

Hasta ese punto la muestra favorita, por muy poco, era la muestra A, con la evaluación de calificación por muestra se definió la muestra elegida:

Tabla III-19: resumen de calificación

MUESTRA	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Calificación	40	20	21	33	-31	28	21	19	-7

Fuente: Elaboración propia (2023).

Por lo tanto, la calificación y la puntuación por características coinciden en la muestra seleccionada como favorita (muestra A) así como en la muestra con mayor rechazo (muestra E).

Perteneciendo esta muestra favorita a un tiempo de fermentación de 5 días y una temperatura de fermentación de 34 C, su pH correspondía a 4,4 y sus grados Brix 8,9.

CAPÍTULO IV

COSTOS DEL PROYECTO

4. COSTOS

Para determinar costos totales se establecieron tablas separadas según el tipo de gastos.

La primera tabla presenta costos de materiales e insumos básicos:

Tabla IV-1: costos básicos

ÍTEM	DETALLE	CANTIDAD	PRECIO u. (bs)	PRECIO (bs)
1	botellón agua 5 litros	4	15	60
2	caja de té 1	1	10	10
3	caja de té 2	1	12	12
4	caja de té 3	1	10	10
5	caja de té Windsor grande	1	35	35
6	azúcar 1 Kg	3	7	21
7	vasos tequileros	18	1,5	27
8	servilletas rollo doble	2	16	32
9	paños de tela	3	5	15
10	tela cobertora 1 mt	1	6	6
11	ligas de sujeción	25	0,5	12,5
12	frascos	20	12	240
13	alcohol al 96 1L	1	13	13
14	vinagre al 5% 1L	1	8	8
15	detergente neutro 500ml	1	15	15
	sub total			516,5

Fuente: Elaboración propia (2023).

Se adquirió del mercado regional una serie de Kombuchas para tener una madre madura y estable:

Tabla IV-2: costos Kombucha madre

ÍTEM	DETALLE	CANTIDAD	PRECIO u. (bs)	PRECIO (bs)
1	Kombucha madre A 1L	1	40	40
2	Kombucha madre B 1L	1	35	35
3	Kombucha madre C 0,75L	1	25	25
	sub total			100

Fuente: Elaboración propia (2023).

Costos indirectos, anotados como estimados y no determinados de forma exacta:

Tabla IV-3: costos indirectos

ÍTEM	DETALLE	CANTIDAD	PRECIO u. (bs)	PRECIO (bs)
1	Impresión	3	50	150
2	transporte diario 5 meses	80	2	160
3	internet 5 meses	5	150	750
4	imprevistos	1	300	300
	sub total			1360

Fuente: elaboración propia (2023).

Costo de energía eléctrica, estimado según balances en la preparación de la infusión endulzada y la fermentación en incubadora:

Tabla IV-4: Energía eléctrica estimada que se consumió

ÍTEM	DETALLE	ENERGÍA KJ	ENERGÍA KW-H
1	Energía para calentar el agua	1541,71	
2	Energía para mantener el hervor	10867,5	
3	Energía consumida por la incubadora	18295,2	
subtotal		30704,41	6,8246

Fuente: elaboración propia (2023)

El costo de energía eléctrica se cálculos mediante la página web de AUTORIDAD DE FISCALIZACIÓN DE ELECTRICIDAD Y TECNOLOGÍA NUCLEAR en su sección para SETAR, seleccionando 7 KW-H y categoría General 1:

Figura *¡Error! No hay texto con el estilo*

www.aetrn.gob.bo/acoe/Categorias/index?dglg=SETAR&logo_dir=img_empresa=setar.png&sistema=SIN&razon_social=Servicio

SETAR Servicios Eléctricos de Tarija

A continuación copie los datos de la factura que desea verificar para saber si su proveedor (SETAR) ha realizado un cobro indebido.

1. Año: 2025

2. Mes de facturación: Julio

3. Categoría: [Donde encuentre la categoría?](#) GENERAL 1 - PD G BT

4. ¿Calcular descuento 3ra edad? ☐ No

5. ¿Tiene más de una cuenta a su nombre? ☐ No

Consumo de energía (en kWh): 7

Calcular Factura

Terminos de Usos Política de Privacidad [Servicio Web](#) [Contacto](#)
Oficina central: La Paz | Correo electrónico: sech@nucleo.bo | Línea gratuita: 800 10 2407
© 2014-2024 Autoridad de Fiscalización de Electricidad y Tecnología Nuclear. Todos los derechos reservados.

Fuente: internet (2025)

Figura IV-2: Monto calculado en el portal web



Fuente: internet (2025).

Para tener un monto del gasto de agua se contempla el costo de entre 0 a 10 m³:

Tabla IV-5: costo de agua para refrigeración

ÍTEM	DETALLE	CANTIDAD kg	m³	PRECIO DE 0-10 m³ (bs)
1	agua de refrigeración	36,639	0,036639	0,7
	sub total			0,02565

Fuente: elaboración propia (2023).

Los análisis fueron llevados al CEANID aprovechando el descuento a estudiantes de tecnología del 60%:

Tabla IV-6: costos de análisis de laboratorio

ÍTEM	DETALLE	CANTIDAD	PRECIO u. (bs)	PRECIO (bs)
1	acidez total	1	30	30
2	Azucares reductores	1	90	90
3	pH	1	20	20
4	E. coli	1	100	100
5	Moho y levaduras	1	100	100
6	acidez titulable	1	50	50
7	azucares totales	1	100	100
subtotal				490
descuento 60%				196

Fuente: elaboración propia (2023).

Por lo tanto, el costo estimado del proyecto se entiende como la suma de los costos tabulados anteriormente en sus subtotales:

Tabla IV-7: costos totales

ÍTEM	DETALLE	Bs.
1	varios	516,5
2	Kombucha	100
3	imprevistos	1360
4	electricidad	33,88
5	agua	0,02565
6	análisis CEANID	196
total		2206,41

Fuente: elaboración propia (2023).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El trabajo con microorganismos requiere mucho cuidado puesto que si no les da las condiciones que estos requieren su medio es demasiado susceptible a contaminación por agentes microbianos no deseados, el enmascaramiento de microorganismos es otro detalle a tomar en cuenta puesto que no se debe de depender de una sola variable como la temperatura, el tiempo de residencia en el medio del microorganismo, el pH o la concentración de sólidos sino que es una conjunción de todas las variables mencionadas ya sean estas tomadas como fijas o dependientes.

Se observó el desarrollo microbiano por evidencia de la formación de la película de celulosa flotante (biofilm), la producción de otros ácidos orgánicos interfiere en la determinación de acidez, grados Brix y apreciación en la lectura del pH dado que demora en alcanzar estabilidad para su lectura.

El porcentaje alcohólico resultó menor al 2% y en fermentación a altas temperaturas debe de cortarse la fermentación en cadena de frío inferior a 15 C, se corre el riesgo de un crecimiento bacteriano acelerado y un agotamiento de las levaduras presentando un aroma a reducido (sulfurado).

La inocuidad es fundamental en la elaboración del producto debido a que está orientado al consumo humano.

Se demostró por el panel sensorial (jurado organoléptico) que existe variación de características al cambiar el tiempo y temperatura de fermentación para la Kombucha, aunque la muestra elegida fue la de menor valor de acidez, en relación a la lectura del pH, el carácter de la bebida producida es avinagrado y de sensación refrescante.

5.2. Recomendaciones

Se insta a continuar la investigación de la cosecha de la película de celulosa para el desarrollo de otros materiales.

El campo en el estudio de los probióticos es ideal para el producto elaborado, se sugiere un trabajo en conjunto multidisciplinario.

Es preciso tener control en la fermentación anaerobia y aerobia para una mejor selección de los microorganismos

La producción de Kombucha es una buena base para macerados frutales, pero debería investigarse su acción con oleaginosas y granos en general.