

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

**EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE SACAROSA POR
JARABE DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) EN LAS
CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS,
ANTIOXIDANTES, CINÉTICA DE BIOMASA Y
SENSORIALES DE UNA BEBIDA TIPO KOMBUCHA**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Autores : Bach. Sonia Estefanía Díaz Aranda
Bach. Elva Seleni Cercado Saucedo**

**Asesores : Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce
Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano**

Línea de investigación: LI_HIA_02 Desarrollo y Caracterización de Productos

JAÉN - PERÚ

2026

Sonia Díaz Aranda Y Elva Cercado Saucedo

EFFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE SACAROSA POR JARABE DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) EN LAS CARACTERÍSTICAS ...

 Quick Submit

 Quick Submit

 Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3604329081

101 páginas

Fecha de entrega

30 jun 2026, 1:02 p.m. GMT-5

27.012 palabras

Fecha de descarga

30 jun 2026, 1:06 p.m. GMT-5

146.563 caracteres

Nombre del archivo

Seleni_Cercado_Saucedo_Informe_-_ELVA_SELENI_CERCADO_SAUCEDO.pdf

Tamaño del archivo

3.6 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN


Dra. *María Marleni Torres Cruz*
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN


Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 30 de junio del año 2026, siendo las 11:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Dra. María Alina Cueva Ríos

Secretario: Dr. Juan Dario Rios Mera

Vocal: Mg. Juan de Dios Mendoza Seclén, para evaluar la Sustentación de:

() Trabajo de Investigación

(☒) Tesis

() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE SACAROSA POR JARABE DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) EN LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS, ANTIOXIDANTES, CINÉTICA DE BIOMASA Y SENSORIALES DE UNA BEBIDA TIPO KOMBUCHA", presentado por las tesisistas **Sonia Estefanía Díaz Aranda** y **Elva Seleni Cercado Saucedo**, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(☒) Aprobar () Desaprobar (☒) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|---|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (☒) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 12:03 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

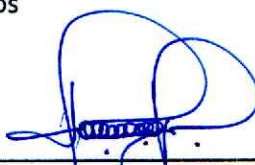
Jaén, 30 de junio de 2026



Dra. María Alina Cueva Ríos
Presidente



Dr. Juan Dario Rios Mera
Secretario



Mg. Juan de Dios Mendoza Seclén
Vocal

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Sonia Estefanía Díaz Aranda, Bachiller de la carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 72655913.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE SACAROSA POR JARABE DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS, ANTIOXIDANTES, CINÉTICA DE BIOMASA Y SENSORIALES DE UNA BEBIDA TIPO KOMBUCHA”.

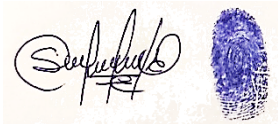
Asesorado por el Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce y el Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 11 de agosto del 2026



Sonia Estefanía Díaz Aranda

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Elva Seleni Cercado Saucedo, Bachiller de la carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 71052553.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE SACAROSA POR JARABE DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS, ANTIOXIDANTES, CINÉTICA DE BIOMASA Y SENSORIALES DE UNA BEBIDA TIPO KOMBUCHA”.

Asesorado por el Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce y el Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero en Industrias Alimentarias.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.

3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.

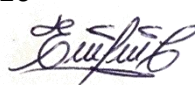
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.

6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 11 de agosto del 2026



Elva Seleni Cercado Saucedo

ÍNDICE

RESUMEN	6
ABSTRACT.....	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. MATERIALES Y MÉTODOS	11
2.1. Lugar de ejecución	11
2.2. Material	11
2.3. Métodos	12
2.3.1. Elaboración de la bebida tipo kombucha.....	12
2.3.2. Características fisicoquímicas de la bebida tipo kombucha	15
2.3.3. Características antioxidantes de la bebida tipo kombucha	18
2.3.4. Cinética de crecimiento de biomasa	22
2.3.5. Características sensoriales de la bebida tipo kombucha	23
2.3.6. Diseño experimental	28
2.3.7. Análisis de datos.....	28
III. RESULTADOS	30
3.1. Características fisicoquímicas de la bebida tipo kombucha.....	30
3.2. Características antioxidantes de la bebida tipo kombucha.....	36
3.3. Cinética de crecimiento de biomasa.....	37
3.4. Características sensoriales de la bebida tipo kombucha	39
IV. DISCUSIÓN	45
4.1. Características fisicoquímicas de la bebida tipo kombucha.....	45
4.2. Características antioxidantes de la bebida tipo kombucha.....	49
4.3. Cinética de crecimiento de biomasa.....	52
4.4. Características sensoriales de la bebida tipo kombucha	54
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
5.1. Conclusiones	59
5.2. Recomendaciones.....	60
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
DEDICATORIA	75
ANEXOS	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Formulación porcentual de los tratamientos de bebida tipo kombucha	12
Tabla 2	Agentes microbianos con límites microbiológicos correspondiente al grupo de Bebidas no carbonatadas.....	23
Tabla 3	Descriptores obtenidos de ALP	26
Tabla 4	Influencia de los tratamientos y de los días de fermentación en los sólidos solubles y fructosa de la bebida tipo kombucha.....	31
Tabla 5	Influencia de los tratamientos y de los días de fermentación en azúcares reductores, acidez titulable y pH, de la bebida tipo kombucha	32
Tabla 6	Influencia de los tratamientos y de los días de fermentación en los parámetros colorimetría de la bebida tipo kombucha.....	34
Tabla 7	Influencia de los tratamientos y de los días de fermentación en la capacidad antioxidante y fenoles totales, de la bebida tipo kombucha.....	36
Tabla 8	Parámetros estimados del modelo de Gompertz del crecimiento de biomasa.....	39
Tabla 9	Resultados de análisis microbiológicos.....	39
Tabla 10	Distribución de los descriptores de aroma y significancia de cada descriptor	42
Tabla 11	Distribución de los descriptores de color y significancia de cada descriptor	42
Tabla 12	Distribución de los descriptores de sabor y significancia de cada descriptor	43
Tabla 13	Distribución de los descriptores de sensación en boca y significancia de cada descriptor.....	43
Tabla 14	Distribución de los descriptores de textura y significancia de cada descriptor ...	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Flujograma de la elaboración de la bebida tipo kombucha.....	13
Figura 2 Esquema gráfico del proceso de elaboración de la bebida tipo kombucha con sustitución parcial o total de sacarosa por jarabe de yacón.....	15
Figura 3 Curva de calibración para capacidad antioxidante.....	20
Figura 4 Curva de calibración para contenido total de fenoles	21
Figura 5 Evolución de los parámetros fisicoquímicos de la bebida tipo kombucha	30
Figura 6 Color de los tratamientos durante los días 0, 4, 6, 8 y 10 de la fermentación.	34
Figura 7 Evolución de capacidad antioxidante de las bebidas tipo kombucha, a través de los días de observación.	37
Figura 8 Crecimiento exponencial de biomasa	38
Figura 9 Aceptabilidad de los tratamientos	40
Figura 10 Influencia de los descriptores en la aceptabilidad de los tratamientos	41
Figura 11 Análisis de correspondencia entre los descriptores sensoriales y los tratamientos.	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Elaboración de la bebida tipo kombucha con jarabe de yacón	77
Anexo 2	Determinación de métodos analíticos	79
Anexo 3	Análisis microbiológicos y evaluación sensorial.....	81
Anexo 4	Determinación de la cinética de crecimiento.....	82
Anexo 5	Ficha Técnica del Jarabe de Yacón	83
Anexo 6	Ficha Técnica del consorcio microbiano SCOBY	84
Anexo 7	Constancia de aprobación del proyecto por el Comité de Ética en Investigación	87
Anexo 8	Ficha informativa y Consentimiento de Información.....	88
Anexo 9	Ficha de Evaluación Sensorial para determinación de atributos sensoriales.....	89
Anexo 10	Tabla de promedios de la capacidad antioxidante expresada en porcentaje de inhibición	90
Anexo 11	Temperaturas tomadas del ambiente donde se realizó el proceso de fermentación	91
Anexo 12	Capturas de pantalla del formulario virtual realizado en la plataforma SurveyMonkey para el llenado de la ficha CATA.....	92
Anexo 13	Prueba de supuestos de normalidad y homocedasticidad de los tratamientos dentro de cada día (considerando un nivel de significancia de 0.05).....	94
Anexo 14	Prueba de supuestos de normalidad y homocedasticidad de los días dentro de cada tratamiento (considerando un nivel de significancia de 0.05)	95
Anexo 15	Análisis de efectos de los días dentro de cada tratamiento (considerando un nivel de significancia de 0.05)	96
Anexo 16	Análisis de efectos de los tratamientos dentro de cada día (considerando un nivel de significancia de 0.05)	97
Anexo 17	Regresión logística binaria: Aceptabilidad vs. Miel; Cítrico; Avinagrado; Fermentado; Acaramelado; Amarillento; Turbio; Oscuro; Afrutado; Dulce; Ácido; Agridulce; Astringente; Refrescante; Amargo; Viscoso; Líquido	98
Anexo 18	Test de Q de Cochran para los descriptores sensoriales	101
Anexo 19	Test de Friedman para aceptabilidad sensorial.....	101

RESUMEN

La kombucha es una bebida fermentada elaborada con té negro, sacarosa y fermentado con cultivo iniciador y un consorcio simbiótico denominado Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast (SCOBY). En los últimos años, esta bebida ha despertado interés científico y ha generado el desarrollo de nuevas formulaciones orientadas a mejorar el valor nutricional y sensorial. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la sustitución de sacarosa por jarabe de yacón (*Smallantus sonchifolius*) en las características fisicoquímicas, antioxidantes, sensoriales y la cinética de crecimiento de biomasa de una bebida tipo kombucha. Se formularon cuatro tratamientos: T0 (10% sacarosa y 0% jarabe de yacón, tratamiento control), T1 (8% sacarosa y 2% jarabe de yacón), T2 (4% sacarosa y 6% jarabe de yacón) y T3 (0% sacarosa y 10% jarabe de yacón) evaluados durante 10 días de fermentación. Se observó una disminución progresiva del pH y sólidos solubles e incremento de la acidez titulable. T3 presentó mayor contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante. Asimismo, la cinética de crecimiento mostró mayor desarrollo de biomasa en tratamientos con sustitución parcial de sacarosa. Sensorialmente, los atributos “afrutado” y “dulce” se asociaron positivamente con la aceptabilidad, mientras que oscuro y astringente mostraron asociación negativa.

Palabras clave: aceptabilidad sensorial, capacidad antioxidante, cinética de crecimiento, fenoles totales, *Smallantus sonchifolius*

ABSTRACT

Kombucha is a fermented beverage made from black tea and sucrose, fermented using a starter culture and a symbiotic consortium known as the Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast (SCOBY). In recent years, this beverage has attracted scientific interest and has led to the development of new formulations aimed at improving its nutritional and sensory value. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of replacing sucrose with yacon syrup (*Smallanthus sonchifolius*) on the physicochemical, antioxidant, and sensory characteristics, as well as the biomass growth kinetics, of a kombucha-type beverage. Four treatments were formulated: T0 (10% sucrose and 0% yacon syrup, control treatment), T1 (8% sucrose and 2% yacon syrup), T2 (4% sucrose and 6% yacon syrup), and T3 (0% sucrose and 10% yacon syrup and), evaluated over 10 days of fermentation. A progressive decrease in pH and soluble solids and an increase in titratable acidity were observed. T3 exhibited higher total phenolic content and antioxidant capacity. Likewise, growth kinetics showed greater biomass development in treatments with partial sucrose substitution. Sensory analysis revealed that the attributes “fruity” and “sweet” were positively associated with acceptability, while “dark” and “astringent” showed a negative association.

Keywords: sensory acceptability, antioxidant capacity, growth kinetics, total phenols, *Smallanthus sonchifolius*

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el interés por el consumo de productos que aporten beneficios nutricionales ha experimentado un notable incremento, evidenciando una creciente preocupación de los consumidores por el cuidado de su salud (Emiljanowicz y Malinowska-Panczyk, 2019). En este contexto, la kombucha se ha posicionado como una de las bebidas fermentadas de mayor interés comercial y científico. Esta bebida se obtiene a partir de té negro endulzado con sacarosa comercial y fermentado mediante un consorcio simbiótico de levaduras y bacterias, denominado *Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast* (SCOBY). En la literatura se le atribuyen propiedades de interés nutricional, principalmente relacionadas con la actividad antioxidante (Mendelson et al., 2023; Moreira et al., 2022).

El mercado de la kombucha se encuentra principalmente asociado a consumidores orientados hacia estilos de vida saludables, alimentación funcional y productos con propiedades antioxidantes y probióticas, lo que ha impulsado el crecimiento sostenido del mercado de esta bebida a nivel internacional (GVR Consumer, 2026). Los reportes indican que el mercado mundial de kombucha fue valorada en 4.82 mil millones de dólares en 2025 y se proyecta que alcance los 9.09 mil millones de dólares hacia 2033, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 7.6%; además, el informe muestra que América del Norte representó el mercado más grande el año previo (GVR Consumer, 2026). De manera similar, en España se registró un incremento del 568% en las ventas entre el año 2020 y 2022 (Prodeca, 2023). En el panorama latinoamericano, en el último año el mercado de kombucha alcanzó un valor aproximado de 396.6 millones de dólares con una participación predominante de Brasil, y se estima un crecimiento anual compuesto del 22.8% entre 2026 y 2035 (Informes de Expertos, 2025).

En el contexto nacional, en Perú el mercado de kombucha muestra una tendencia de crecimiento, evidenciada por el surgimiento de emprendimientos y el incremento de la producción local; por ejemplo, algunas empresas pasaron de producir alrededor de 60 litros mensuales en sus inicios a aproximadamente 2500 litros al mes en pocos años, reflejando el aumento de la demanda de bebidas saludables en el país (Perú 21, 2022).

La creciente demanda de la bebida de kombucha ha llevado a la exploración de diversas combinaciones y modificaciones en la elaboración de la misma, con la finalidad de mejorar sus propiedades nutricionales, sus características fisicoquímicas y su aceptabilidad sensorial. Investigaciones recientes han explorado la adición de diferentes infusiones, tipos de

azúcares, extractos de frutas e incluso nuevos consorcios microbianos para enriquecer la bebida (Kluz et al., 2022; Liu et al., 2022; Mohd et al., 2023; Zubaidah et al., 2018).

Para el proceso de fermentación de la kombucha es imprescindible la presencia de azúcares, los cuales actúan como sustrato para el crecimiento y la actividad metabólica de SCOBY (Bishop et al., 2022). Tradicionalmente, la sacarosa es el insumo más empleado en su elaboración; sin embargo, en la actualidad existe un creciente interés por evaluar el uso de sustitutos de sacarosa y su influencia en las características fisicoquímicas y sensoriales de la bebida.

Diversos estudios han empleado fuentes alternativas de azúcares para la elaboración de kombucha. Tal es el caso de Neti et al. (2023), quienes emplearon miel de cacao como sustrato de fermentación en kombucha, evidenciando que su utilización brindó una bebida con altos componentes bioactivos, tales como antioxidantes y compuestos fenólicos, los cuales están asociados con potenciales beneficios para la salud.

Por otro lado, Kluz et al. (2022) emplearon azúcar de coco y azúcar de caña como alternativas de sustitutos a los azúcares tradicionales refinados y evaluaron sus efectos en componentes bioactivos. Los resultados mostraron que, en cuanto a color, sabor y capacidad antimicrobiana, el tratamiento con mejores resultados fue el de kombucha con azúcar de coco, aunque en ambos sustratos se identificaron 17 compuestos bioactivos.

Es evidente que la búsqueda de nuevas fuentes de sustratos para la kombucha sigue en constante crecimiento. En ese sentido, surge una nueva alternativa de sustrato de fermentación para la bebida de kombucha: el jarabe de yacón (*Smallantus Sonchifolious*), obtenido de la raíz del mismo nombre y caracterizado por su contenido de fructooligosacáridos (FOS), un tipo de fibra compuesta principalmente por fructosa. Diversos estudios han reportado que los FOS presentan una baja contribución calórica y otras propiedades de interés nutricional. (Caetano et al., 2016; Dallali et al., 2024; Liu et al., 2023; Yao et al., 2022).

Si bien se han desarrollado innovaciones en bebidas tipo kombucha mediante la incorporación de nuevas materias primas, no se han reportado investigaciones sobre el uso de jarabe de yacón como sustrato de fermentación. Por ello, el presente estudio buscó aportar evidencia científica sobre su adición en la elaboración de una bebida tipo kombucha,

Por otro lado, comprender los atributos sensoriales de un producto y su influencia en la aceptación del consumidor representa actualmente uno de los principales retos en el desarrollo de alimentos. Debido a que la bebida de kombucha es poco conocida en la provincia de Jaén, fue importante realizar un análisis sensorial, que permitió identificar los atributos sensoriales percibidos por los consumidores y determinar su aceptabilidad para un posible fin comercial.

En virtud de lo expuesto, el objetivo general de esta investigación fue evaluar el efecto de la sustitución de sacarosa por jarabe de yacón en las características fisicoquímicas, antioxidantes y sensoriales de una bebida tipo kombucha. Este objetivo se cumplió en base a cuatro objetivos específicos 1) Caracterizar fisicoquímicamente (pH, acidez titulable, sólidos solubles, fructosa, azúcares reductores y color) los tratamientos de la bebida tipo kombucha. 2) Evaluar la capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales en los tratamientos de la bebida tipo kombucha. 3) Determinar la cinética de crecimiento del SCOBY durante la fermentación de los tratamientos de la bebida tipo kombucha. 4) Evaluar el perfil sensorial y la aceptabilidad de los tratamientos de la bebida tipo kombucha.

Los resultados obtenidos permitieron caracterizar el comportamiento fisicoquímico, antioxidante, cinético y sensorial de las formulaciones evaluadas, aportando información útil para futuras investigaciones y desarrolladores de bebidas fermentadas interesados en el uso de sustratos alternativos a la sacarosa en productos tipo kombucha.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

La elaboración de los tratamientos de la bebida tipo kombucha, los análisis de características fisicoquímicas (pH, sólidos solubles, acidez titulable, color), antioxidantes y la cinética de crecimiento de biomasa se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal y Bromatología de Alimentos de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza en la ciudad de Chachapoyas. Por otro lado, los análisis microbiológicos (Aerobios mesófilos, mohos, levaduras, coliformes.) se realizaron en el laboratorio de Tecnología Médica de la Universidad Nacional de Jaén. En cuanto a las características sensoriales, conformadas por el recojo de descriptores, la aplicación de la ficha Check-All-That-Apply (CATA) y la evaluación de aceptabilidad sensorial se realizaron en el laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Escuela de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén.

2.2. Material

Para la elaboración de la bebida tipo kombucha se empleó un kit kombucha, compuesto por un SCOBY y líquido iniciador (Fermentos & Kombucha Perú SACS, Lima, Perú). Según la ficha técnica proporcionada por el proveedor (Anexo 6), SCOBY presentó una concentración de levaduras de 51×10^3 UFC/mL, ausencia de anguílulas y recuentos de mohos inferiores a 1 UFC/mL. No obstante, la ficha técnica no reportó identificación taxonómica ni cuantificación específica de bacterias; por ello, en el presente estudio el SCOBY se consideró un consorcio microbiano comercial.

También se empleó jarabe de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) (Agroensancha S.R.L., Trujillo, Perú). Según la ficha técnica proporcionada por el proveedor (Anexo 5), el jarabe presentó 61g de FOS, 4.5 g de glucosa libre y 7.5 g de fructosa libre por cada 100 g de producto. Estos valores fueron únicamente información referencial de la materia prima.

Asimismo, se utilizó té negro (Campo Grande Perú E.I.R.L., Lima, Perú); sacarosa (CasaGrande, Perú) y agua de mesa comercial (San Luis, Perú). La fermentación se realizó en envases de vidrio de uso alimentario de 2 L para la caracterización fisicoquímica y antioxidante y de 250 mL para la determinación de la cinética de crecimiento de biomasa.

Para los análisis fisicoquímicos se emplearon los siguientes reactivos: fenolftaleína 1% p/v, hidróxido de sodio NaOH 0.1 N (Merck Millipore, Perú), tiosulfato de sodio 0.0333

N (Biopack, Colombia), ácido acético 5.0 N (Mallinckrodt, EE. UU.), almidón 1% p/v (Merck Millipore, Alemania), 2,2-difenil-1-picrilhidracilo DPPH (Merck Millipore, EE. UU.), metanol 99.8% (J.T. Baker, Perú), reactivo Folin-Ciocalteu (Merck Millipore, EE. UU.), tartrato de sodio-potasio tetrahidratado 2.7% p/v (Himedia, India) y carbonato de sodio (Merck Millipore, Alemania). Adicionalmente, se emplearon solución de Muller, solución de yodo 0.0333 N y agua destilada, obtenida mediante equipo destilador institucional. Todos los reactivos mencionados fueron donados por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.

En los análisis microbiológicos se emplearon los siguientes medios de cultivo, proporcionados por la Universidad Nacional de Jaén: Plate Count Agar PCA (Himedia, India) para el recuento de aerobios mesófilos, Sabouraud Dextrose Agar SDA (Himedia, India) para mohos y levaduras, y Agar MacConkey (Himedia, India) para coliformes.

2.3. Métodos

2.3.1. Elaboración de la bebida tipo kombucha

Se formularon cuatro tratamientos con diferentes porcentajes de sustitución de sacarosa por jarabe de yacón, T0 fue el tratamiento control, los que se detallan en la matriz de formulaciones de la Tabla 1. Cada tratamiento se elaboró siguiendo el diagrama de flujo presentado en la Figura 1.

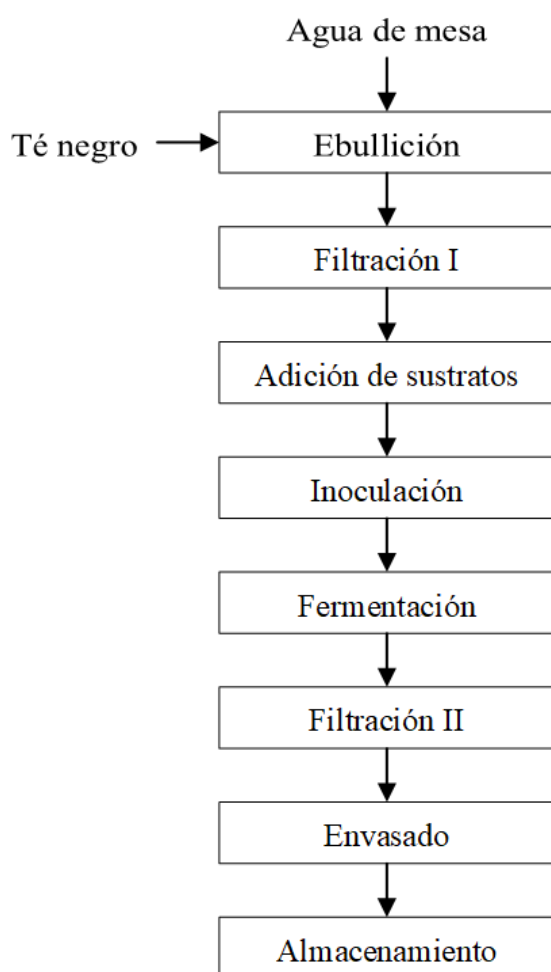
Tabla 1

Formulación porcentual de los tratamientos de bebida tipo kombucha

Ingredientes	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
Jarabe de yacón (% p/v)	-	2%	6%	10%
Sacarosa (azúcar de mesa) (% p/v)	10%	8%	4%	0%
Líquido iniciador (% v/v)	10%	10%	10%	10%
Infusión de té (% v/v)	80%	80%	80%	80%

Figura 1

Flujograma de la elaboración de la bebida tipo kombucha



Ebullición: Se llevó agua de mesa en una marmita hasta ebullición y una vez apagada la fuente de calor, se adicionó té negro a una concentración de 10 g/L y se dejó en reposo durante 5 min.

Filtración I: Finalizado el tiempo de reposo, se filtró el extracto empleando una tela organza de 7 HPI (holes per inch/agujeros por pulgada), con la finalidad de retirar las hojas de té negro. El filtrado se dejó enfriar hasta alcanzar temperatura ambiente. Posteriormente, el extracto se distribuyó en recipientes de vidrio con capacidad de 2 L, previamente esterilizados en autoclave (Raypa, España). En todos los tratamientos se empleó un volumen base de 1600 mL de infusión de té negro, lo que representó el 80% v/v del volumen total (2 L) de bebida elaborada por tratamiento.

Adición de sustrato: Se incorporó jarabe de yacón y sacarosa de acuerdo con los tratamientos establecidos: T0 (10% p/v de sacarosa y 0% de jarabe de yacón, tratamiento control), T1 (2% p/v de jarabe de yacón y 8% p/v de sacarosa), T2 (6% p/v de jarabe de yacón y 4% p/v de sacarosa) y T3 (10% p/v de jarabe de yacón).

Inoculación: Primero se inoculó cada recipiente con líquido iniciador en una proporción de 10% v/v en base al volumen total de bebida (2 L) por tratamiento. Luego, en cada envase se incorporó un SCOBY en una proporción aproximada de $3\% \pm 0.3$ p/v para dar inicio al proceso fermentativo.

Fermentación: La fermentación se realizó durante 10 días en condiciones aeróbicas, a temperatura ambiental, registrándose un rango térmico de 21.1°C por el día y 13.3 °C por la noche, mediante mediciones efectuadas cada 12 horas (Anexo 11). Los recipientes permanecieron en un área restringida para reducir el riesgo de contaminación externa y se cubrieron con un paño de celulosa y polipropileno (WypAll) previamente esterilizado en autoclave, lo que permitió el intercambio de oxígeno con el ambiente y al mismo tiempo, redujo el riesgo de ingreso de contaminantes físicos o biológicos. Esta condición fue necesaria debido a que la fermentación de kombucha requiere disponibilidad de oxígeno para el desarrollo de bacterias ácido-acéticas presentes en el consorcio SCOBY. No se efectuó monitoreo continuo de oxígeno disuelto ni control instrumental de aireación, por tanto, la oxigenación no se consideró un parámetro de estudio. Esta fermentación aeróbica con oxigenación no controlada también se reportó en investigaciones sobre kombucha elaborada mediante el método tradicional donde se analizaron características fisicoquímicas (Abdul-Raouf et al., 2021; Wang et al., 2022).

Filtración II: Concluida la fermentación, la bebida se sometió a una segunda filtración utilizando una tela organza de 7 HPI, con el propósito de remover el SCOBY y sedimentos presentes en el medio.

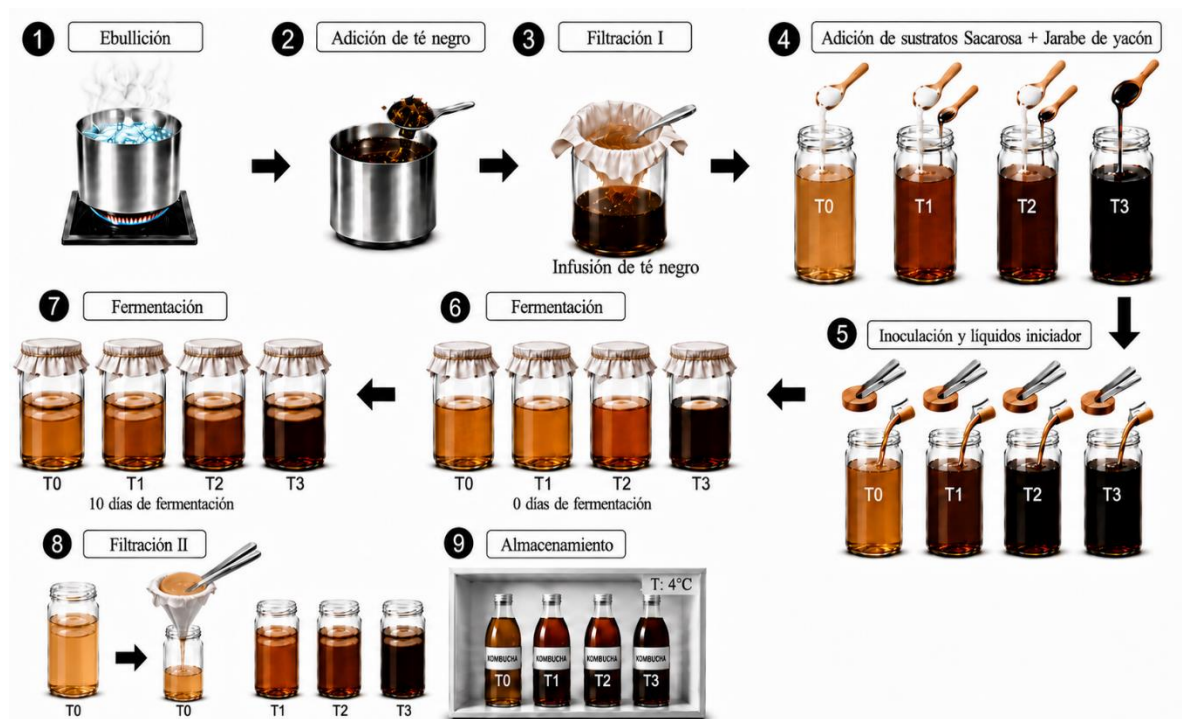
Almacenamiento: Finalmente, la bebida obtenida se envasó en recipientes de vidrio previamente esterilizados y se almacenó bajo condiciones de refrigeración a 4 °C, con la finalidad de inhibir la actividad microbiana y preservar las características fisicoquímicas del producto.

Con la finalidad de representar de manera integrada el flujo de elaboración y la composición inicial de los tratamientos, se elaboró una esquematización gráfica del proceso experimental. En esta se resume la secuencia de operaciones aplicadas desde la obtención de la infusión de

té negro hasta el almacenamiento de la bebida fermentada, así como la incorporación diferencial de sacarosa y jarabe de yacón en cada tratamiento. La Figura 2 permite visualizar la relación entre las etapas de proceso y la distribución porcentual de los sustratos empleados en los tratamientos T0, T1, T2 y T3.

Figura 2

Esquema gráfico del proceso de elaboración de la bebida tipo kombucha con sustitución parcial o total de sacarosa por jarabe de yacón



Nota. T0 representó el tratamiento control sin jarabe de yacón; T1, T2 y T3 correspondieron a niveles crecientes de sustitución de sacarosa por jarabe de yacón. La representación gráfica fue generada con asistencia de inteligencia artificial (OpenIA, 2026).

2.3.2. Características fisicoquímicas de la bebida tipo kombucha

2.3.2.1. Sólidos solubles por refractometría y porcentaje de fructosa

Los sólidos solubles y el porcentaje de fructosa se determinaron de acuerdo al método 931.12 (AOAC, 2006) utilizando un refractómetro digital automático (Rx – 5000i, ATAGO, Japón). Para ello, se colocó 0,5 mL de muestra sobre el prisma del refractómetro y se registró la lectura de sólidos solubles expresada en grados Brix (°Brix) y el % de fructosa para todos los tratamientos.

2.3.2.2. Azúcares reductores

Para determinar azúcares reductores expresados en azúcares invertidos se empleó el Método Icumsa del Instituto de Berlín según Whalley, 1964 (citado en Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 1969).

a) Preparación de la solución de Muller

Para la preparación de 1 L de solución de Muller se necesitó 35 g de sulfato de cobre pentahidratado disuelto con 300 mL de agua destilada, 173 g de tartrato de sodio y potasio y 68 g de carbonato de sodio disueltos con 400 mL de agua destilada en un vaso de precipitado, luego se llevó ambas disoluciones a una fiola de 1 L y se aforó con agua destilada, finalmente se añadió 2 g de carbón activado, se filtró y se almacenó en un envase ámbar.

b) Procedimiento y cálculo de azúcares reductores

Para ello se pesó en vasos de precipitado 2 gramos de muestra de kombucha en una balanza analítica (GX-324^a, AND, Japón, luego se añadió 10 mL de solución de Muller y se llevaron las muestras a baño maría con hervor vigoroso (100°C) por 10 minutos, pasado el tiempo se dejó enfriar con agua helada. Una vez frías las muestras se agregó 5 mL de ácido acético 5N, luego 20 mL de yodo 0.0333 N y se disolvió hasta que el precipitado de cobre se torne de un color petróleo, en muestras donde no hubo cambio de color se añadió más yodo y se registró el gasto. Después, a todas las muestras se les añadió 1 mL de almidón 1% p/v y se tituló con solución de tiosulfato de sodio 0.0333 N hasta un viraje de color verde esmeralda y se registró el gasto de solución.

Para conocer el porcentaje de azúcares reductores presentes en la muestra se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Azúcar invertido} = \frac{(I \cdot F_i - T \cdot F_t) \cdot 100}{\text{peso de la muestra (mg)}} \quad \dots\dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- I: Volumen de solución de yodo (mL)
- F_i: Factor de valoración de yodo = 1
- T: Gasto de tiosulfato de sodio (mL)
- F_t: Factor de valoración del tiosulfato de sodio = 1

2.3.2.3. Acidez titulable

Para el análisis de la acidez titulable se realizó según el método 942.15 (AOAC, 2006) se midió 5 mL de muestra y se aforó con agua destilada a 100 mL para mejorar la visualización de punto final. Se colocó la muestra total en un vaso de precipitado y se agregó dos gotas de indicador fenolftaleína. Se tituló cada muestra con una solución base estandarizada de NaOH 0.1N hasta que la muestra viró a un color rosa.

Los resultados de acidez titulable se expresaron en g de ácido acético/L kombucha, debido a que este ácido es el más predominante en este tipo de bebidas (Coton et al., 2017; Moccia et al., 2024). El cálculo se realizó aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Ácido acético} \left(\frac{\text{g}}{\text{L}} \right) = \frac{V \cdot N \cdot P_{\text{eq}}}{v} \quad \dots\dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- V: Gasto de NaOH (mL)
- N: Normalidad de NaOH
- P_{eq} : Peso equivalente del ácido acético = 60 g/eq
- v: Volumen de muestra empleada (mL)

2.3.2.4. Análisis de pH

El pH se evaluó mediante un pH-metro digital portátil (H198103, HANNA, USA) previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4.00 y 7.00, de acuerdo al método 981.12 (AOAC, 2006). Para ello, en un vaso de precipitado se añadió 10 mL de muestra, se introdujo el electrodo y se procedió a tomar la lectura una vez alcanzada su estabilización.

2.3.2.5. Determinación de color instrumental

El color en las muestras de kombucha se evaluaron mediante el método CIELAB definido por la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) empleando un colorímetro (Konika Minolta, CR-400, Japón).

Para ello, se llenó el prisma del colorímetro con muestra filtrada hasta su altura de llenado establecido. Se posicionó el equipo y se tomó lectura de los resultados expresados en L^* (luminosidad), a^* (coordernadas rojo/verde) y b^* (coordenadas amarillo/azul).

Para determinar la diferencia del color entre las coordenadas L*a*b se empleó la siguiente fórmula:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_m^* - L_{ref}^*)^2 + (a_m^* - a_{ref}^*)^2 + (b_m^* - b_{ref}^*)^2} \quad \text{..... Ecuación 3}$$

Donde:

- L_m^* , a_m^* , b_m^* : son los valores de la muestra
- L_{ref}^* , a_{ref}^* , b_{ref}^* : son los valores de referencia (datos de tratamiento control en cada día de análisis 0, 4, 6, 8 y 10).

A partir de los resultados expresados en a^* y b^* , se evaluó la tonalidad del color (rojo o amarillo) mediante el cálculo del ángulo hue y la intensidad del color mediante el cálculo de croma.

$$\text{hue} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad \text{..... Ecuación 4}$$

$$\text{croma} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{..... Ecuación 5}$$

2.3.3. Características antioxidantes de la bebida tipo kombucha

2.3.3.1. Capacidad antioxidante

Esta característica se determinó por triplicado para cada tratamiento mediante el ensayo del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), adaptado de la metodología propuesta por Brand-Williams et al. (1995), con modificaciones en la preparación del extracto, tiempo de incubación y cuantificación de resultados en equivalentes Trolox.

a) Preparación de reactivos

Se preparó una solución madre de DPPH disolviendo 8.4 mg del reactivo en 100 mL de metanol 99.8%. La solución se conservó a 4°C en un envase ámbar rotulado como “DPPH madre”. Para cada día de análisis, se preparó una solución diluida de DPPH ajustada a una absorbancia de 1.1 utilizando 15.7 mL de DPPH madre y 4.3 mL de metanol al 100%. Este reactivo diluido se conservó en recipiente de vidrio forrado con papel aluminio rotulado como “DPPH 1.1”.

b) Preparación de muestras

Se preparó el extracto de cada tratamiento mezclando 0.5 mL de muestra de kombucha con 2 mL de metanol al 50% (v/v) en tubos Falcon. Los tubos de ensayo se sometieron a centrifugación a 3000 rpm durante 5 minutos y posteriormente se filtró utilizando papel de filtro Whatman N°40.

c) Procedimiento y cálculo de % de inhibición DPPH

Del filtrado obtenido se tomaron 75 µL y se colocaron en tubos Falcon previamente forrados con papel aluminio para evitar la exposición a la luz. A cada tubo se añadió 1425 µL de la solución diluida de DPPH, obteniendo un volumen final de 1500 µL. Los tubos se incubaron en oscuridad durante 3 horas y 30 minutos a temperatura ambiente, tiempo suficiente para que se produjera la reacción entre el extracto y el DPPH.

Tras el período de incubación, con una micropipeta se transfirieron 250 µL de cada tubo a una microplaca de 96 pocillos, realizando el análisis por triplicado para cada tratamiento. Finalmente, las absorbancias se midieron a 515 nm utilizando un espectrofotómetro (Multiskan SkyHigh, THERMOCIENTIFIC, USA) empleando metanol 100% como blanco.

La capacidad antioxidante de las muestras se evidenció con el cambio de color violeta a color amarillo y se representó como porcentaje de inhibición:

$$\% \text{ de inhibición} = \left(\frac{A_{\text{blanco}} - A_{\text{muestra}}}{A_{\text{blanco}}} \right) \times 100 \dots\dots \text{Ecuación 6}$$

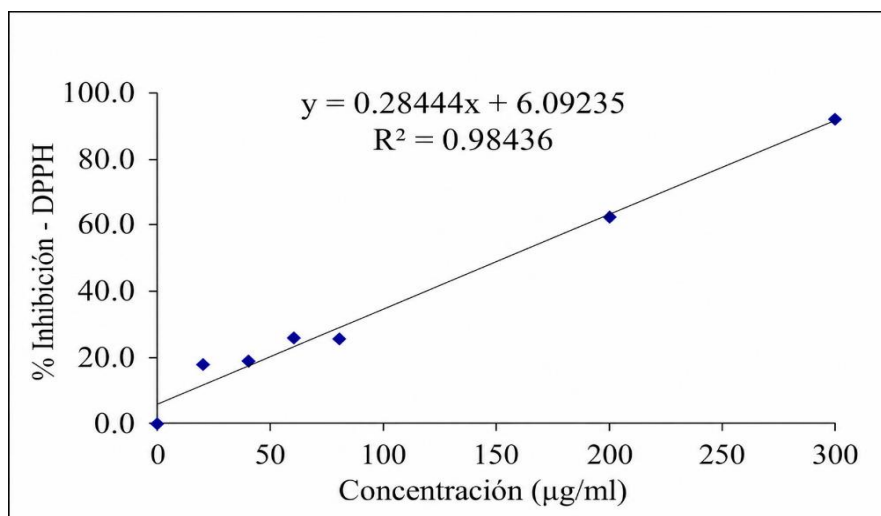
Donde:

- A_{blanco} : Absorbancia de la solución de DPPH 1.1 con metanol
- A_{muestra} : absorbancia de la muestra

Los resultados de la capacidad antioxidante se expresaron como miligramos equivalentes de Trolox por mililitro de muestra (mg TE/mL) a partir de la curva de calibración detallada en la Figura 3.

Figura 3

Curva de calibración para capacidad antioxidante



Nota. La curva de calibración representa una relación lineal entre las concentraciones del estándar Trolox ($\mu\text{g/mL}$) en el eje X y el porcentaje de inhibición de DPPH en el eje Y.

2.3.3.2. Fenoles totales

Se determinó según el método Folin-Ciocalteu, siguiendo el procedimiento descrito por Mendoza Isaza et al. (2020):

a) Preparación de reactivos

Reactivo A: Se diluyó 0.81 g de tartrato de sodio-potasio tetra hidratado en 30 mL de agua destilada. La solución se guardó a 4 °C en un frasco ámbar rotulado.

Reactivo B: En un vaso de precipitado se mezcló 0,6 g de NaOH 1N con 1,2 mL de agua destilada, se añadió 3g de Na_2CO_3 2% p/v, se disolvieron con 50 mL de agua destilada y posteriormente se aforó hasta 150 mL de volumen. La solución se guardó en un frasco ámbar rotulado a 4°C.

Reactivo C: En día de análisis, en un frasco ámbar se combinó 0,15 mL de reactivo A y 14,85 mL de reactivo B sin alterar el orden, obteniendo un volumen final de 15 mL (Reactivo C).

Reactivo D: En cada día de análisis, en un vaso de precipitado de 10 mL cubierto con papel aluminio se preparó 2,5 mL de reactivo Folin - Ciocalteu y 2,5 mL de agua destilada, obteniendo un volumen final de 5 mL.

b) Preparación de la muestra

En tubos de ensayo se mezcló y agitó 0,2 mL de muestra de kombucha previamente filtrada en papel Whatman N°42 y 1,8 mL de metanol al 80 %.

c) Procedimiento y cálculo del contenido total de fenoles

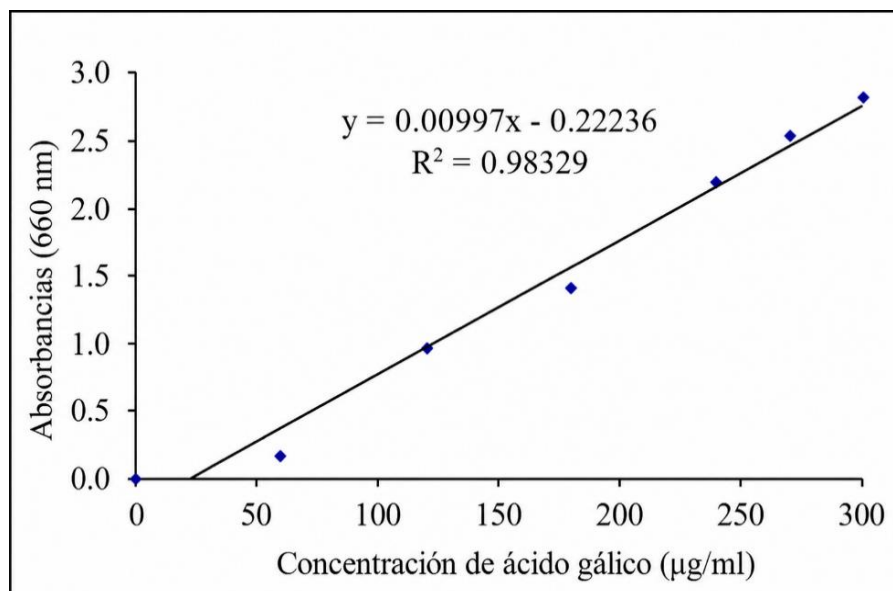
De cada muestra se tomaron 100 µl y se colocaron en tubos Falcon, a cada tubo se añadió 1 mL de reactivo C y se reservaron durante 15 minutos en condiciones ambientales, transcurrido este tiempo se adicionó 200 µl del reactivo D y se volvió a reposar durante una hora.

Luego del tiempo de reposo, con una micropipeta se transfirieron 250 µl de cada tubo a una microplaca de 96 pocillos, realizando el procedimiento por triplicado. Por último, esta microplaca fue llevada al espectrofotómetro (Multiskan SkyHigh, THERMOCIENTIFIC, USA) y se realizó la lectura a una longitud de onda de 660 nm.

El contenido total de fenoles se expresa en mg ácido gálico/mL kombucha (mg GAE/mL) calculado a partir de la ecuación lineal de la curva de calibración detallada en la Figura 4.

Figura 4

Curva de calibración para contenido total de fenoles



Nota. La curva de calibración representa una relación lineal entre las concentraciones del estándar ácido gálico (µg/mL) representados en el eje X y sus absorbancias medidas a 660 nm en el eje Y.

2.3.4. Cinética de crecimiento de biomasa

El crecimiento de la biomasa del SCOBY fue descrito mediante el modelo de Gompertz, un modelo empleado para describir la cinética de crecimiento del consorcio SCOBY durante los días 0, 2, 3, 4, 6, 8 y 10 de la fermentación para cada tratamiento. El modelo de Gompertz es un modelo matemático sigmoideal, utilizado para describir el crecimiento microbiano en función del tiempo. Este modelo representa la fase de adaptación (lag), la velocidad máxima de crecimiento y el comportamiento asintótico de la biomasa (Tjørve & Tjørve, 2017; Zwietering et al., 1990).

Diversos estudios han empleado el modelo de Gompertz para ajustar curvas de crecimiento microbiano y biomasa de procesos fermentativos (Berzosa et al., 2026; J. Wang & Guo, 2024).

El modelo se expresa de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Y(t) = a * \exp(-\exp(b-c*T)) \quad \dots \text{Ecuación 7}$$

Donde:

Y: Logaritmo de la biomasa (g) en el tiempo : $\text{Log}\left(\frac{N(t)}{N_0}\right)$

a: peso asintótico de biomasa

b: parámetro de localización : $\frac{\mu_{\max}^{e\lambda}}{a} + 1$

c: coeficiente de tasa de crecimiento : $\frac{\mu_{\max}^{e\lambda}}{a}$

T: tiempo de fermentación (horas)

Otro parámetro derivado importante que se calculó es el tiempo de duplicación (td), el cual representa el tiempo necesario para que el crecimiento de biomasa se duplique en la fase exponencial.

$$td = \frac{\ln(2)}{\mu_{\max}} \quad \dots \text{Ecuación 8}$$

Donde: $\mu_{\max} : a*c$

Para el cálculo de todos los valores de la ecuación por cada tratamiento se realizó un ajuste del modelo a los datos experimentales, mediante el Software Statistica (versión DEMO) y se detallan en la Tabla 8.

2.3.5. Características sensoriales de la bebida tipo kombucha

2.3.5.1. Estudio microbiológico de muestras de kombucha

Antes de iniciar con la evaluación sensorial, se realizaron análisis microbiológicos de los tratamientos al culminar los 10 días de fermentación con la finalidad de demostrar su calidad e inocuidad para los panelistas.

Para establecer los microorganismos a analizar se tomó como referencia la NTS N°071-MINSA/DIGESA V.01 “Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad de los alimentos y bebidas para consumo humano”. En la Tabla 2. se detallan los agentes microbianos con sus límites microbiológicos correspondiente al grupo de “Bebidas no carbonatadas”.

Tabla 2

Agentes microbianos con límites microbiológicos correspondiente al grupo de Bebidas no carbonatadas

Agente microbiano	Límites UFC/mL	
	Mínimo	Máximo
Aerobios mesófilos	10	10 ²
Mohos	1	10
Levaduras	1	10
Coliformes	< 3	-

Para el análisis, se utilizaron muestras de todas las formulaciones de la bebida que se mantuvieron en congelación hasta el día de estudio. Se emplearon placas Petri desechables, material de vidrio esterilizado (matraces de 250 mL, probetas, tubos de ensayo), mecheros para la esterilización, micropipetas y puntas estériles desechables de 1 mL.

La técnica empleada para todos los agentes microbianos fue la técnica de vertido en placa. Esta consistió en la preparación de tres diluciones seriadas de la muestra (10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3}) en tubos de ensayo estériles. De cada dilución se tomó 1 mL con una micropipeta estéril y se vertió en placas Petri, luego se añadieron aproximadamente 15 mL de los medios de cultivo selectivos a 45°C correspondientes a cada tipo de microorganismo y se realizó movimientos circulares para homogeneizar la muestra. Finalmente, se dejó solidificar el agar.

Se emplearon los siguientes medios de cultivo:

- Aerobios mesófilos: Plate Count Agar (PCA)
- Mohos y levaduras: Sabouraud Dextrose Agar (SDA)

- Coliformes: Agar MacConkey

Las placas se invirtieron e incubaron a 37°C durante 48 horas para el recuento de aerobios y coliformes, mientras que las placas destinadas al análisis de mohos y levaduras se incubaron a temperatura ambiente durante 5 días.

2.3.5.2. Fases de la evaluación de características sensoriales

Las muestras destinadas a la evaluación sensorial correspondieron a los tratamientos de bebida tipo kombucha obtenidas al día 10 de fermentación, considerando este punto como el final del periodo experimental establecido para todos los tratamientos.

Fase 1. Obtención de perfiles sensoriales mediante la metodología Asociación libre de palabras (ALP)

Para la obtención de los perfiles sensoriales de una bebida tipo kombucha, se utilizó la técnica de Asociación Libre de Palabras (ALP) siguiendo la metodología empleada por (Alderson et al., 2021).

En esta fase participaron 27 panelistas no entrenados, siendo estudiantes de los últimos ciclos de la Universidad Nacional de Jaén. No se conformó un panel entrenado o semientrenado debido a que este tipo de evaluación requiere entrenamiento especializado por personal con experiencia en análisis sensorial de kombucha, condición que no pudo garantizarse durante la investigación. Además, en la ciudad de Jaén la kombucha aún no constituye una bebida de consumo ampliamente difundido, lo que limitó la disponibilidad de personas familiarizadas con las características sensoriales propias de este producto fermentado.

A cada panelista se le proporcionó un consentimiento informado, mediante el cual aceptaron su participación voluntaria en el estudio. Cada panelista recibió dos muestras: la primera correspondiente al tratamiento control (T0) y la segunda al tratamiento T3. Esto debido a que ambos tratamientos representaron los extremos de sustitución de sacarosa por jarabe de yacón, lo que permitió abarcar un mayor rango de percepciones sensoriales. Además, al emplear sólo dos muestras, esta etapa permitió disminuir la fatiga de los panelistas, considerando que el objetivo de esta etapa fue sólo generar vocabulario sensorial.

Después de una breve explicación de la técnica, se les entregó una ficha en la que, tras la prueba sensorial de las muestras, debían escribir las primeras cinco

palabras o frases que se les viniera a la mente, registrando sus respuestas de forma independiente para cada muestra.

Fase 2. Análisis de descriptores sensoriales

En la fase de generación de descriptores sensoriales mediante ALP se obtuvo un total de 267 términos. En primer lugar, se realizó una etapa de depuración mediante la eliminación de términos duplicados exactos o expresiones equivalentes, obteniéndose un total de 143 descriptores únicos. Luego, se excluyeron 10 descriptores sensoriales, debido a que presentaron ambigüedad conceptual o fueron descriptores hedónicos que no presentaron relación directa con las muestras, siendo estos: rico, agradable, agradable al gusto, innovador, apetecible, color apetecible, color agradable, madera verde, intrínseco y áspero, obteniéndose al final un total de 133 descriptores.

En una segunda etapa, los descriptores fueron agrupados según similitud semántica, considerando equivalencia conceptual, cercanía perceptual y correspondencia con la misma modalidad sensorial de percepción (olfato, vista, gusto, tacto). Por ejemplo, los términos *frutal*, *afrutado*, *sabor afrutado*, *frutales*, así como referencias específicas a frutas como *manzana*, *piña* y *durazno*, fueron integrados dentro de un mismo grupo semántico correspondiente al descriptor *afrutado*, debido a que representaron una percepción común relacionada con notas frutales en las muestras.

Mediante este procedimiento se obtuvieron 19 grupos semánticos de descriptores. Posteriormente, se realizó una segunda depuración para seleccionar únicamente atributos con suficiente representatividad dentro del conjunto de respuestas obtenidas. En esta etapa se excluyeron los términos *insípido*, *canela*, *postgusto*, *pacto* y *poco alcohol*, debido a que registraron una sola frecuencia de aparición y no mostraron recurrencia suficiente entre los panelistas para caracterizar sensorialmente el producto.

Finalmente, de cada grupo semántico se seleccionó el descriptor considerado más representativo, priorizando términos con mayor frecuencia de mención, claridad sensorial y capacidad de representar el conjunto de palabras agrupadas. Como resultado, se obtuvieron 17 descriptores sensoriales empleados en la ficha CATA, organizados en cinco atributos: aroma (*miel*, *cítrico*, *avinagrado* y *fermentado*), color (*acaramelado*, *amarillento*, *turbio* y *oscuro*), sabor (*afrutado*,

dulce, ácido y agridulce), sensación en boca (*astringente, refrescante y amargo*) y textura (*viscoso y líquido*). En la Tabla 3 se detallan los descriptores seleccionados por grupo de descriptores relacionados .

Tabla 3

Descriptores obtenidos de ALP

Nº	Descriptor	Descriptores relacionados
1	miel	Olor a miel, olor ligeramente a miel, suave fragancia, miel de abeja,
2	cítrico	Oloroso, olor frutado, piña, olor a frutales, olor naranja
3	avinagrado	Olor a vinagre leve, vinagre
4	fermentado	Muy fermentado, levadura, macerado, fermentación, olor afermento, fermentación a vino
5	acaramelado	caramelo, color caramelo, color madera, color claro, ámbar, ligeramente transparente, cristalino, brillante, color almíbar, color a miel
6	amarillento	Color amarillento, amarilloso, amarillo oscuro
7	turbio	Opaco, turbidez, color púrpura, color intenso, color a rojizo
8	oscuro	Color aladrillado, oscuro, color marrón oscuro
9	afrutado	Sabor afrutado, frutales, durazno, manzana
10	dulce	Ligeramente dulce, dulce, mieloso, sabor dulce, caramelo, azucarado, sabor ligeramente a miel
11	ácido	Cítrico, tamarindo, poco ácido, ligeramente ácido, sabor cítrico
12	agridulce	agridulce
13	astringente	Astringencia, cidra, fuerte, áspero al paladar, sabor áspero
14	refrescante	Refrescante, fresco, suave
15	amargo	Un poco amargo, amargo, concentrado, intenso, amargor ligero, fuerte sabor
16	viscoso	Viscoso, espeso, denso, poco viscoso
17	líquido	Líquido, ligero

Fase 3. Evaluación de perfil sensorial mediante la técnica CATA (Check All That Apply)

Con los 17 descriptores sensoriales definidos en la Fase 2, se llevó a cabo la técnica CATA para evaluar los perfiles sensoriales por cada tratamiento (Check All That Apply), bajo el consentimiento informado de cada panelista. Esta evaluación se realizó en el laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la UNJ, con iluminación blanca artificial y acondicionado con cabinas individuales con la finalidad de reducir interferencias durante la evaluación, tales como, interacción entre panelistas y presencia de estímulos ajenos a las muestras evaluadas.

En esta última fase participaron 121 panelistas no entrenados, seleccionados con criterios específicos: se excluyeron mujeres embarazadas, lactantes, menores de 18 años y personas que padecen de SIBO (Sobrecrecimiento Bacteriano en el Intestino Delgado).

A cada panelista se le entregó una muestra por tratamiento, codificada con números de tres dígitos (T0: 856; T1:935, T2:748, T3:592), agua y galletas para limpiar el paladar. Las muestras se entregaron de manera aleatoria garantizando una secuencia diferente para cada participante siguiendo un diseño de cuadrado latino de Williams (Wakeling & MacFie, 1995).

Las respuestas de los panelistas se recopilaron mediante laptops utilizando un formulario en línea elaborado en la plataforma SurveyMonkey, accediendo a través del enlace <https://es.surveymonkey.com/r/7XHXC57>. En el formulario cada participante seleccionó todas las opciones que considerara representativas a la muestra evaluada sensorialmente, de acuerdo con las cinco categorías definidas. Al término de cada muestra, los participantes evaluaron el nivel de aceptabilidad mediante una escala hedónica de 9 puntos, en la cual seleccionaron la opción que mejor representaba su percepción, desde “Me gustó muchísimo” hasta “Me disgustó muchísimos”, incluyendo el punto medio “No me gustó ni me disgustó”.

La constancia de aprobación del proyecto fue emitida por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad Nacional de Jaén mediante Oficio N°005-2024/VPI-UNJ/CE (Anexo 7).

2.3.6. Diseño experimental

La presente investigación tuvo un enfoque experimental y se desarrolló bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con mediciones repetidas en el tiempo para los análisis fisicoquímicos y antioxidantes de la bebida tipo kombucha elaborada con sustitución parcial y total de sacarosa por jarabe de Yacón. Se formularon cuatro tratamientos: T0 (10% sacarosa y 0% jarabe de yacón y), T1 (8% sacarosa y 2% jarabe de yacón), T2 (4% sacarosa y 6% jarabe de yacón y 4% sacarosa) y T3 (0% sacarosa y 10% jarabe de yacón).

Los análisis fisicoquímicos, antioxidantes y cinéticos se realizaron por triplicado y fueron evaluados en los días 0, 4, 6, 8 y 10 de la fermentación. Por otro lado, la evaluación microbiológica y sensorial se efectuó únicamente con muestras que cumplieron los 10 días de fermentación, considerando este tiempo como el punto final del proceso fermentativo.

Variables de estudio

a) Variable Independiente

- Porcentajes de jarabe de yacón (p/v): 0%, 2%, 6% y 10 %.

Los porcentajes fueron variaciones del total de sacarosa que se emplea en bebidas de kombucha comerciales (Jakubczyk et al., 2020).

b) Variables Dependientes

- Características fisicoquímicas: pH, sólidos solubles, % fructosa, acidez titulable, azúcares reductores, color instrumental
- Características antioxidantes: capacidad antioxidante, contenido de fenoles totales
- Características cinéticas: parámetros derivados del modelo de Gompertz
- Características sensoriales: descriptores sensoriales, perfil sensorial, aceptabilidad sensorial

2.3.7. Análisis de datos

Para cada variable fisicoquímica (sólidos solubles, fructosa, color instrumental, azúcares reductores, acidez titulable y pH) y antioxidante (capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales), se realizaron dos niveles de comparación: primero, diferencias entre tratamientos dentro de cada día de fermentación; y segundo,

diferencias entre días de fermentación dentro de cada tratamiento. Previamente, en cada comparación simple se verificó la normalidad de los residuos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene, considerando un nivel de significancia de 5%. Cuando se cumplieron ambos supuestos, se aplicó un ANOVA de una vía y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey; cuando no se cumplió al menos uno de los supuestos, se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y comparaciones múltiples mediante la prueba de Dunn con ajuste de Holm. Los resultados se expresaron como medias y error estándar de la media. En las tablas, letras diferentes dentro de una misma fila indican diferencias significativas entre días para un mismo tratamiento, mientras que letras diferentes dentro de una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo día. Se consideró significancia estadística con $p < 0.05$. Los análisis se realizaron en Python mediante un entorno Jupyter Notebook.

Respecto a los datos sensoriales, la aceptabilidad fue analizada mediante el test de Friedman, seguido de comparaciones múltiples, considerando un nivel de significancia de 5%. La frecuencia de selección de los descriptores sensoriales obtenidos mediante la técnica CATA fue evaluada mediante la prueba Q de Cochran para determinar si la selección de cada descriptor difería entre tratamientos. Para identificar los descriptores sensoriales asociados con la aceptabilidad, se aplicó un modelo de regresión logística binaria. La variable dependiente fue dicotomizada a partir de la escala hedónica de 9 puntos: se asignó el valor 1 (aceptado) a las respuestas ubicadas en la mitad superior de la escala (puntuaciones 6, 7, 8 y 9), y el valor 0 (no aceptado) a las respuestas ubicadas en el punto medio e inferior (puntuaciones 1 a 5) (Valdiviezo et al., 2009). Las variables independientes fueron los 17 descriptores sensoriales definidos a partir de la Asociación Libre de Palabras (ALP) y empleados en la ficha CATA. Además, la matriz de frecuencias de selección de descriptores fue sometida a un análisis de correspondencias (AC), con la finalidad de explorar gráficamente la asociación entre tratamientos y atributos sensoriales.

Para modelar la cinética de crecimiento de biomasa en cada tratamiento, el ajuste de la ecuación de Gompertz a los datos experimentales se realizó mediante el software TIBCO Statistica, versión 13.0 (trial) (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, EE. UU.).

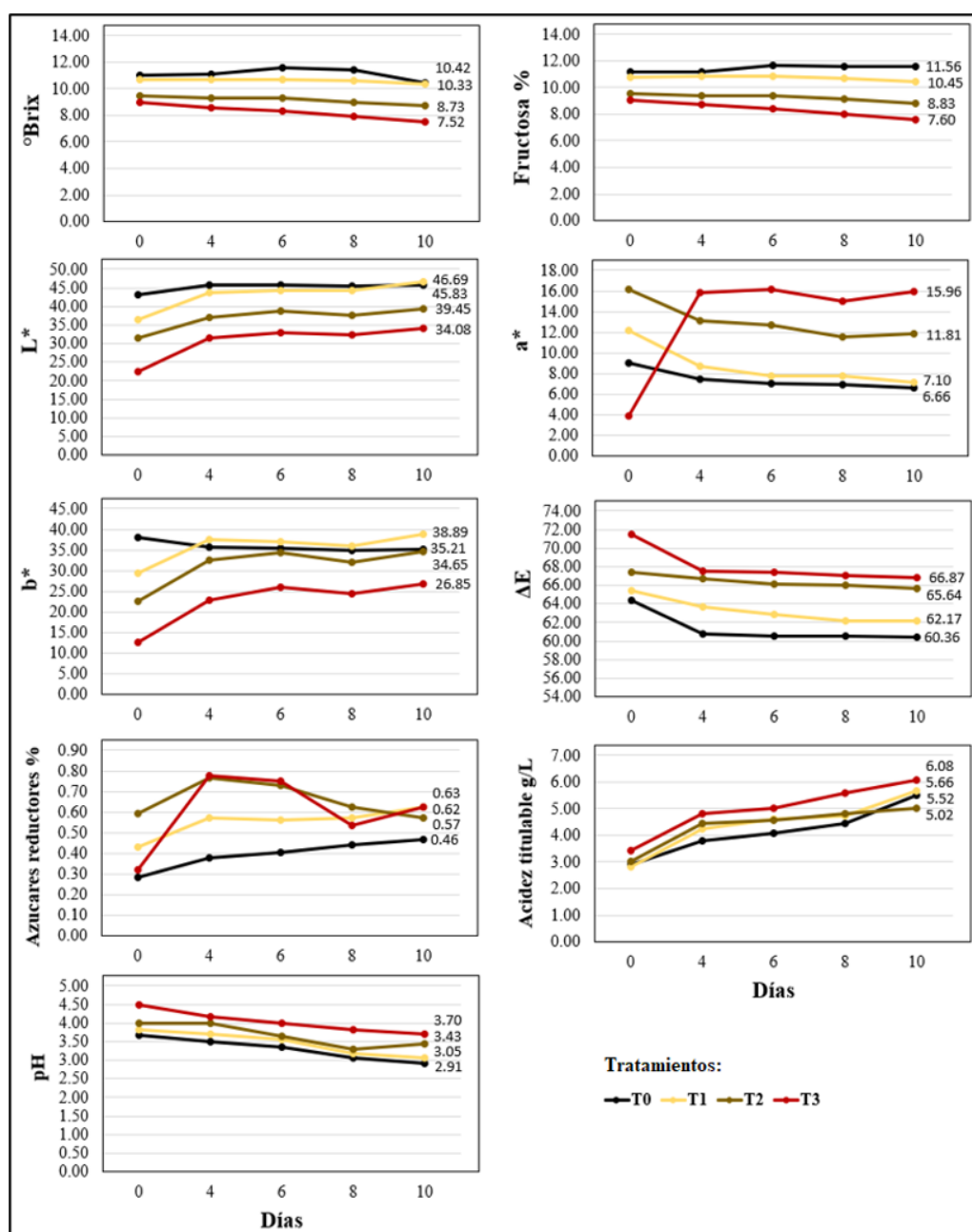
III. RESULTADOS

3.1. Características fisicoquímicas de la bebida tipo kombucha

En la figura 5 se representa gráficamente la evolución de todas las características fisicoquímicas de los tratamientos de bebida tipo kombucha, a través de los días de fermentación (días 0, 4, 6, 8 y 10). Las Tablas 4 - 6 muestran los resultados del Análisis de Varianza y posterior test de Tukey (detalles del análisis en los anexos 12 al 15).

Figura 5

Evolución de los parámetros fisicoquímicos de la bebida tipo kombucha



Nota: T0: 0% jarabe de yacón, T1: 2% jarabe de yacón, T2: 6% jarabe de yacón y T3: 10 % de yacón. Los puntos del gráfico representan promedios.

La Tabla 4 evidencia que los sólidos solubles (°Brix) fueron significativamente afectados por los tratamientos y los días de fermentación ($p < 0.05$). En °Brix, T0 presentó diferencias significativas entre días, con mayores valores en los días 6 y 8, y menor valor al día 10. T1 se mantuvo estadísticamente estable durante todo el periodo, mientras que T2 y T3 mostraron una reducción significativa hacia los días finales. Al comparar tratamientos dentro de cada día, T0 y T1 presentaron los mayores valores, mientras que T3 registró los menores valores durante la fermentación. En fructosa, T0 y T1 mostraron menores cambios en el tiempo, mientras que T2 y T3 evidenciaron una disminución significativa, especialmente T3, que presentó los valores más bajos al final del proceso.

Tabla 4

Influencia de los tratamientos y de los días de fermentación en los sólidos solubles y fructosa de la bebida tipo kombucha

Parámetro	T	Día 0	Día 4	Día 6	Día 8	Día 10
°Brix	T0	11.05 ± 0.17 ^{bA}	11.09 ± 0.08 ^{bA}	11.56 ± 0.18 ^{aA}	11.44 ± 0.23 ^{aA}	10.42 ± 0.15 ^{cA}
	T1	10.69 ± 0.05 ^{aA}	10.72 ± 0.21 ^{aB}	10.72 ± 0.20 ^{aB}	10.57 ± 0.18 ^{aB}	10.33 ± 0.19 ^{aA}
	T2	9.46 ± 0.04 ^{aA}	9.31 ± 0.14 ^{aC}	9.29 ± 0.08 ^{aC}	9.01 ± 0.07 ^{bC}	8.73 ± 0.07 ^{cB}
	T3	8.97 ± 0.59 ^{aB}	8.60 ± 0.08 ^{aD}	8.34 ± 0.07 ^{aD}	7.95 ± 0.01 ^{aD}	7.52 ± 0.08 ^{bC}
Fructosa (%)	T0	11.18 ± 0.17 ^{bA}	11.22 ± 0.08 ^{bA}	11.70 ± 0.18 ^{aA}	11.58 ± 0.24 ^{aA}	11.56 ± 0.15 ^{aA}
	T1	10.81 ± 0.05 ^{aA}	10.89 ± 0.23 ^{aA}	10.85 ± 0.20 ^{aB}	10.70 ± 0.18 ^{aB}	10.45 ± 0.19 ^{aB}
	T2	9.57 ± 0.04 ^{aA}	9.42 ± 0.14 ^{aB}	9.40 ± 0.09 ^{aC}	9.12 ± 0.07 ^{bC}	8.83 ± 0.07 ^{cC}
	T3	9.08 ± 0.60 ^{aB}	8.70 ± 0.08 ^{aC}	8.44 ± 0.08 ^{aD}	8.04 ± 0.01 ^{aD}	7.60 ± 0.07 ^{bD}

Nota: Los valores corresponden a medias ± desviación estándar. Letras a, b, c diferentes dentro de una misma fila indican diferencias significativas entre días de fermentación para un mismo tratamiento. Letras A, B, C, D diferentes dentro de una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo día. Se consideró significancia estadística con $p < 0.05$.

La Tabla 5 muestra que los azúcares reductores presentaron diferencias significativas entre tratamientos y días de fermentación ($p < 0.05$). En la comparación entre tratamientos dentro de cada día, T2 y T3 mostraron los valores más altos durante los primeros días, mientras que T0 presentó los valores más bajos en todo el periodo evaluado. En el análisis temporal, T0 evidenció un incremento progresivo desde el día 0 hasta el día 10; T1 mantuvo valores relativamente estables desde el día 4; T2 alcanzó valores altos entre los días 4 y 6, pero disminuyó hacia el día 10; y T3 mostró su mayor valor en el día 4, con una reducción posterior hacia los días finales.

Para la acidez titulable, se observó un incremento significativo durante la fermentación en todos los tratamientos, alcanzando los mayores valores en el día 10. Dentro de cada día, no se evidenció diferencias significativas entre tratamientos en los días 8 y 10.

T3 tendió a presentar los valores más altos de acidez, especialmente desde el día 4 hasta el día 10, mientras que T0 y T1 registraron valores menores en los primeros días.

En cuanto al pH, todos los tratamientos mostraron una disminución significativa conforme avanzó el tiempo de fermentación, mostrando diferencias significativas. T3 presentó los valores más altos de pH en todos los días evaluados, mientras que T0 mostró los valores más bajos, especialmente al día 10.

Tabla 5

Influencia de los tratamientos y de los días de fermentación en azúcares reductores, acidez titulable y pH, de la bebida tipo kombucha

Parámetro	T	Día 0	Día 4	Día 6	Día 8	Día 10
Azúcares reductores (%)	T0	0.28 ± 0.01 ^{bc}	0.38 ± 0.04 ^{aC}	0.41 ± 0.03 ^{aB}	0.44 ± 0.06 ^{aB}	0.46 ± 0.02 ^{aB}
	T1	0.43 ± 0.05 ^{aB}	0.57 ± 0.02 ^{aB}	0.56 ± 0.16 ^{aA}	0.57 ± 0.00 ^{aA}	0.62 ± 0.14 ^{aA}
	T2	0.59 ± 0.07 ^{aA}	0.77 ± 0.10 ^{aA}	0.73 ± 0.08 ^{aA}	0.62 ± 0.01 ^{aA}	0.57 ± 0.02 ^{bA}
	T3	0.32 ± 0.02 ^{cB}	0.78 ± 0.05 ^{aA}	0.75 ± 0.09 ^{aA}	0.54 ± 0.04 ^{bA}	0.63 ± 0.00 ^{bA}
Acidez titulable (g/L)	T0	2.91 ± 0.31 ^{cB}	3.78 ± 0.03 ^{bB}	4.08 ± 0.15 ^{bB}	4.47 ± 0.10 ^{bA}	5.52 ± 0.47 ^{aA}
	T1	2.84 ± 0.21 ^{bB}	4.25 ± 0.43 ^{aA}	4.63 ± 0.11 ^{aA}	4.74 ± 1.33 ^{aA}	5.66 ± 1.75 ^{aA}
	T2	3.03 ± 0.08 ^{cA}	4.44 ± 0.25 ^{bA}	4.58 ± 0.04 ^{bA}	4.80 ± 0.15 ^{aA}	5.02 ± 0.13 ^{aA}
	T3	3.44 ± 0.09 ^{cA}	4.80 ± 0.16 ^{bA}	5.03 ± 0.32 ^{bA}	5.58 ± 0.37 ^{aA}	6.08 ± 0.62 ^{aA}
pH	T0	3.67 ± 0.08 ^{aB}	3.50 ± 0.05 ^{aD}	3.34 ± 0.14 ^{bB}	3.07 ± 0.05 ^{cB}	2.91 ± 0.10 ^{cC}
	T1	3.81 ± 0.21 ^{aB}	3.69 ± 0.05 ^{aC}	3.56 ± 0.12 ^{aA}	3.19 ± 0.06 ^{bB}	3.05 ± 0.10 ^{bC}
	T2	3.99 ± 0.29 ^{aB}	3.98 ± 0.02 ^{aB}	3.65 ± 0.24 ^{aA}	3.28 ± 0.26 ^{bB}	3.43 ± 0.05 ^{bB}
	T3	4.48 ± 0.04 ^{aA}	4.16 ± 0.02 ^{aA}	3.99 ± 0.26 ^{aA}	3.81 ± 0.03 ^{aA}	3.70 ± 0.05 ^{bA}

Nota: Los valores corresponden a medias ± desviación estándar. Letras a, b, c diferentes dentro de una misma fila indican diferencias significativas entre días de fermentación para un mismo tratamiento. Letras A, B, C, D diferentes dentro de una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo día. Se consideró significancia estadística con $p < 0.05$.

La Tabla 6 muestra que los parámetros colorimétricos presentaron diferencias significativas tanto entre tratamientos dentro de cada día como entre días dentro de cada tratamiento ($p < 0.05$). Para L^* , los tratamientos T0 y T1 mostraron los mayores valores, mientras que T3 presentó los valores más bajos en todos los días evaluados. En el análisis temporal, T0 incrementó su luminosidad desde el día 0 y luego se mantuvo estable; T1, T2 y T3 también mostraron aumentos significativos respecto al día inicial, con los mayores valores hacia el día 10. En el parámetro a^* , asociado a la tonalidad rojo, se observó que T2 y T3 presentaron los valores más altos en la mayoría de los días, diferenciándose de T0 y T1. En T0 y T1, los valores disminuyeron significativamente durante la fermentación, mientras que en T3 se observó un incremento respecto al día inicial. Para b^* , relacionado con la tonalidad de amarillo, T0 presentó los valores más altos al día 0, pero en los días posteriores T1 mostró los mayores valores. T3 registró los valores más bajos durante todo el periodo. En cuanto a ΔE , T0 se mantuvo sin variación por ser el tratamiento de referencia.

Respecto al ángulo hue, los tratamientos con menor contenido de jarabe de yacón presentaron mayores valores de hue ($\sim 79^\circ$) indicando predominio de tonalidades amarillas, además de elevados valores de croma (~ 39), asociados a colores más intensos y brillantes. En contraste, los tratamientos con mayor proporción de jarabe de yacón mostraron menores valores de hue (~ 42) y croma (~ 35).

Tabla 6

Influencia de los tratamientos y de los días de fermentación en los parámetros colorimetría de la bebida tipo kombucha

Parámetro	T	Día 0	Día 4	Día 6	Día 8	Día 10
L*	T0	43.36 ± 0.52 ^{bA}	45.74 ± 0.31 ^{aA}	45.81 ± 0.12 ^{aA}	45.33 ± 0.26 ^{aA}	45.83 ± 0.63 ^{aA}
	T1	36.51 ± 0.59 ^{cB}	43.51 ± 0.16 ^{bB}	44.19 ± 0.29 ^{bB}	44.40 ± 0.33 ^{bB}	46.56 ± 0.12 ^{aA}
	T2	31.47 ± 0.20 ^{dC}	36.83 ± 0.30 ^{cC}	38.77 ± 0.29 ^{bC}	39.47 ± 0.02 ^{aC}	38.45 ± 0.11 ^{bB}
	T3	22.62 ± 1.18 ^{cD}	31.37 ± 0.50 ^{bD}	33.01 ± 0.72 ^{bD}	32.45 ± 0.29 ^{bD}	35.41 ± 0.45 ^{aC}
a*	T0	9.06 ± 0.16 ^{aD}	7.42 ± 0.35 ^{bD}	7.08 ± 0.13 ^{bD}	6.89 ± 0.31 ^{bC}	6.66 ± 0.53 ^{bC}
	T1	12.15 ± 0.38 ^{aC}	8.71 ± 0.26 ^{bC}	7.80 ± 0.23 ^{cC}	7.43 ± 0.24 ^{cC}	7.10 ± 0.21 ^{cC}
	T2	16.14 ± 0.28 ^{aA}	13.14 ± 0.09 ^{bB}	12.67 ± 0.20 ^{bB}	12.34 ± 0.14 ^{cB}	11.81 ± 0.09 ^{dB}
	T3	13.93 ± 0.05 ^{cB}	15.87 ± 0.46 ^{aA}	16.21 ± 0.25 ^{aA}	14.99 ± 0.60 ^{bA}	15.96 ± 0.17 ^{aA}
b*	T0	38.05 ± 0.12 ^{aA}	35.63 ± 0.03 ^{bB}	35.47 ± 0.13 ^{bB}	34.93 ± 0.30 ^{bB}	35.21 ± 0.52 ^{bB}
	T1	28.65 ± 0.32 ^{cB}	37.98 ± 0.33 ^{bA}	37.51 ± 0.16 ^{bA}	37.39 ± 0.40 ^{bA}	39.22 ± 0.25 ^{aA}
	T2	22.53 ± 0.26 ^{cC}	31.65 ± 0.45 ^{bC}	33.61 ± 0.38 ^{aC}	34.08 ± 0.14 ^{aB}	33.65 ± 0.27 ^{aC}
	T3	12.54 ± 0.37 ^{dD}	21.55 ± 0.49 ^{cD}	26.57 ± 0.20 ^{aD}	24.46 ± 0.49 ^{bC}	27.52 ± 0.26 ^{aD}
ΔE	T0	0.00 ± 0.00 ^{aD}	0.00 ± 0.00 ^{aD}	0.00 ± 0.00 ^{aD}	0.00 ± 0.00 ^{aD}	0.00 ± 0.00 ^{aD}
	T1	12.06 ± 0.56 ^{aC}	3.49 ± 0.46 ^{bC}	2.72 ± 0.29 ^{cC}	2.74 ± 0.52 ^{cC}	4.16 ± 0.28 ^{bC}
	T2	20.80 ± 0.38 ^{aB}	11.32 ± 0.19 ^{bB}	9.18 ± 0.28 ^{cB}	8.06 ± 0.42 ^{cB}	9.13 ± 0.92 ^{cB}
	T3	33.25 ± 1.31 ^{aA}	21.84 ± 0.14 ^{bA}	18.07 ± 0.45 ^{cA}	18.48 ± 0.66 ^{cA}	15.95 ± 1.25 ^{dA}
Croma	T0	39.12 ± 0.14 ^{aA}	36.40 ± 0.09 ^{bB}	36.17 ± 0.13 ^{bB}	35.60 ± 0.35 ^{cB}	35.84 ± 0.42 ^{bB}
	T1	31.13 ± 0.39 ^{cB}	38.97 ± 0.28 ^{bA}	38.31 ± 0.13 ^{bA}	38.12 ± 0.43 ^{bA}	39.86 ± 0.26 ^{aA}
	T2	27.71 ± 0.37 ^{cC}	34.27 ± 0.41 ^{bC}	35.92 ± 0.30 ^{aB}	36.24 ± 0.16 ^{aB}	35.66 ± 0.24 ^{aB}
	T3	18.74 ± 0.28 ^{dD}	26.77 ± 0.32 ^{cD}	31.13 ± 0.27 ^{aC}	28.69 ± 0.19 ^{bC}	31.81 ± 0.29 ^{aC}
Ángulo hue	T0	76.61 ± 0.21 ^{bA}	78.24 ± 0.53 ^{aA}	78.71 ± 0.20 ^{aA}	78.85 ± 0.40 ^{aA}	79.28 ± 0.98 ^{aA}
	T1	67.02 ± 0.56 ^{dB}	77.08 ± 0.46 ^{cA}	78.26 ± 0.37 ^{bA}	78.76 ± 0.27 ^{aA}	79.74 ± 0.30 ^{aA}
	T2	54.39 ± 0.17 ^{dC}	67.45 ± 0.37 ^{cB}	69.34 ± 0.49 ^{bB}	70.09 ± 0.18 ^{aB}	70.67 ± 0.25 ^{aB}
	T3	42.00 ± 0.74 ^{cD}	53.62 ± 1.26 ^{bC}	58.61 ± 0.30 ^{aC}	58.50 ± 1.50 ^{aC}	59.89 ± 0.16 ^{aC}

Nota: Los valores corresponden a medias ± desv. estándar. Letras a, b, c diferentes dentro de una misma fila indican diferencias significativas entre días de fermentación para un mismo tratamiento. Letras A, B, C, D diferentes dentro de una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo día. Se consideró significancia estadística con $p < 0.05$.

En la Figura 6 se evidencia el cambio de color de todos los tratamientos durante los días de fermentación.

Figura 6

Color de los tratamientos durante los días 0, 4, 6, 8 y 10 de la fermentación.

	T0	T1	T2	T3
D0				
D4				
D6				
D8				
D10				

Nota. Cambio de color y crecimiento de SCOBY de los tratamientos durante los días de fermentación: D0 = día 0, D4= día 4, D6= día 6, D8= día 8, D10 = día 10. Tratamientos T0: 0% jarabe de yacón, T1: 2% jarabe de yacón, T2: 6% jarabe de yacón y T3: 10 % de yacón.

3.2. Características antioxidantes de la bebida tipo kombucha

La Tabla 7 muestra que la capacidad antioxidante presentó diferencias significativas entre tratamientos durante los primeros dos días de fermentación. En el día 6 se evidenció ausencia de diferencias significativas entre T1, T2 y T3. En el día 8, T1, T2 y T3 fueron estadísticamente similares. Al día 10, no se evidenciaron diferencias significativas entre formulaciones.

En el análisis temporal, T1 no presentó diferencias significativas entre días, T2 mantuvo valores similares hasta el día 8, pero disminuyó significativamente al día 10. En T3, los días 6 y 10 presentaron valores significativamente menores respecto a los días 0, 4 y 8.

Para fenoles totales, se observó diferencias significativas entre tratamientos en todos los días evaluados. En el análisis temporal, T0 mantuvo valores estadísticamente similares durante toda la fermentación. En cambio, T1, T2 y T3 mostraron incrementos significativos hacia los días finales, especialmente desde el día 6 en adelante.

Tabla 7

Influencia de los tratamientos y de los días de fermentación en la capacidad antioxidante y fenoles totales, de la bebida tipo kombucha

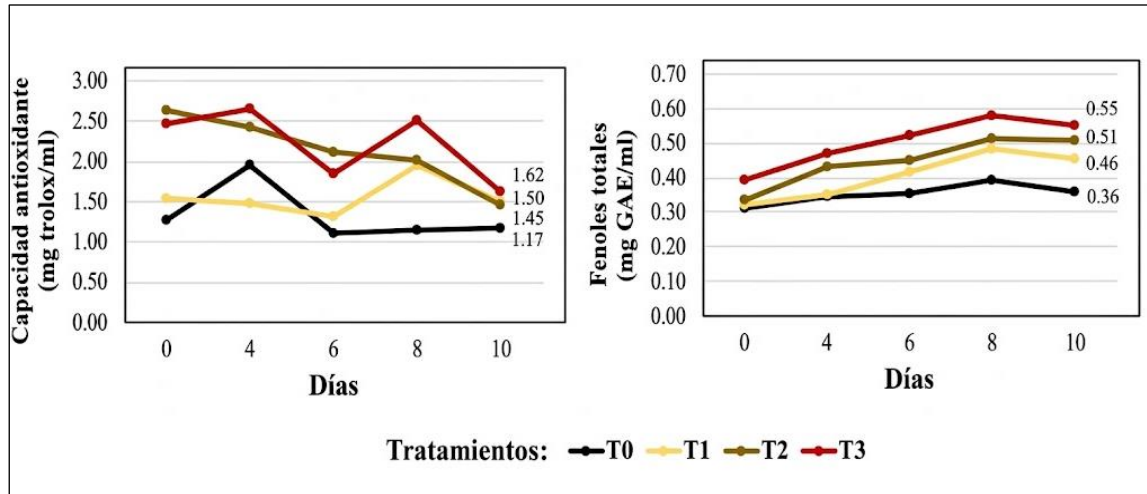
Parámetro	T	Día 0	Día 4	Día 6	Día 8	Día 10
Capacidad antioxidante	T0	1.27 ± 0.27 ^{aB}	1.96 ± 0.24 ^{aB}	1.11 ± 0.32 ^{bB}	1.16 ± 0.20 ^{bB}	1.17 ± 0.27 ^{bA}
	T1	1.54 ± 0.63 ^{aB}	1.49 ± 0.26 ^{aB}	1.32 ± 0.26 ^{aA}	1.96 ± 0.16 ^{aA}	1.50 ± 0.46 ^{aA}
	T2	2.63 ± 0.21 ^{aA}	2.42 ± 0.13 ^{aA}	2.11 ± 0.53 ^{aA}	2.01 ± 0.63 ^{aA}	1.45 ± 0.17 ^{bA}
	T3	2.47 ± 0.28 ^{aA}	2.66 ± 0.16 ^{aA}	1.85 ± 0.22 ^{bA}	2.51 ± 0.15 ^{aA}	1.62 ± 0.20 ^{bA}
Fenoles totales	T0	0.31 ± 0.01 ^{aB}	0.35 ± 0.00 ^{aB}	0.35 ± 0.15 ^{aA}	0.40 ± 0.00 ^{aB}	0.36 ± 0.04 ^{aC}
	T1	0.32 ± 0.03 ^{bB}	0.35 ± 0.03 ^{bB}	0.42 ± 0.01 ^{aA}	0.49 ± 0.06 ^{aA}	0.46 ± 0.02 ^{aB}
	T2	0.34 ± 0.02 ^{cB}	0.43 ± 0.02 ^{bA}	0.45 ± 0.02 ^{aA}	0.51 ± 0.04 ^{aA}	0.51 ± 0.03 ^{aA}
	T3	0.39 ± 0.01 ^{bA}	0.47 ± 0.03 ^{bA}	0.52 ± 0.04 ^{aA}	0.58 ± 0.05 ^{aA}	0.55 ± 0.02 ^{aA}

Nota: Los valores corresponden a medias ± desviación estándar. Letras a, b, c diferentes dentro de una misma fila indican diferencias significativas entre días de fermentación para un mismo tratamiento. Letras A, B, C, D diferentes dentro de una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo día. Se consideró significancia estadística con $p < 0.05$.

En la Figura 7 se muestra la evolución de la capacidad antioxidante y del contenido de fenoles totales en los tratamientos de la bebida tipo kombucha, a través de los días de observación.

Figura 7

Evolución de capacidad antioxidante de las bebidas tipo kombucha, a través de los días de observación.



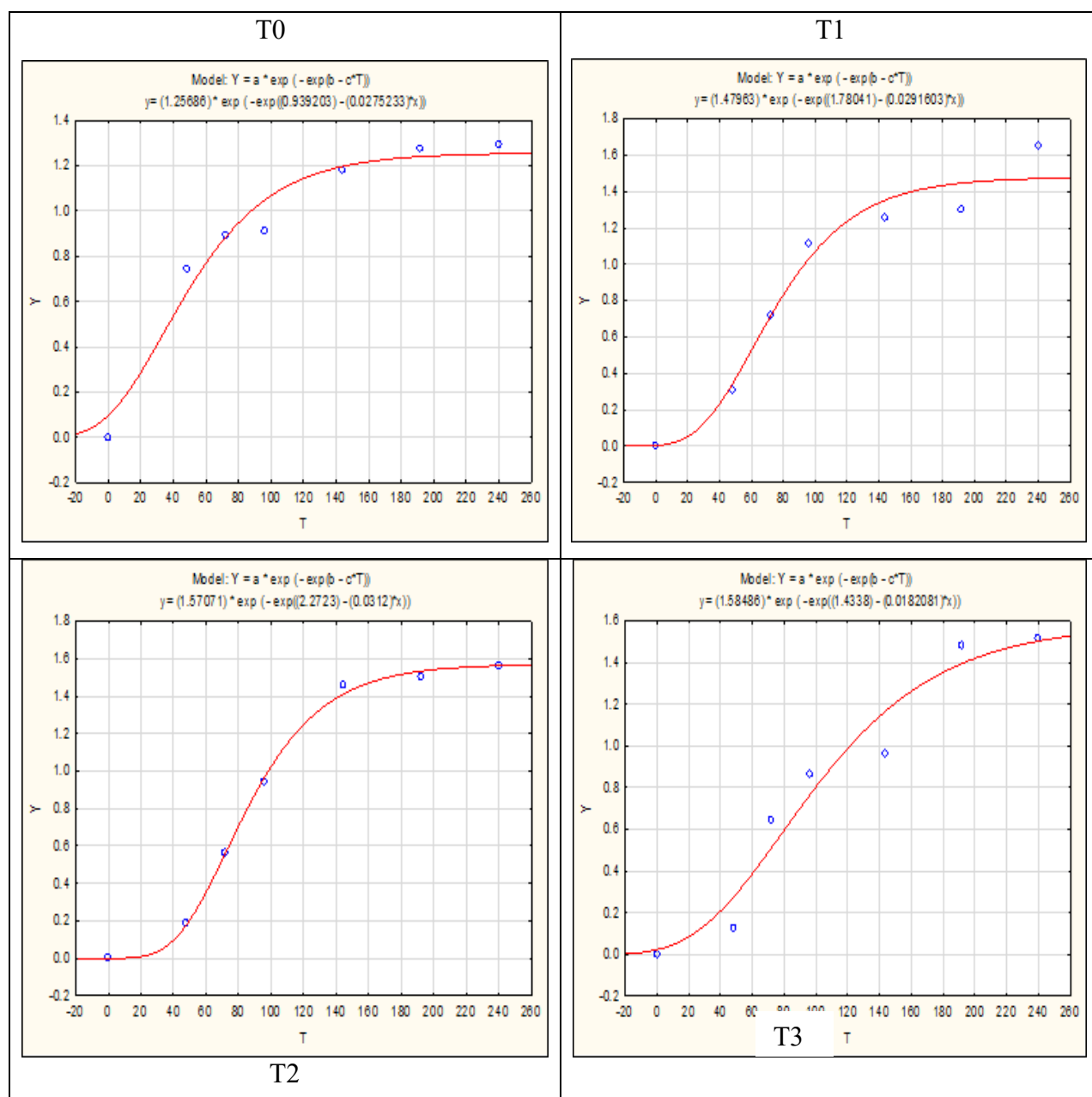
Nota. T0: 0% jarabe de yacón, T1: 2% jarabe de yacón, T2: 6% jarabe de yacón y T3: 8% de yacón. Los puntos del gráfico representan promedios.

3.3. Cinética de crecimiento de biomasa

En la figura 8 se muestran las curvas de crecimiento microbiano con la ecuación ajustada para cada tratamiento.

Figura 8

Crecimiento exponencial de biomasa



Nota. T0: 0% jarabe de yacón, T1: 2% jarabe de yacón, T2: 6% jarabe de yacón y T3: 8% de yacón. Las líneas rojas representan los valores de biomasa estimada por el modelo de Gompertz y los puntos azules representan los valores cuantitativos de biomasa (g) obtenidos en laboratorio.

En la tabla 8 se tienen los coeficientes del modelo ajustado para cada tratamiento, donde se observó que T2 tuvo la mayor tasa de crecimiento $\mu_{\max} = 0.049$, seguido de T1 con una tasa de $\mu_{\max} = 0.043$, luego T0 con $\mu_{\max} = 0.035$ y por último T3 presentó la menor tasa de crecimiento $\mu_{\max} = 0.029$. Por otro lado, en la misma tabla se evidenció que los parámetros

del modelo de Gompertz se ajustaron bien a los datos reales de biomasa, presentando un $R^2 > 0.95$ para todos los tratamientos.

Tabla 8

Parámetros estimados del modelo de Gompertz del crecimiento de biomasa

Tratamiento	a	b	c	$\mu_{\max}$ (h ⁻¹)	λ (h)	t_d (h)	R ²
T0	1.257	0.939	0.028	0.035	-2.209	20.037	0.964
T1	1.480	1.780	0.029	0.043	26.763	16.065	0.966
T2	1.571	2.272	0.031	0.049	40.779	14.144	0.999
T3	1.585	1.434	0.018	0.029	23.825	24.020	0.954

Nota. a, b, c: parámetros estimados del modelo de Gompertz; $\mu_{\max}$ (h⁻¹): tasa máxima de crecimiento específico; λ : fase de latencia; t_d : tiempo de duplicación; R²: coeficiente de determinación.

En relación con la fase de latencia (λ), el tratamiento control T0 difirió mucho del resto de tratamientos, con un valor negativo (-2.209) que refleja la ausencia de una fase de adaptación o inicio inmediato de la fase exponencial. Mientras que los tratamientos con jarabe de yacón mostraron valores positivos de λ , siendo T2 con la mayor fase de latencia (40.779), seguido de T1 (26.763) y finalmente T3 (24.020).

El tratamiento con mayor valor de tiempo de duplicación (t_d) fue T3 (24.020), seguido de T0 (20.037), luego T1 (16.065) y T2 con el valor más bajo (14.144).

3.4. Características sensoriales de la bebida tipo kombucha

Los resultados de calidad microbiológica se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9

Resultados de análisis microbiológicos

Agente microbiano	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
Aerobios mesófilos UFC/mL	300	80	40	20
Mohos UFC/mL	0	0	0	0
Levaduras UFC/mL	< 3	< 3	< 3	< 3
Coliformes UFC/mL	0	0	0	0

Nota: T0: 0% jarabe de yacón, T1: 2% jarabe de yacón, T2: 6% jarabe de yacón y T3: 8% de yacón. Los aerobios mesófilos para T0 superan los límites establecidos en la NTS debido a la

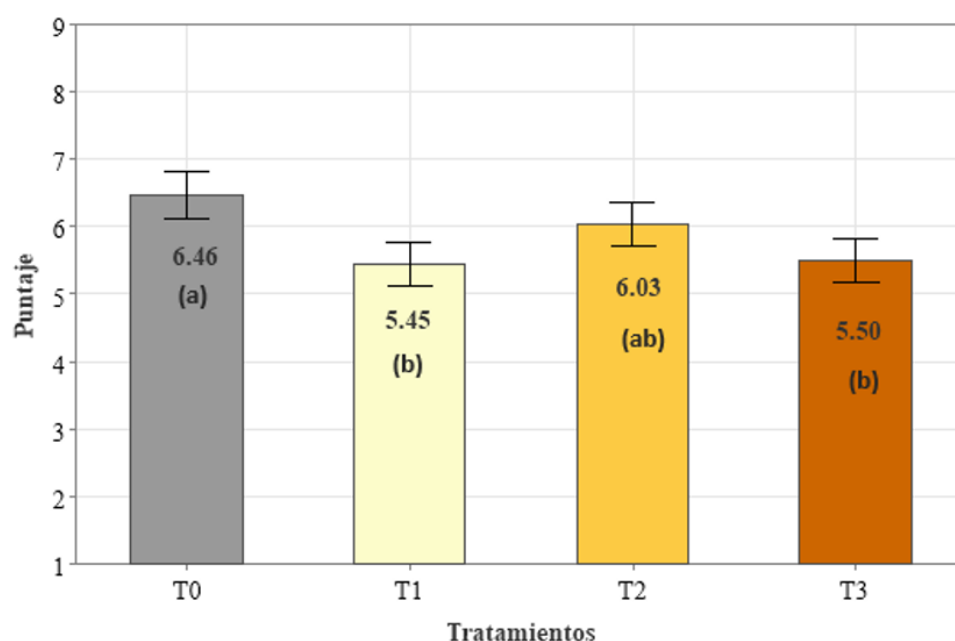
naturaleza propia de la bebida de kombucha conformado por un consorcio microbiano de bacterias y levaduras.

Los resultados obtenidos de la etapa final de la evaluación sensorial se registraron online mediante el link de SurveyMonkey, donde se obtuvo que de los 121 panelistas el 61.98% fueron de género Femenino y el 38.02% de género Masculino.

En la figura 9 se presentan resultados de la aceptabilidad sensorial de los tratamientos, así como el análisis de diferencias significativas mediante el test de Friedman (ver anexo 19), donde se observó que T0 (tratamiento control) presentó la mayor aceptabilidad junto a T2, diferenciándose significativamente el control de los tratamientos T1 y T3. Los valores numéricos se han presentado en base a una escala de 1 – 9 según la escala hedónica, siendo 1 para “me disgustó muchísimo” y 9 para “me gustó muchísimo”.

Figura 9

Aceptabilidad de los tratamientos



Nota. T0: 0% jarabe de yacón, T1: 2% jarabe de yacón, T2: 6% jarabe de yacón y T3: 8% de yacón. Letras diferentes indican diferencias entre los tratamientos, según el test de Friedman, al 5% de significancia.

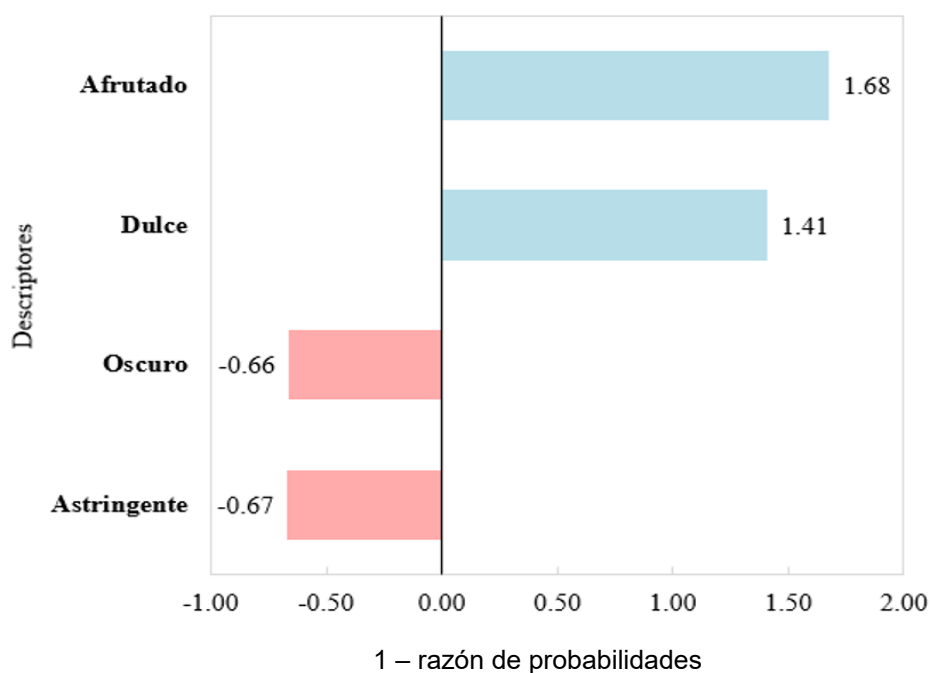
En la Figura 10, se analizó la influencia de los atributos sensoriales sobre la aceptabilidad, a partir del modelo de regresión logística binaria (ver detalle del análisis en el anexo 17). Los atributos no fueron interpretados como positivos o negativos de manera previa, sino

en función de su asociación con la probabilidad de aceptación del consumidor. En este análisis, los descriptores con razón de probabilidad mayor que 1 se consideraron asociados con mayor probabilidad de aceptación, mientras que aquellos con razón de probabilidad menor que 1 se asociaron con menor probabilidad de aceptación.

En ese sentido, se observó que cuando un tratamiento se califica con los perfiles afrutado y dulce, se asocia con una mejor aceptabilidad (1.68 y 1.41 veces más probables de ser aceptado, respectivamente); mientras que cuando un tratamiento se caracterizó con el color oscuro y una sensación astringente, la probabilidad de tener buena aceptación reduce en -0.66 y -0.67 veces, respectivamente.

Figura 10

Influencia de los descriptores en la aceptabilidad de los tratamientos



Nota. Las barras representan la razón de probabilidad, obtenidos de una regresión logística, el cual la variable respuesta es que haya tenido los puntajes 7, 8 o 9 de la escala (me gustó moderadamente, me gustó mucho o me gustó muchísimo) y la variable independiente son los descriptores.

En las tablas 10 a 14 se muestra la frecuencia de selección de descriptores sensoriales para cada atributo evaluado. Se observa que en el atributo aroma (Tabla 10), únicamente el descriptor avinagrado presentó diferencias significativas entre tratamientos según la

prueba Q de Cochran ($p = 0.033$), predominando esta descripción en T2 (24.8%) y menor en T0 (12.4%).

Tabla 10

Distribución de los descriptores de aroma y significancia de cada descriptor

Descriptor	T0	T1	T2	T3	Q Cochran (p-valor)
Avinagrado	15 (12.4%)	24 (19.8%)	30 (24.8%)	17 (14.0%)	0.033
Cítrico	25 (20.7%)	28 (23.1%)	25 (20.7%)	26 (21.5%)	0.945
Fermentado	32 (26.4%)	43 (35.5%)	42 (34.7%)	43 (35.5%)	0.281
Miel	72 (59.5%)	59 (48.8%)	59 (48.8%)	59 (48.8%)	0.180

Nota. Los valores corresponden a la frecuencia de mención de cada descriptor sensorial y su respectivo porcentaje respecto al total de panelistas por tratamiento (121 panelistas). La prueba Q de Cochran evaluó diferencias en la selección de cada descriptor entre tratamientos. Se consideró significancia estadística con $p < 0.05$.

En la Tabla 11 se evidenció que en el atributo color todos los descriptores evaluados presentaron diferencias significativas ($p < 0.001$). Las descripciones de acaramelado fueron más frecuentes en T1 y T2; amarillento predominó en T0, oscuro se asoció principalmente con T3 y turbio se distribuyó para T1, T2 y T3, principalmente.

Tabla 11

Distribución de los descriptores de color y significancia de cada descriptor

Descriptor	T0	T1	T2	T3	Q Cochran (p-valor)
Acaramelado	56 (46.3%)	69 (57.0%)	67 (55.4%)	38 (31.4%)	<0.001
Amarillento	65 (53.7%)	29 (24.0%)	13 (10.7%)	3 (2.5%)	<0.001
Oscuro	4 (3.3%)	19 (15.7%)	26 (21.5%)	72 (59.5%)	<0.001
Turbio	4 (3.3%)	25 (20.7%)	36 (29.8%)	26 (21.5%)	<0.001

Nota. Los valores corresponden a la frecuencia de mención de cada descriptor sensorial y su respectivo porcentaje respecto al total de panelistas por tratamiento (121 panelistas). La prueba Q de Cochran evaluó diferencias en la selección de cada descriptor entre tratamientos. Se consideró significancia estadística con $p < 0.05$.

En el atributo sabor (Tabla 12) los descriptores afrutado, agridulce, dulce y ácido mostraron diferencias significativas entre tratamientos. El descriptor dulce fue más frecuente en T0, agridulce en T1 y T2. Afrutado tuvo mayor presencia en T0 y T3; mientras que ácido se asoció con el tratamiento T1.

Tabla 12*Distribución de los descriptores de sabor y significancia de cada descriptor*

Descriptor	T0	T1	T2	T3	Q Cochran (p-valor)
Afrutado	40 (33.1%)	13 (10.7%)	37 (30.6%)	43 (35.5%)	<0.001
Agridulce	60 (49.6%)	70 (57.9%)	78 (64.5%)	57 (47.1%)	0.026
Dulce	54 (44.6%)	9 (7.4%)	18 (14.9%)	13 (10.7%)	<0.001
Ácido	19 (15.7%)	56 (46.3%)	22 (18.2%)	39 (32.2%)	<0.001

Nota. Los valores corresponden a la frecuencia de mención de cada descriptor sensorial y su respectivo porcentaje respecto al total de panelistas por tratamiento (121 panelistas). La prueba Q de Cochran evaluó diferencias en la selección de cada descriptor entre tratamientos. Se consideró significancia estadística con $p < 0.05$.

En cuanto a sensación en boca (Tabla 13), los descriptores amargo, astringente y refrescante presentaron diferencias significativas, predominando refrescante en T0, astringente en T1, T2 y T3, y amargo se asoció con T1.

Tabla 13*Distribución de los descriptores de sensación en boca y significancia de cada descriptor*

Descriptor	T0	T1	T2	T3	Q Cochran (p-valor)
Amargo	8 (6.6%)	30 (24.8%)	12 (9.9%)	20 (16.5%)	<0.001
Astringente	39 (32.2%)	60 (49.6%)	60 (49.6%)	60 (49.6%)	0.007
Refrescante	81 (66.9%)	43 (35.5%)	57 (47.1%)	50 (41.3%)	<0.001

Nota. Los valores corresponden a la frecuencia de mención de cada descriptor sensorial y su respectivo porcentaje respecto al total de panelistas por tratamiento (121 panelistas). La prueba Q de Cochran evaluó diferencias en la selección de cada descriptor entre tratamientos. Se consideró significancia estadística con $p < 0.05$.

Finalmente, en el atributo textura (Tabla 14), los descriptores líquido y viscoso no presentaron diferencias significativas, evidenciando que la textura fue similar entre los tratamientos.

Tabla 14*Distribución de los descriptores de textura y significancia de cada descriptor*

Descriptor	T0	T1	T2	T3	Q Cochran (p-valor)
Líquido	112 (92.6%)	110 (90.9%)	111 (91.7%)	106 (87.6%)	0.499
Viscoso	11 (9.1%)	11 (9.1%)	10 (8.3%)	15 (12.4%)	0.647

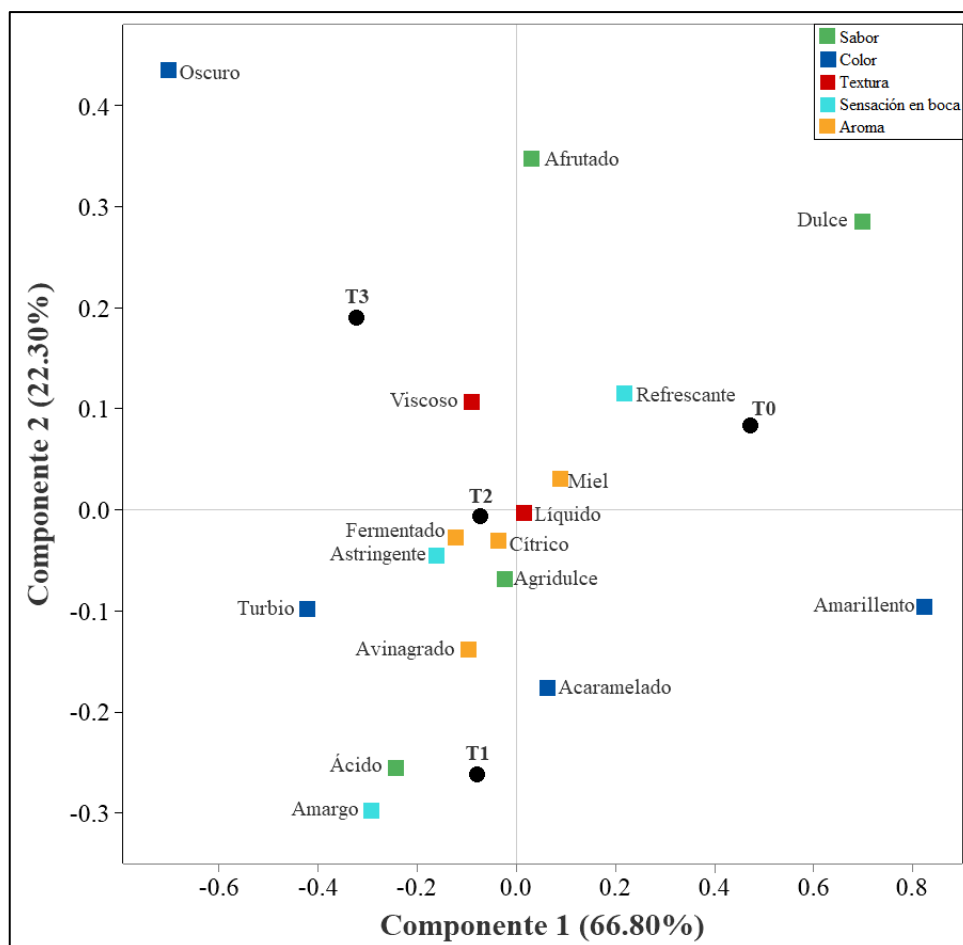
Nota. Los valores corresponden a la frecuencia de mención de cada descriptor sensorial y su respectivo porcentaje respecto al total de panelistas por tratamiento (121 panelistas). La prueba Q

de Cochran evaluó diferencias en la selección de cada descriptor entre tratamientos. Se consideró significancia estadística con $p < 0.05$.

En la figura 11 se obtuvo como resultado de un análisis de correspondencias, una representación gráfica de la relación entre los tratamientos y los descriptores de los atributos sensoriales (sabor, color, textura, sensación en boca y aroma). Este análisis logra explicar el 89.1% (suma de las dos componentes) de la variabilidad de los datos. En el cual se observó que T0 ha sido mayormente caracterizado por un sabor dulce y una sensación en boca refrescante, T1 presentó más un sabor ácido y una sensación en boca de amargura, en el T2 no resaltó alguna caracterización especial con algún descriptor lo que podría ser un perfil neutro; mientras que T3 se asoció más una textura viscosa y un color oscuro.

Figura 11

Análisis de correspondencia entre los descriptores sensoriales y los tratamientos.



Nota: El gráfico es el biplot simétrico del Análisis de Correspondencias Simples (ACS) donde los puntos que estén más cerca del origen (0;0) no representan asociación o correspondencia entre sí; mientras que los puntos alejados definen cada una de las dimensiones.

IV. DISCUSIÓN

4.1. Características fisicoquímicas de la bebida tipo kombucha

En cuanto a los sólidos solubles (°Brix, Tabla 4), se evidenció una disminución significativa en todos los tratamientos conforme avanzó la fermentación, observándose diferencias entre tratamientos y días de evaluación ($p < 0.05$). En el día 0, T0 presentó el mayor contenido de sólidos solubles (11.05), seguido de T1 (10.69), T2 (9.46) y T3 (8.97), tendencia que se mantuvo hasta el día 10, donde T0 registró nuevamente el mayor valor (10.42) y T3 el menor (7.52). Los tratamientos con mayor porcentaje de yacón en el día 0 presentaron menor contenido de °Brix debido a la diferencia composicional entre el jarabe de yacón y la sacarosa. El jarabe de yacón empleado contiene sacarosa en un 14% (Anexo 5) mientras que el azúcar blanca comercial está compuesta por sacarosa superior al 99.7% de pureza (Codex Alimentarius, 2022).

Desde el día 0 hasta el día 10 de fermentación, los tratamientos con mayores porcentajes de jarabe de yacón presentaron la mayor reducción de °Brix, disminuyendo 0.73 °Brix en T2 y 1.45 °Brix en T3. En contraste, T0 y T1 mostraron menores variaciones durante el mismo periodo, con reducciones de 0.63 y 0.36 °Brix, respectivamente. Cohen et al. (2023) en su estudio señalaron que las concentraciones de 10% de sacarosa en la kombucha superaron las necesidades metabólicas del consorcio microbiano durante la fermentación, lo que limitó un mayor consumo de sólidos solubles. Dicho comportamiento fue similar en el presente estudio, donde los tratamientos con mayor contenido de sacarosa, presentaron las menores reducciones de °Brix durante los 10 días de fermentación en comparación con los tratamientos con mayor proporción de jarabe de yacón.

Del mismo modo, el contenido de fructosa (Tabla 4) presentó diferencias significativas entre tratamientos y días de fermentación ($p < 0.05$). En todos los días evaluados, T0 presentó el mayor contenido de fructosa y T3 el menor contenido. Los tratamientos T2 y T3 evidenciaron una disminución progresiva de fructosa durante el tiempo de fermentación, mientras que T0 y T1 mostraron menor variación durante el proceso (Tabla 3). La reducción de fructosa durante la fermentación es explicado por (Kluz et al., 2022), quienes mencionan que los azúcares simples disminuyen progresivamente debido a la actividad de levaduras y bacterias ácido-acéticas. Los resultados evidencian que el incremento de jarabe de yacón modificó

significativamente el comportamiento de la fructosa durante la fermentación, favoreciendo menores concentraciones finales de este azúcar en la bebida tipo kombucha.

En cuanto a la acidez titulable (Tabla 5), se evidenció un incremento significativo en todos los tratamientos conforme avanzó la fermentación, observándose diferencias entre tratamientos y días de evaluación ($p < 0.05$). Desde el día 0, se evidenció que los tratamientos con mayor porcentaje de sustitución presentaron también los mayores valores de acidez, debido a que el jarabe de yacón presenta un alto contenido de ácidos orgánicos, principalmente compuestos fenólicos (Yan et al., 2019). Para los días 8 y 10 no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Al final de la fermentación, T3 mantuvo su comportamiento creciente, mientras que T2 resultó con el menor valor de acidez titulable (5.02 g/L). Todos los tratamientos presentaron al finalizar la fermentación valores de acidez titulable comprendidos entre 5 y 6 g/L. Siendo el rango óptimo de acidez reportado para bebidas de kombucha de 4–5 g/L (Geraris Kartelias et al., 2023; Villarreal-soto et al., 2018), estos resultados evidencian un adecuado desarrollo fermentativo y una elevada producción de ácidos orgánicos durante el proceso.

Dentro de cada tratamiento se observó un incremento progresivo de la acidez durante el tiempo de fermentación. El incremento de la acidez titulable durante la fermentación coincide con el comportamiento reportado en diversos estudios de kombucha, donde las levaduras transforman los azúcares en etanol y posteriormente las bacterias ácido-acéticas oxidan dicho etanol para producir principalmente ácido acético, glucónico y glucurónico (Sinamo et al., 2022; Wang et al., 2022). Por otro lado, el mayor valor de acidez observado en T3 sugiere que la sustitución total de sacarosa por jarabe de yacón favoreció la producción de ácidos orgánicos durante la fermentación. En contraste, T2 presentó el menor incremento de acidez durante el proceso fermentativo, evidenciando que las proporciones intermedias de sacarosa y jarabe de yacón generaron un comportamiento fermentativo diferente respecto a los demás tratamientos.

Por otro lado, la acidez contribuye a la estabilidad microbiológica de la bebida mediante la generación de un ambiente desfavorable para microorganismos patógenos. Aunque en la presente investigación no se haya estudiado la actividad antimicrobiana,

estudios realizados por Phung et al., (2023), empleando cáscaras y corazones de piña como sustrato alternativo al azúcar, demostraron que las bebidas de kombucha con valores de ácido acético de 1.55 g/L y 11.15 g/L respectivamente, pueden inhibir bacterias como *E. coli*, *Salmonella*, *S. aureus* y *L. monocytogenes*. Estos resultados guardan relación con los análisis microbiológicos realizados previos a la evaluación sensorial, donde ninguna muestra superó los límites microbiológicos patógenos establecidos, lo cual sugiere que la acidificación alcanzada durante la fermentación contribuyó a la inocuidad de la bebida. Por otra parte, Kilic y Sengun (2025) señalaron que la presencia de bacterias ácido acéticas podrían evaluarse como potenciales probióticos de la próxima generación.

Con respecto a los azúcares reductores (Tabla 5) expresados como porcentaje de azúcares invertidos, presentaron un comportamiento dependiente tanto de la concentración del jarabe de yacón como del tiempo de fermentación. En el día 0, T2 presentó el mayor contenido de azúcares reductores (0.59%), seguido de T1 (0.43%), T3 (0.32%) y T0 (0.28%). Durante la fermentación, sólo T0 presentó incrementos estables, mientras que el resto de tratamientos presentaron aumentos y caídas. Asimismo, desde el día 0 al día 10, el mayor incremento de azúcares reductores se observó en T3 (+0.31%), seguido de T1 (+0.19%), T0 (+0.18%), mientras que en T2 hubo una pérdida de -0.02%. Estos resultados muestran una tendencia similar a la reportada por Elfirta et al. (2023) quienes evaluaron kombucha elaborada con adición de miel y sacarosa en proporciones 50%:50% y 100% miel respecto al porcentaje de sustrato, durante 14 días de fermentación. Dichos autores observaron que la muestra formulada con 100% miel presentó la mayor cantidad de azúcares reductores al día 14. Asimismo, reportaron un incremento de azúcares reductores en la kombucha elaborada con 100% sacarosa al final de la fermentación, mientras que los tratamientos con 50% miel y 50% sacarosa mostraron una disminución. Los resultados evidencian que la sustitución de sacarosa por jarabe de yacón modificó significativamente el comportamiento de los azúcares reductores durante la fermentación, favoreciendo mayores contenidos residuales de azúcares reductores en los tratamientos con mayor proporción de jarabe de yacón, similar a lo reportado por Phung et al. (2023) con fuentes alternativas de azúcar para reemplazar parcial o totalmente la sacarosa.

En cuanto al pH (Tabla 5) se evidenció una disminución significativa en todos los tratamientos conforme avanzó la fermentación, observándose diferencias entre

tratamientos y días de evaluación ($p < 0.05$). En el día 0, T3 presentó el mayor valor de pH (4.48), seguido de T2 (3.99), T1 (3.81) y T0 (3.67). Dentro de cada tratamiento se observó una disminución progresiva del pH durante el tiempo de fermentación., de modo que al día 10, T3 continuó registrando el mayor valor de pH (3.70), mientras que T0 presentó el menor valor final (2.91). Aun así, al finalizar la fermentación los valores de pH fueron cercanos a 3, siendo el valor ideal para mantener un buen perfil sensorial en la bebida tipo kombucha. (Coton et al., 2017; Villarreal-soto et al., 2018).

La disminución del pH observada durante la fermentación coincide con el comportamiento típico reportado en bebidas tipo kombucha, debido a la producción de ácidos orgánicos generados por el metabolismo del SCOBY (Emiljanowicz y Malinowska-Panczyk, 2019). Aunque durante esta investigación no se realizó una caracterización microbiológica del SCOBY, estudios han demostrado que el género *Acetobacter* (bacterias del ácido acético) son las más predominantes y por tanto durante la fermentación son responsables de la conversión de etanol en ácido acético, contribuyendo directamente a la reducción de pH y al incremento de la acidez titulable (Cardoso et al., 2020; Dartora et al., 2023). En conjunto, los resultados evidencian que la sustitución de sacarosa por jarabe de yacón influyó significativamente sobre el comportamiento del pH durante la fermentación, favoreciendo valores finales menos ácidos en los tratamientos con mayor proporción de jarabe de yacón.

Los parámetros colorimétricos (Tabla 6) evaluados presentaron diferencias significativas entre tratamientos y días de fermentación ($p < 0.05$) evidenciando que la sustitución de sacarosa por jarabe de yacón modificó significativamente las características de color de la bebida tipo kombucha durante la fermentación. Se observó que a partir del cuarto día los valores de los tres parámetros ($L^*a^*b^*$) y el cambio total de color (ΔE) presentaron menores cambios. Respecto a la luminosidad (L^*), T0 presentó los mayores valores durante toda la fermentación, variando de 43.36 a 45.83, mientras que T3 mostró los menores valores iniciales (22.62), incrementándose progresivamente hasta 35.41 al día 10. Estos resultados evidencian que los tratamientos con mayor proporción de jarabe de yacón presentaron tonalidades menos luminosas en comparación con los tratamientos con mayor contenido de sacarosa. Asimismo, el parámetro a^* inicialmente mostró mayores valores en T2 y T3, indicando una tendencia hacia tonalidades rojizas, mientras que T0 presentó los menores valores durante toda la fermentación. En contraste, el parámetro b^* presentó

los mayores valores en T0 (38.05 al día 0), indicando predominio de tonalidades amarillas, mientras que T3 registró los menores valores iniciales (12.54), aumentando progresivamente hasta 27.52 al finalizar la fermentación. En definitiva, al finalizar la fermentación el T3 se caracterizó por presentar menor luminosidad, mayor tendencia al color rojizo y menor tonalidad amarillenta.

El comportamiento conjunto del croma (C^*) y del ángulo hue (h°) permitió interpretar de manera más precisa la intensidad y orientación del color durante la fermentación. T0 presentó los mayores valores de hue durante todo el proceso ($\sim 76\text{--}79^\circ$), indicando predominio de tonalidades amarillas, además de elevados valores de croma (35.84), asociados a colores más intensos y brillantes. En contraste, T3 presentó menores valores de hue ($\sim 42\text{--}59^\circ$), evidenciando una inclinación hacia tonalidades marrón-anaranjadas y rojizas, además de menores valores iniciales de croma (18.74), indicando colores menos saturados y visualmente más oscuros. Conforme avanzó la fermentación, T3 mostró un incremento progresivo del croma hasta 31.81, sugiriendo una intensificación gradual del color durante el proceso fermentativo. Por otro lado, ΔE presentó los mayores valores en T3 durante toda la fermentación, alcanzando 15.95 al día 10, evidenciando que los tratamientos con mayor contenido de jarabe de yacón experimentaron mayores cambios colorimétricos respecto al tratamiento control.

Jayabalan et al. (2014) señalan que la fermentación de kombucha con extractos vegetales altera significativamente el color por la transformación de compuestos bioactivos, principalmente de los compuestos fenólicos. Más adelante, se detalla que los tratamientos con mayor sustitución de sacarosa por jarabe de yacón, presentaron el mayor contenido de fenoles totales, siendo T3 con el valor mayor. Esto mantiene una relación con el estudio realizado por Bishop et al. (2022) quienes han determinado la reducción de la luminosidad de la bebida de kombucha a medida que aumenta la concentración de fenoles totales.

4.2. Características antioxidantes de la bebida tipo kombucha

En cuanto a la capacidad antioxidante, en la Tabla 7 se evidenció que la sustitución de sacarosa por jarabe de yacón influyó directamente sobre esta propiedad funcional de la bebida tipo kombucha. En el día 0, T2 presentó el mayor valor de capacidad antioxidante (2.63), seguido de T3 (2.47), mientras que T0 registró el menor valor (1.27). Esta tendencia se mantuvo durante gran parte de la fermentación, donde T2 y

T3 continuaron presentando los mayores valores antioxidantes. Asimismo, al día 8, T3 alcanzó uno de los mayores valores del estudio (2.51). En cuanto al comportamiento durante el tiempo de fermentación, T0 mostró una reducción progresiva desde 1.96 en el día 4 hasta 1.17 en el día 10, mientras que T2 disminuyó de 2.63 a 1.45 durante el mismo periodo. Por otro lado, T3 mantuvo valores elevados y relativamente estables durante la fermentación, evidenciando una mayor capacidad antioxidante en los tratamientos con mayor proporción de jarabe de yacón. En T1 no se evidenciaron diferencias significativas entre los días de fermentación ($p > 0.05$), así como también en el día 10 no hubo diferencias entre tratamientos. Jafari et al., (2020) tras una exhaustiva revisión de las variables que podrían intervenir en la capacidad antioxidante de la bebida de kombucha reportó que factores como la temperatura, concentración de sacarosa, tasa de inoculación y tiempo de fermentación intervienen en la actividad antioxidante.

En los resultados se observó que la capacidad antioxidante no presentó un comportamiento lineal durante la fermentación, sino fluctuaciones caracterizadas por incrementos y disminuciones en los distintos días evaluados. Ese mismo comportamiento se observó en T0 y T3, posiblemente debido a que cada uno estuvo conformado totalmente por un único tipo de sustrato, sacarosa en T0 y jarabe de yacón en T3. De manera similar, T1 y T2 presentaron patrones de comportamiento semejantes durante la fermentación, lo cual podría atribuirse a que ambos tratamientos contenían proporciones mixtas de sacarosa y jarabe de yacón. Estos resultados sugieren que la composición y proporción del sustrato influyeron significativamente sobre la dinámica de la capacidad antioxidante durante la fermentación de la bebida tipo kombucha.

Neti et al. (2023) realizó análisis de capacidad antioxidante a muestras de kombucha con sustituto de Sacarosa por miel de cacao, donde obtuvo resultados inicialmente bajos, luego un incremento y al finalizar la fermentación un decrecimiento con un valor final de 70.14 ± 1.15 % de inhibición. Dichos resultados son muy similares a lo observado en este estudio, aunque el tratamiento con mejor porcentaje de inhibición fue T3 con un porcentaje de inhibición 81.62% (Anexo 10) equivalente a 1.62 ± 0.20 mg trolox/ mL.

En otro estudio realizado por Ivanišová et al. (2020) determinaron una actividad antioxidante de 1.32 ± 0.005 mg trolox/mL en bebida de kombucha tradicional con azúcar blanca común. Phung et al. (2023) elaboraron kombucha de té negro con corazón y cáscaras de piña en siete proporciones combinadas con azúcar común obteniendo resultados con una mayor inhibición de radicales libres a diferencia del patrón (sólo azúcar). Değirmencioğlu et al. (2020) investigaron el efecto de la miel y hojas secas de olivo en la capacidad antioxidante de la kombucha. Para ello, emplearon miel a 20°Brix y se dejó fermentar por 12 días. Mediante el método ABTS se obtuvieron mejores resultados en las muestras con miel a diferencia de las muestras que contenían 20% de sacarosa.

Estos hallazgos no sólo se ha evidenciado en muestras de kombucha donde se ha sustituido el sustrato de fermentación, sino también en el uso de diferentes materias primas como los mencionados en la revisión de Ferreira de Miranda et al. (2022). Un alimento con alta capacidad antioxidante posee una gran capacidad para neutralizar radicales libres, contribuyendo a la reducción del estrés oxidativo y, por ende, protegiendo a las células de nuestro organismo, así se evita contraer enfermedades y fortalecer nuestro sistema inmunológico (Alfaro & Jamanca, 2017; Gulcin, 2025). En conjunto, los resultados demostraron que una mayor incorporación de jarabe de yacón favoreció una mayor capacidad antioxidante en la bebida tipo kombucha, evidenciando el potencial del jarabe de yacón como posible ingrediente funcional en bebidas fermentadas.

En relación con los fenoles totales (Tabla 7), se observaron diferencias significativas entre tratamientos y días de fermentación ($p < 0.05$), evidenciando que la sustitución de sacarosa por jarabe de yacón influyó directamente sobre el contenido fenólico de la bebida tipo kombucha. En el día 0, T3 presentó el mayor contenido de fenoles (0.39), seguido de T2 (0.34), mientras que T0 registró el menor valor (0.31). Durante la fermentación, los tratamientos con mayor proporción de jarabe de yacón mostraron incrementos progresivos en el contenido de fenoles totales, alcanzando T3 un valor de 0.58 y T2 de 0.61 en el día 8, siendo los mayores valores registrados durante el estudio. En contraste, T0 presentó los menores contenidos fenólicos durante todo el proceso fermentativo, mostrando únicamente ligeras variaciones entre días.

Kuraj & Kolniak-Ostek, (2026) evaluaron los compuestos fenólicos de muestras de kombucha combinando infusión de té negro con zumo de pera como sustrato de fermentación. Los resultados indicaron que los tratamientos con mayor contenido de zumo de pera presentaron el contenido de fenoles totales más altos, respecto al patrón. Asimismo, Velićanski et al. (2014) encontraron que la bebida de kombucha con hojas de toronjil endulzado presentó contenido de fenoles totales de 0.85 mg GAE/mL.

El incremento de fenoles totales durante la fermentación suele ser habitual en bebidas de kombucha (Li et al., 2025) debido a la acción enzimática de las bacterias y levaduras presentes en SCOBY, las cuales hidrolizan compuestos fenólicos presentes en la bebida para que sean fácilmente identificados mediante métodos analíticos (Rukman & Haerussana, 2023). Por otra parte, los fructooligosacáridos (FOS) del jarabe de yacón también contienen compuestos fenólicos que probablemente también influyeron en la mejora de los resultados. En un estudio realizado por Ojwach et al. (2020) se determinó que a mayor purificación de FOS mayor es la actividad antioxidante del mismo y por ende podría aplicarse en alimentos nutraceuticos. Asimismo, Tian et al. (2019) desarrolló una ruta enzimática eficaz para preparar un jarabe rico en fructooligosacáridos (FOS) y con un alto poder antioxidante utilizando la raíz de bardana como materia prima.

La importancia de un alto contenido de compuestos fenólicos está muy relacionada con la capacidad antioxidante y su influencia positiva en la salud humana (Oluwole et al., 2022). En conjunto, los resultados evidencian que la incorporación de jarabe de yacón favoreció significativamente el contenido de fenoles totales de la bebida fermentada, especialmente en los tratamientos con mayores porcentajes de sustitución, mejorando así el potencial antioxidante de la kombucha.

4.3. Cinética de crecimiento de biomasa

Los parámetros de la cinética de crecimiento (Tabla 8) determinan que los datos experimentales fueron fácilmente ajustables mediante el modelo de Gompertz para cada tratamiento, obteniendo coeficientes de determinación $R^2 > 0.95$, lo que asegura la confiabilidad de los resultados, consistente con lo reportado en estudios recientes que validan el modelo de Gompertz como estudio cinético (Bölük et al., 2024; Chatterjee et al., 2015; Pérez, 2022; J. Wang & Guo, 2024).

El ajuste del modelo de Gompertz para el crecimiento de biomasa en los diferentes tratamientos de kombucha, evidenciaron que la sustitución parcial de jarabe de yacón modificó significativamente la cinética de crecimiento microbiano. En términos del parámetro a (biomasa máxima), se observó un incremento progresivo desde T0 (1.257) hasta T3 (1.585), lo que sugiere que el jarabe de yacón favoreció una mayor acumulación de biomasa. Este comportamiento puede atribuirse a la presencia de fructooligosacáridos (FOS) en el yacón, los cuales actúan como prebióticos y promueven el crecimiento de bacterias ácido-acéticas y levaduras presentes en el SCOBY (Campos et al., 2012).

En la tasa máxima de crecimiento ($\mu_{\max}$), T2 con 6% de jarabe de yacón y 4% de azúcar presentó el valor más alto (0.049 h^{-1}) y a su vez el mayor R^2 . Seguido de T1 con 2% de jarabe de yacón y 8% de azúcar con un valor de (0.043 h^{-1}). Sin embargo, el tratamiento T3 con 10% de jarabe de yacón mostró el valor más bajo de tasa máxima de crecimiento (0.029 h^{-1}), lo que explica que el uso único de jarabe de yacón, podría ralentizar el crecimiento microbiano en la bebida de kombucha. Sanwal et al. (2023) afirman que el tipo de azúcar utilizado para la fermentación de kombucha afecta el patrón de utilización de nutrientes de las levaduras y bacterias y, por ende, afectarían a la formación de biopelículas de SCOBY.

En cuanto al tiempo de latencia (λ), coligada a la fase de adaptación de los microorganismos antes de la fase exponencial, los datos obtenidos refuerzan la hipótesis sobre la influencia de la concentración de jarabe de yacón en la cinética de crecimiento de biomasa. En ese sentido, se evidenció que los tratamientos con formulaciones mixtas entre jarabe de yacón y azúcar, correspondientes a T2 y T1, mostraron tiempos de latencia significativamente mayores en comparación con los tratamientos T3 y T0, los cuales utilizaron solo un tipo de sustrato (jarabe de yacón y azúcar, respectivamente). Colque et al. (2023) determinó que menores concentraciones de sacarosa (6%) presentaron los valores más bajos de tiempo de latencia.

Aunque existe una relación directamente proporcional entre la tasa de crecimiento máxima y el tiempo de latencia en los tratamientos con jarabe de yacón, Adkar et al. (2017) demostró mediante el modelo de Gompertz que ambos parámetros responden a procesos fisiológicos distintos y podrían comportarse independientemente entre sí.

La fase de latencia está asociada a la adaptación metabólica al sustrato, mientras que $\mu_{\max}$ refleja la eficiencia del crecimiento una vez que dicha adaptación ha ocurrido.

Por otro lado, el tiempo de duplicación (t_d) reflejó que existe una relación entre los resultados con la concentración de sustrato empleado. El tratamiento T3 presentó el resultado más alto (24.020 h), seguido del control T0 (20.307 h), mientras que T1 y T2 presentaron los valores más bajos. Esto evidencia que el uso de un único sustrato limita la duplicación de los microorganismos, a diferencia de los tratamientos con sustitución parcial de sacarosa por jarabe de yacón, posiblemente debido a la dificultad para hidrolizar los fructooligosacáridos presentes en el jarabe de yacón (Roupar et al., 2022).

Por otra parte, los resultados de t_d demostraron que a pesar de tener una fase de adaptación más larga como en T2, una vez adaptado el sistema, el crecimiento de biomasa es más rápido y por tanto el tiempo de duplicación disminuye. Este comportamiento ha sido descrito en la fermentación de kombucha con zumo de uva roja como sustrato alternativo, donde la disponibilidad sostenida de sustrato mejora la eficiencia metabólica a largo plazo (Ayed et al., 2017).

Adicionalmente, el incremento de biomasa máxima (parámetro a) en tratamientos con mayor proporción de yacón podría tener implicaciones tecnológicas y funcionales, ya que un SCOBY más desarrollado se asocia con mayor producción de compuestos bioactivos, como ácidos orgánicos y polisacáridos con propiedades antioxidantes y prebióticas (Coton et al., 2017). Esto sugiere que el jarabe de yacón no solo modifica la cinética de crecimiento, sino que podría mejorar el perfil antioxidante de la kombucha.

Estos resultados demostraron que los tratamientos con una sustitución parcial de sacarosa por jarabe de yacón obtuvieron la mejor tasa de crecimiento microbiano en comparación con el tratamiento control y T3.

4.4. Características sensoriales de la bebida tipo kombucha

En el atributo aroma (Tabla 10), únicamente el descriptor “avinagrado” presentó diferencias significativas entre tratamientos según la prueba Q de Cochran ($p = 0.033$), registrándose la mayor frecuencia de selección en T2 (24.8%) y la menor en T0 (12.4%). En contraste, los descriptores “cítrico”, “fermentado” y “miel” no mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$). Asimismo, el descriptor “miel” presentó las mayores frecuencias de selección en todos los tratamientos, alcanzando

59.5% en T0, lo que indica que las notas dulces asociadas a la sacarosa predominaron en el perfil aromático de la bebida tipo kombucha, mientras que para los tratamientos T1, T2 y T3 presentaron las mismas frecuencias. Wang et al., (2023). revelaron que las bacterias ácido-acéticas convierten el glicerol en dihidroxiacetona (DHA), el cual puede conferir un aroma dulce en la bebida.

La mayor percepción del descriptor avinagrado en T2 podría relacionarse con el incremento de acidez titulable observado durante la fermentación, ya que este tratamiento presentó un aumento progresivo de acidez desde 3.03 g/L hasta 5.02 g/L y una disminución simultánea del pH desde 3.99 hasta 3.43, comportamiento asociado a la producción de ácidos orgánicos por parte del SCOBY. El aroma avinagrado en kombucha está directamente relacionado con la formación de ácido acético y otros metabolitos volátiles generados durante la fermentación (Alderson et al., 2021).

En el atributo de color (Tabla 11), los descriptores evaluados presentaron diferencias significativas entre tratamientos según la prueba Q de Cochran ($p < 0.05$). El descriptor “acaramelado” predominó en T1 (57.0%) y T2 (55.4%), mientras que T3 presentó la menor frecuencia de selección (31.4%). Por otro lado, el descriptor “amarillento” mostró las mayores frecuencias en T0 (53.7%) y T1 (24.0%), disminuyendo progresivamente conforme aumentó el porcentaje de jarabe de yacón, hasta alcanzar únicamente 2.5% en T3. En contraste, el descriptor “oscuro” presentó un comportamiento opuesto, incrementándose conforme aumentó la proporción de jarabe de yacón, registrándose la mayor frecuencia en T3 (59.5%) y la menor en T0 (3.3%). Asimismo, el descriptor “turbio” presentó mayores frecuencias en T2 (29.8%) y T1 (20.7%), mientras que T0 mostró la menor percepción de turbidez (3.3%).

Los resultados sensoriales obtenidos coinciden con los cambios observados en los parámetros colorimétricos instrumentales. Los tratamientos con mayor contenido de jarabe de yacón presentaron menores valores de luminosidad (L^*) y ángulo hue, evidenciando tonalidades más oscuras y menos amarillas respecto al tratamiento control. En particular, T3 presentó los menores valores de L^* y hue durante gran parte de la fermentación, comportamiento que coincide con la mayor frecuencia de selección del descriptor “oscuro” por parte de los panelistas. Asimismo, el descenso progresivo del descriptor “amarillento” conforme aumentó el porcentaje de jarabe de yacón guarda relación con la reducción de los valores de b^* , parámetro asociado a tonalidades amarillas. Estos resultados sugieren que las modificaciones sensoriales percibidas por los panelistas estuvieron directamente relacionadas con los cambios fisicoquímicos del

color evaluados instrumentalmente. Estos resultados se explican de manera general por Czarnowska-Kujawska et al. (2024) donde afirman que el color de la kombucha cambió dependiendo del sustrato empleado para su producción, encontrando un color marrón claro en kombucha a base de té verde y sacarosa, mientras que en kombucha con grosella negra mostró un color más oscuro. Los resultados evidencian que la incorporación de jarabe de yacón modificó significativamente las características sensoriales del color de la bebida, favoreciendo tonalidades más oscuras y menos amarillentas conforme aumentó el porcentaje de sustitución.

Para el atributo de sabor (Tabla 12), todos los descriptores evaluados presentaron diferencias significativas entre tratamientos según la prueba Q de Cochran ($p < 0.05$). El descriptor “afrutado” presentó las mayores frecuencias de selección en T3 (35.5%) y T0 (33.1%), mientras que T1 mostró la menor frecuencia (10.7%). Por otro lado, el descriptor “agridulce” predominó en T2 (64.5%) y T1 (57.9%), evidenciando mayor percepción de equilibrio entre dulzor y acidez en los tratamientos con sustitución parcial de sacarosa por jarabe de yacón. En contraste, el descriptor “dulce” presentó la mayor frecuencia en T0 (44.6%), disminuyendo progresivamente conforme aumentó el porcentaje de jarabe de yacón, hasta alcanzar 10.7% en T3. Asimismo, el descriptor “ácido” presentó las mayores frecuencias en T1 (46.3%) y T3 (32.2%), mientras que T0 registró la menor percepción ácida (15.7%). La mayor percepción del descriptor “dulce” en T0 coincide con los mayores valores de °Brix observados durante todo el proceso fermentativo, evidenciando una mayor presencia de sólidos solubles y azúcares residuales en el tratamiento formulado únicamente con sacarosa. En contraste, T2 y T3 presentaron menores valores de °Brix y mayores contenidos de azúcares reductores al finalizar la fermentación, comportamiento que podría haber favorecido la percepción del descriptor “agridulce” por parte de los panelistas. Asimismo, la mayor percepción del descriptor “ácido” en T1 y T3 coincide con el incremento de acidez titulable y la disminución del pH observados durante la fermentación, sugiriendo una relación directa entre la producción de ácidos orgánicos y la percepción sensorial del sabor ácido. Los resultados son similares a lo reportado por Ivanišová et al. (2020) quienes determinaron que las kombuchas se describen como agridulces, con sabor a vinagre, con regusto afrutado y agradables al paladar.

En cuanto al atributo sensación en boca (Tabla 13), todos los descriptores evaluados presentaron diferencias significativas entre tratamientos según la prueba Q de Cochran

($p < 0.05$). El descriptor “amargo” presentó la mayor frecuencia de selección en T1 (24.8%), seguido de T3 (16.5%), mientras que T0 registró la menor frecuencia (6.6%). Por otro lado, el descriptor “astringente” presentó mayores frecuencias en T1, T2 y T3 (49.6%), mientras que T0 mostró una menor percepción de astringencia (32.2%). En contraste, el descriptor “refrescante” predominó en T0 (66.9%), disminuyendo progresivamente en T1 (35.5%), T2 (47.1%) y T3 (41.3%). Las diferencias sensoriales observadas podrían relacionarse directamente con las variaciones físicoquímicas registradas durante la fermentación. La mayor percepción de amargor y astringencia en T1, T2 y T3 coincide con el incremento del contenido de fenoles totales observado en dichos tratamientos, especialmente en T2 y T3, los cuales presentaron las mayores concentraciones fenólicas durante la fermentación. Osakabe et al. (2024) han señalado que los compuestos fenólicos poseen una importante influencia sobre sensaciones de amargor y astringencia en bebidas fermentadas debido a su capacidad de interactuar con proteínas salivales. Asimismo, la menor percepción de frescura en los tratamientos con mayor proporción de jarabe de yacón podría estar relacionada con el incremento de acidez titulable y con los cambios en el perfil de sabor observados durante la fermentación. Por otro lado, el predominio del descriptor “refrescante” en T0 podría atribuirse a su mayor contenido residual de azúcares invertidos y menor intensidad de compuestos fenólicos y ácidos orgánicos, lo que habría favorecido una percepción sensorial más ligera y equilibrada. Este comportamiento coincide con los mayores valores de °Brix y menores contenidos fenólicos observados en dicho tratamiento.

Finalmente, en relación al atributo de textura (Tabla 14), los descriptores “líquido” y “viscoso” no presentaron diferencias significativas entre tratamientos según la prueba Q de Cochran ($p > 0.05$). El descriptor “líquido” predominó ampliamente en todos los tratamientos, registrándose frecuencias entre 87.6% y 92.6%, mientras que el descriptor “viscoso” presentó bajas frecuencias de selección, variando entre 8.3% y 12.4%. Estos resultados indican que la sustitución parcial o total de sacarosa por jarabe de yacón no modificó significativamente la percepción de fluidez o viscosidad de la bebida fermentada.

Del análisis sensorial se concluye que la incorporación de jarabe de yacón modificó significativamente el perfil sensorial de la bebida tipo kombucha, evidenciándose diferencias en atributos de aroma, color, sabor y sensación en boca entre tratamientos. Los tratamientos con mayor proporción de jarabe de yacón presentaron mayor percepción de atributos asociados a color oscuro, sabor ácido, agri dulce, amargor y

astringencia, comportamiento relacionado con el incremento de acidez titulable, compuestos fenólicos y cambios colorimétricos observados durante la fermentación. En contraste, los tratamientos con mayor contenido de sacarosa mostraron mayor percepción de dulzor, tonalidades amarillentas y sensación refrescante, asociadas a mayores valores de °Brix y menor intensidad fermentativa.

Por otra parte, en cuanto a la aceptabilidad sensorial (Figura 9) general de los tratamientos evaluados se observó diferencias significativas según el test de Friedman ($p < 0.05$).

El tratamiento T0 presentó el mayor puntaje de aceptabilidad (6.46), diferenciándose significativamente de T1 (5.45) y T3 (5.50), mientras que T2 presentó un valor intermedio (6.03), sin diferencias significativas respecto a T0 ni a los tratamientos de menor aceptabilidad. Resultados similares de Durães et al. (2021) quienes emplearon extracto de yacón para fermentar kombucha y aplicaron una evaluación sensorial por panelistas no entrenados, mostrando resultados con mayor preferencia por la muestra control con azúcar de mesa. La sustitución parcial de sacarosa por jarabe de yacón permitió mantener niveles de aceptación similares al tratamiento control, especialmente en T2.

Los descriptores “afrutado” (1.68) y “dulce” (1.41) influyeron positivamente sobre la aceptabilidad de los tratamientos, mientras que los descriptores “oscuro” (-0.66) y “astringente” (-0.67) ejercieron un efecto negativo sobre la probabilidad de aceptación (Figura 10). Estos resultados sugieren que los panelistas mostraron mayor preferencia por bebidas con perfiles sensoriales asociados a dulzor y notas frutales, mientras que atributos relacionados con un color oscuro y un sabor astringente redujeron la aceptación general de las muestras. Similar a los resultados obtenidos en la presente investigación, Phetxumphou et al. (2023) en un estudio sensorial de bebidas de kombucha fermentadas con dos concentraciones diferente de azúcar realizada por 7 panelistas definieron 43 atributos sensoriales. Las muestras más aceptadas por los panelistas fueron las fermentadas con mayor concentración de azúcar (94 g/L) los cuales se asociaron con atributos sensoriales dulces y aromas frutales, mientras que las muestras fermentadas a menor concentración de azúcar (63 g/L) se asoció con perfiles ácidos y amargos.

Por otro lado, en una reporte donde se elaboraron cuatro muestras de kombucha con sabor a café a cuatro concentraciones, se demostró que sensorialmente los tratamientos mejor aceptados fueron los que presentan mayor concentración de café (10 y 13%), las

cuales a su vez presentaron el contenido de azúcares más alto y la acidez más baja (Senna et al., 2024).

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La incorporación de jarabe de yacón en distintas concentraciones influyó de manera significativa en las características fisicoquímicas de la bebida tipo kombucha durante los diez días de fermentación. Se observó que una mayor concentración de jarabe de yacón modificó el pH, acidez y el aprovechamiento correcto de los azúcares fermentables, debido a la presencia de compuestos que no son muy asimilables por el consorcio microbiano.

La capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales mostraron un aumento con la adición de jarabe de yacón en contraste con el tratamiento control. Las altas concentraciones de jarabe favorecieron el incremento de ambas variables de estudio, resultados que permiten atribuir a la bebida de kombucha su propiedad funcional.

Respecto a la cinética de crecimiento del SCOBY, los valores obtenidos por el modelo de Gompertz determinaron la relación directamente proporcional entre la concentración de jarabe de yacón y el crecimiento de la biomasa. Esto indicó que una mayor concentración de jarabe de yacón permitió maximizar el crecimiento del consorcio.

La aceptabilidad sensorial de las bebidas fue fuertemente influida por la concentración de jarabe de yacón añadida, donde los tratamientos con niveles parciales lograron un mejor balance entre atributos positivos y negativos. Se evidenció que características como el dulzor y notas afrutadas favorecieron la aceptación, mientras que atributos como oscuridad y astringencia disminuyeron la preferencia del consumidor.

5.2. Recomendaciones

Replicar la investigación empleando un diseño factorial que incluya simultáneamente la concentración de jarabe de yacón y la temperatura de fermentación como factores independientes, dado que la fermentación se realizó a temperatura ambiente (21.1/13.3 °C) sin control térmico activo, condición que introduce variabilidad no cuantificada en los resultados fisicoquímicos y cinéticos.

Ampliar el análisis de la capacidad antioxidante incorporando métodos complementarios al DPPH, como ABTS o FRAP, y medir su evolución en puntos temporales más frecuentes (por ejemplo, cada 24 horas en los primeros cuatro días de fermentación), con el propósito de caracterizar con mayor resolución las fluctuaciones observadas y determinar si corresponden a fenómenos de oxidación, degradación de polifenoles o generación de nuevos compuestos durante la fermentación. Asimismo, realizar una caracterización química preliminar del jarabe de yacón comercial empleado, dado que la composición de FOS puede variar según el proveedor y el procesamiento, lo que explicaría parte de la variabilidad no atribuible a la variable independiente.

Evaluar métodos alternativos de cuantificación de biomasa del SCOBY, como densidad óptica (DO_{600}) o recuento de unidades formadoras de colonias (UFC/mL), en complemento al peso húmedo utilizado en esta investigación, con el fin de obtener una descripción más precisa de la dinámica microbiana.

Extender el período de fermentación más allá de los 10 días evaluados, particularmente para el tratamiento T2 (6% yacón), dado que el modelo de Gompertz evidenció que este tratamiento aún no había alcanzado su asíntota máxima al término del estudio. Esto permitiría determinar el tiempo óptimo de fermentación para cada formulación y evaluar la estabilidad de los compuestos bioactivos en la fase estacionaria prolongada.

Replicar la evaluación sensorial con panelistas semientrenados en futuras investigaciones orientadas a la caracterización descriptiva especializada de bebidas fermentadas. Dado que los 121 panelistas de esta investigación correspondieron exclusivamente a la comunidad universitaria de la UNJ, restringe la generalización de los resultados de aceptabilidad a otros segmentos de consumidores. Incorporar

además la medición de intención de compra como variable de estudio para futuros proyectos de inversión que requieran estudios de mercado para planificar la producción.

Evaluar la estabilidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial de T2 (formulación óptima identificada) durante el almacenamiento refrigerado, con mediciones a los 7, 14, 21 y 28 días post-fermentación, como paso necesario para estimar la vida útil del producto y su viabilidad para una eventual transferencia a escala piloto o industrial.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul-Raouf, A.-M., Ahmed A., I., Rehab A., I., Ahmed H., M., Azza, A. Z., & Gamal, E. (2021). Chemical Constitution and Antimicrobial Activity of Kombucha Fermented Beverage. *Molecules*, 26(16), 5026. <https://doi.org/10.3390/molecules26165026>
- Adkar, B. V., Manhart, M., Bhattacharyya, S., Tian, J., Musharbash, M., & Shakhnovich, E. I. (2017). Optimization of lag phase shapes the evolution of a bacterial enzyme. *Nature ecology & evolution*, 1(6), 149. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0149>
- Alderson, H., Liu, C., Mehta, A., Gala, H. S., Mazive, N. R., Chen, Y., Zhang, Y., Wang, S., & Serventi, L. (2021). Sensory Profile of Kombucha Brewed with New Zealand Ingredients by Focus Group and Word Clouds. *Fermentation*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/fermentation7030100>
- Alfaro, S., & Jamanca, N. (2017). *Antioxidantes en los alimentos* [Libro]. Ediciones UNAB.
- AOAC (Ed.). (2006). *Official methods of analysis of AOAC International* (18. ed). AOAC International.
- Ayed, L., Ben Abid, S., & Hamdi, M. (2017). Development of a beverage from red grape juice fermented with the Kombucha consortium. *Annals of Microbiology*, 67(1), 111–121. <https://doi.org/10.1007/s13213-016-1242-2>
- Berzosa, A., Marín-Sánchez, J., Álvarez, I., Sánchez-Gimeno, C., & Raso, J. (2026). Valorization of Brewer's Yeast Biomass Through the Production of Extracts by Pulsed Electric Fields for Enhancing Microbial Growth and Wine Fermentation. *Food and Bioprocess Technology*, 19(3), 109. <https://doi.org/10.1007/s11947-026-04206-3>
- Bishop, P., Pitts, E. R., Budner, D., & Thompson-Witrick, K. A. (2022). Kombucha: Biochemical and microbiological impacts on the chemical and flavor profile. *Food Chemistry Advances*, 1. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100025>

- Bölük, E., Akdeniz, E., Gunes, R., Palabiyik, I., Konar, N., & Toker, O. S. (2024). Determination of the process effect on cocoa butter crystallization by rheometer: Kinetic modeling by Gompertz equation. *Journal of Food Science*, 89(5), 2867–2878. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17040>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Caetano, B., De Moura, N., Almeida, A., Dias, M., Sivieri, K., & Barbisan, L. (2016). Yacon (Smallanthus sonchifolius) as a Food Supplement: Health-Promoting Benefits of Fructooligosaccharides. *Nutrients*, 8(7), 436. <https://doi.org/10.3390/nu8070436>
- Campos, D., Betalleluz-Pallardel, I., Chirinos, R., Aguilar, A., & Norattob, G. (2012). Efectos prebióticos del yacón (Smallanthus sonchifolius Poepp. & Endl), fuente de fructooligosacáridos y compuestos fenólicos con actividad antioxidante. *Química de Alimentos*, 135(3), 1592–1599. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814612009375?via%3Dihub>
- Cardoso, R. R., Neto, R. O., dos Santos D’Almeida, C. T., do Nascimento, T. P., Pressete, C. G., Azevedo, L., Martino, H. S. D., Cameron, L. C., Ferreira, M. S. L., & Barros, F. A. R. de. (2020). Kombuchas from green and black teas have different phenolic profile, which impacts their antioxidant capacities, antibacterial and antiproliferative activities. *Food Research International*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108782>
- Chatterjee, T., Chatterjee, B. K., Majumdar, D., & Chakrabarti, P. (2015). Antibacterial effect of silver nanoparticles and the modeling of bacterial growth kinetics using a

- modified Gompertz model. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, 1850(2), 299–306. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2014.10.022>
- Codex Alimentarius. (2022). *Norma para los azúcares (CXS 212-1999)* (pp. 1–7). Comisión del Codex Alimentarius.
- Cohen, G., Sela, D. A., & Nolden, A. A. (2023). Sucrose Concentration and Fermentation Temperature Impact the Sensory Characteristics and Liking of Kombucha. *Foods*, 12(16), 3116. <https://doi.org/10.3390/foods12163116>
- Colque, E. J., Chambl-Rodríguez, A. D., & Pampa-Quispe, N. B. (2023). Caracterización y modelado del crecimiento microbiano en el desarrollo de una bebida probiótica no láctea de extracto vegetal de tarwi (*Lupinus mutabilis* S.). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 25(1), 41–48. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.501>
- Coton, M., Pawtowski, A., Taminiau, B., Burgaud, G., Deniel, F., Coulloume-Labarthe, L., Fall, A., Daube, G., & Coton, E. (2017). Unraveling microbial ecology of industrial-scale Kombucha fermentations by metabarcoding and culture-based methods. *FEMS Microbiology Ecology*, 93(5). <https://doi.org/10.1093/femsec/fix048>
- Czarnowska-Kujawska, M., Klepacka, J., Starowicz, M., & Lesińska, P. (2024). Functional Properties and Sensory Quality of Kombucha Analogs Based on Herbal Infusions. *Antioxidants*, 13(10), 1191. <https://doi.org/10.3390/antiox13101191>
- Dallali, D., Fakhfakh, J., Paris, C., Hamden, K., Varbanov, M., & Allouche, N. (2024). Fructooligosaccharides from *Cynoglossum tubiflorus*: Effect of the molecular size on their antidiabetic activity in high-fat diet and alloxan induced diabetic rats. *Bioorganic Chemistry*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2024.107100>
- Dartora, B., Hickert, L. R., Fabricio, M. F., Ayub, M. A. Z., Furlan, J. M., Wagner, R., Perez, K. J., & Sant'Anna, V. (2023). Understanding the effect of fermentation time on

- physicochemical characteristics, sensory attributes, and volatile compounds in green tea kombucha. *Food Research International*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113569>
- Değirmencioğlu, N., Yildiz, E., Guldaz, M., & Gurbuz, O. (2020). Health Benefits of Kombucha Tea Enriched with Olive Leaf and Honey. *Journal of Obesity and Chronic Diseases*, 04(01). <https://doi.org/10.17756/jocd.2020-031>
- Diario Oficial de las Comunidades Europeas. (1969). *Métodos de determinación de calidad aplicables al azúcar comprado por los organismos de intervención* [Reglamento]. <https://www.boe.es/doue/1969/163/L00001-00006.pdf>
- Durães, G. C. S., Pires, B. A. M., & Lins, T. C. L. (2021). Kombucha based synbiotic beverage using Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a fermentation substrate: Development and sensorial analysis. *Food Research*, 5(4), 66–71. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(4\).703](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(4).703)
- Elfirta, R. R., Ferdian, P. R., Setyawan, R. H., Saskiawan, I., Mahani, Nurjanah, N., Priyadi, A., Anggita, S., & Manullang, E. S. D. (2023). Changes in titrable acidity, pH, and reducing sugars of ganoderma kombucha with honey after the fermentation process. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1271(1), 012078. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1271/1/012078>
- Emiljanowicz, E., Katarzyna, & Malinowska-Panczyk, E. (2019). Kombucha from alternative raw materials – The review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(19), 3185–3194. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1679714>
- Ferreira de Miranda, J. F., Ruiz, L. F., Silva, C. B., Uekane, T. M., Silva, K. A., Gonzalez, A. G. M., Fernandes, F. F., & Lima, A. R. (2022). Kombucha: A review of substrates, regulations, composition, and biological properties. *Journal of Food Science*, 87(2), 503–527. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16029>

- Geraris Kartelias, I., Karantonis, H. C., Giaouris, E., Panagiotakopoulos, I., & Nasopoulou, C. (2023). Kombucha Fermentation of Olympus Mountain Tea (*Sideritis scardica*) Sweetened with Thyme Honey: Physicochemical Analysis and Evaluation of Functional Properties. *Foods*, 12(18), 3496. <https://doi.org/10.3390/foods12183496>
- Gulcin, İ. (2025). Antioxidants: A comprehensive review. *Archives of Toxicology*, 99(5), 1893–1997. <https://doi.org/10.1007/s00204-025-03997-2>
- GVR Consumer. (2026). *Kombucha Market Size And Share | Industry Report, 2033*. Kombucha Market (2026 - 2033). <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/kombucha-market>
- Informes de Expertos. (2025). *Mercado Latinoamericano de Té de Kombucha | Tamaño de la Industria, Participación, Crecimiento, Informe, Análisis 2026-2035*. Informes de Expertos. <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-latinoamericano-de-te-de-kombucha>
- Ivanišová, E., Meňhartová, K., Terentjeva, M., Harangozo, L., Kántor, A., & Kačániová, M. (2020a). The evaluation of chemical, antioxidant, antimicrobial and sensory properties of kombucha tea beverage. *Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 1840–1846. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04217-3>
- Ivanišová, E., Meňhartová, K., Terentjeva, M., Harangozo, L., Kántor, A., & Kačániová, M. (2020b). The evaluation of chemical, antioxidant, antimicrobial and sensory properties of kombucha tea beverage. *Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 1840–1846. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04217-3>
- Jafari, R., Naghavi, N. S., Khosravi-Darani, K., Doudi, M., & Shahanipour, K. (2020). Kombucha microbial starter with enhanced production of antioxidant compounds and invertase. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 29, 101789. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101789>

- Jakubczyk, K., Kałduńska, J., Kochman, J., & Janda, K. (2020). Chemical profile and antioxidant activity of the kombucha beverage derived from white, green, black and red tea. *Antioxidants*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/antiox9050447>
- Jayabalan, R., Malbaša, R. V., Lončar, E. S., Vitas, J. S., & Sathishkumar, M. (2014). A review on kombucha tea-microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity, and tea fungus. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 538–550. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12073>
- Kilic, G., & Sengun, I. Y. (2025). As next-generation probiotics: Acetic acid bacteria isolated from Kombucha beverages produced with Anatolian hawthorn leaves. *International Microbiology: The Official Journal of the Spanish Society for Microbiology*, 28(4), 643–665. <https://doi.org/10.1007/s10123-024-00568-w>
- Kluz, M. I., Pietrzyk, K., Pastuszcak, M., Kacaniova, M., Kita, A., Kapusta, I., Zagula, G., Zagrobelna, E., Struś, K., Marciniak-Lukasiak, K., Stanek-Tarkowska, J., Timar, A. V., & Puchalski, C. (2022). Microbiological and Physicochemical Composition of Various Types of Homemade Kombucha Beverages Using Alternative Kinds of Sugars. *Foods*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/FOODS11101523>
- Kuraj, A., & Kolniak-Ostek, J. (2026). Dose-Dependent Effects of Pear (*Pyrus communis* L.) Juice on Kombucha Polyphenols, Antioxidant Capacity, and Enzyme Inhibition. *Molecules*, 31(2), 371. <https://doi.org/10.3390/molecules31020371>
- Li, X., Tso, N., Huang, S., Wang, J., Zhou, Y., & Liu, R. (2025). A Comprehensive Evaluation of Microbial Synergistic Metabolic Mechanisms and Health Benefits in Kombucha Fermentation: A Review. *Biology*, 14(8), 952. <https://doi.org/10.3390/biology14080952>
- Liu, T., Bai, H., Wang, S., Gong, W., Li, G., & Wang, Z. (2023). In vitro simulated canine and feline gastrointestinal digestion of fructooligosaccharides and

- isomaltooligosaccharides and their effects on intestinal microbiota. *Animal Feed Science and Technology*, 306. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115821>
- Liu, Y., Zheng, Y., Yang, T., Mac Regenstein, J., & Zhou, P. (2022). Functional properties and sensory characteristics of kombucha analogs prepared with alternative materials. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 608–616. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.11.001>
- Mendelson, C., Sparkes, S., Merenstein, D. J., Christensen, C., Sharma, V., Desale, S., Auchtung, J. M., Kok, C. R., Hallen-Adams, H. E., & Hutkins, R. (2023). Kombucha tea as an anti-hyperglycemic agent in humans with diabetes – a randomized controlled pilot investigation. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1190248>
- Mendoza Isaza, N. A., Hoyos–Arbeláez, J. A., & Peláez-Jaramillo, C. A. (2020). Capacidad antioxidante y contenido de polifenoles totales de extractos de tallo de Stevia rebaudiana en varios modelos in vitro. *Revista EIA*, 17(34), 1–9. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i34.1282>
- Moccia, T., Antuña, C., Bruzone, C., Burini, J. A., Libkind, D., & Alvarez, L. P. (2024). First Characterization of Kombucha Beverages Brewed in Argentina: Flavors, Off-Flavors, and Chemical Profiles. *International Journal of Food Science*, 2024(1), 8677090. <https://doi.org/10.1155/2024/8677090>
- Mohd, R., Chai, X. Y., Chang, L. S., Fazry, S., Othman, B. A., Babji, A. S., & Lim, S. J. (2023). Recent trends in Kombucha: Conventional and alternative fermentation in development of novel beverage. *Food Bioscience*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102714>
- Moreira, G. V., Araujo, L. C. C., Murata, G. M., Matos, S. L., & Carvalho, C. R. O. (2022). Kombucha tea improves glucose tolerance and reduces hepatic steatosis in obese

- mice. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 155.
<https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113660>
- Neti, Y., Fibra, N., Gusrianti W., S., Sumardi, & Widiastuti, E. L. (2023). Total microbe, physicochemical property, and antioxidative activity during fermentation of cocoa honey into kombucha functional drink. *Applied Food Research*, 3(1).
<https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100297>
- Ojwach, J., Kumar, A., Mukaratirwa, S., & Mutanda, T. (2020). Fructooligosaccharides synthesized by fructosyltransferase from an indigenous coprophilous *Aspergillus niger* strain XOBP48 exhibits antioxidant activity. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 24, 100238. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2020.100238>
- Oluwole, O., Fernando, W. B., Lumanlan, J., Ademuyiwa, O., & Jayasena, V. (2022). Role of phenolic acid, tannins, stilbenes, lignans and flavonoids in human health – a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(10), 6326–6335.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.15936>
- Osakabe, N., Shimizu, T., Fujii, Y., Fushimi, T., & Calabrese, V. (2024). Sensory Nutrition and Bitterness and Astringency of Polyphenols. *Biomolecules*, 14(2), 234.
<https://doi.org/10.3390/biom14020234>
- Pérez, A. (2022). *Modelación matemática de la cinética de crecimiento de bacterias ácido lácticas para su uso aditivo microbiano en la alimentación animal*. 20(1).
- Perú 21. (2022, septiembre 28). *Kombucha, la bebida fermentada que se abre paso en el mercado peruano*. <https://peru21.pe/gastronomia/kombucha-bebida-kombucha-la-bebida-fermentada-que-se-abre-paso-en-el-mercado-peruano-noticia/>
- Phetxumphou, K., Vick, R., Blanc, L., & Lahne, J. (2023). Processing Condition Effects on Sensory Profiles of Kombucha through Sensory Descriptive Analysis. *Journal of the*

- American Society of Brewing Chemists*, 81(1), 99–108.
<https://doi.org/10.1080/03610470.2021.2022879>
- Phung, L. T., Kitwetcharoen, H., Chamnipa, N., Boonchot, N., Thanonkeo, S., Tippayawat, P., Klanrit, P., Yamada, M., & Thanonkeo, P. (2023). Changes in the chemical compositions and biological properties of kombucha beverages made from black teas and pineapple peels and cores. *Scientific Reports*, 13(1), 7859.
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-34954-7>
- Prodeca. (2023, diciembre 13). *El Auge de la Kombucha en España: Un crecimiento exponencial del 580% en dos años* | Prodeca.
<https://www.prodeca.cat/es/actualidad/el-auge-de-la-kombucha-en-espana-un-crecimiento-exponencial-del-580-en-dos-anos>
- Roupar, D., Coelho, M. C., Gonçalves, D. A., Silva, S. P., Coelho, E., Silva, S., Coimbra, M. A., Pintado, M., Teixeira, J. A., & Nobre, C. (2022). Evaluation of Microbial-Fructo-Oligosaccharides Metabolism by Human Gut Microbiota Fermentation as Compared to Commercial Inulin-Derived Oligosaccharides. *Foods*, 11(7), 954.
<https://doi.org/10.3390/foods11070954>
- Rukman, M. S., & Haerussana, A. N. E. M. (2023). The effect of different sweeteners on the free radical scavenging activities, alcohol contents, sugar reductions, and hedonic properties of green tea kombucha. *Pharmaceutical Sciences Asia*, 50(1), 51–58.
<https://doi.org/10.29090/psa.2023.01.22.340>
- Sanwal, N., Gupta, A., Bareen, M. A., Sharma, N., & Sahu, J. K. (2023). Kombucha fermentation: Recent trends in process dynamics, functional bioactivities, toxicity management, and potential applications. *Food Chemistry Advances*, 3, 100421.
<https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100421>

- Senna, M., Wilton, D. S., & Mamede, M. E. de O. (2024). Coffee-Flavoured Kombucha: Development, Physicochemical Characterisation, and Sensory Analysis. *Fermentation*, 10(7), 334. <https://doi.org/10.3390/fermentation10070334>
- Sinamo, K. N., Ginting, S., & Pratama, S. (2022). Effect of sugar concentration and fermentation time on secang kombucha drink. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 977(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/977/1/012080>
- Tian, K., Wang, J., Zhang, Z., Cheng, L., Jin, P., Singh, S., Prior, B. A., & Wang, Z.-X. (2019). Enzymatic preparation of fructooligosaccharides-rich burdock syrup with enhanced antioxidative properties. *Electronic Journal of Biotechnology*, 40, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.04.009>
- Tjørve, K. M. C., & Tjørve, E. (2017). The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards family. *PLOS ONE*, 12(6), e0178691. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178691>
- Valdiviezo, M., Sinha, S. P., & Barreto, S. (2009). Modelación de la apariencia de la harina de maíz usando regresión logística. *SABER*, 21(2), 171. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427739440009>
- Velićanski, A. S., Cvetković, D. D., Siniša, M., Vulić, J. J., & Vesna, T. (2014). Antioxidant and Antibacterial Activity of the Beverage Obtained by Fermentation of Sweetened Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.) Tea with Symbiotic Consortium of Bacteria and Yeasts. *Food Technology and Biotechnology*, 52(4), 420–429. <https://doi.org/10.17113/ftb.52.04.14.3611>
- Villarreal-soto, S. A., Beaufort, S., Bouajila, J., Souchard, J., & Taillandier, P. (2018). Understanding Kombucha Tea Fermentation: A Review. *Journal of Food Science*, 83(3). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14068>

- Wakeling, I. N., & MacFie, H. J. H. (1995). Designing consumer trials balanced for first and higher orders of carry-over effect when only a subset of k samples from t may be tested. *Food Quality and Preference, Second Sensometrics Meeting*, 6(4), 299–308. [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(95\)00032-1](https://doi.org/10.1016/0950-3293(95)00032-1)
- Wang, B., Rutherford-Markwick, K., Naren, N., Zhang, X.-X., & Mutukumira, A. N. (2023). Microbiological and Physico-Chemical Characteristics of Black Tea Kombucha Fermented with a New Zealand Starter Culture. *Foods*, 12(12), 2314. <https://doi.org/10.3390/foods12122314>
- Wang, B., Rutherford-Markwick, K., Zhang, X.-X., & Mutukumira, A. N. (2022). Kombucha: Production and Microbiological Research. *Foods*, 11(21), 3456. <https://doi.org/10.3390/foods11213456>
- Wang, J., & Guo, X. (2024). The Gompertz model and its applications in microbial growth and bioproduction kinetics: Past, present and future. *Biotechnology Advances*, 72, 108335. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2024.108335>
- Yan, M. R., Welch, R., Rush, E. C., Xiang, X., & Wang, X. (2019). A Sustainable Wholesome Foodstuff; Health Effects and Potential Dietotherapy Applications of Yacon. *Nutrients*, 11(11), 2632. <https://doi.org/10.3390/nu11112632>
- Yao, D., Wu, M., Dong, Y., Ma, L., Wang, X., Xu, L., Yu, Q., & Zheng, X. (2022). In vitro fermentation of fructooligosaccharide and galactooligosaccharide and their effects on gut microbiota and SCFAs in infants. *Journal of Functional Foods*, 99. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105329>
- Zubaidah, E., Ifadah, R. A., Kalsum, U., Lyrawati, D., Putri, W. D. R., Sriantha, I., & Blanc, P. J. (2018). Anti-diabetes activity of Kombucha prepared from different snake fruit cultivars. *Nutrition and Food Science*, 49(2), 333–343. <https://doi.org/10.1108/NFS-07-2018-0201>

Zwietering, M. H., Jongenburger, I., Rombouts, F. M., & Van 'T Riet, K. (1990). Modeling of the Bacterial Growth Curve. *Applied and Environmental Microbiology*, 56(6), 1875–1881. <https://doi.org/10.1128/aem.56.6.1875-1881.1990>

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, elevamos nuestra gratitud a Dios, por ser nuestra fortaleza y el pilar fundamental que sostuvo nuestra voluntad en los momentos de mayor desafío, permitiéndonos culminar con éxito este proyecto de investigación.

A nuestros asesores, Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce y Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano, quienes han sido muy generosos al compartir sus conocimientos. Gracias por su tiempo, paciencia y dedicación constante que fue clave para lograr cada uno de los objetivos alcanzados.

Expresamos nuestro profundo y sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza por abrirnos sus puertas y facilitarnos el uso de sus excelentes instalaciones y equipos de laboratorio. Hacemos una mención especial al Dr. Yves Yoplac Tafur, docente de la casa de estudios en mención, que con su guía técnica, paciencia y total disposición nos instruyó en la ejecución de cada uno de los análisis realizados en esta investigación y por depositar total confianza en nosotras, al poner a nuestra entera disposición los equipos y reactivos del Laboratorio de Nutrición Animal y Bromatología de Alimentos.

A nuestra alma mater, la Universidad Nacional de Jaén y de manera especial a la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, por el respaldo institucional y permitirnos usar sus distintos laboratorios. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a la Escuela Profesional de Tecnología Médica por su generoso aporte de reactivos microbiológicos, lo cual permitió que esta investigación tuviera un enfoque interdisciplinario. En ese sentido, agradecemos a su docente Dr. Blgo. Cristhian Rivera Salazar, por su invaluable enseñanza y acompañamiento durante el proceso de análisis microbiológicos.

Finalmente, queremos agradecer a nuestros familiares, amigos y compañeros, quienes han sido un soporte emocional necesario para no rendirnos. A todos aquellos que, con una palabra de aliento o un gesto de confianza, nos impulsaron a continuar.

DEDICATORIA

A Dios, quien ha sido mi fortaleza inquebrantable para no rendirme y esa luz que me guio en la toma de mis decisiones, quien me brindó la paciencia y sabiduría necesaria para transformar los días difíciles en peldaños hacia este logro.

A mis padres, Sonia Aranda Carrión y Segundo Díaz Huamán, cuyo amor infinito, palabras de aliento y soporte emocional han sido pieza fundamental de todo mi proceso universitario. Sin su entrega no sería lo que soy hoy, que sepan que los amo inmensamente y que siempre me sentiré bendecida por tenerlos y eternamente agradecida con Dios, por darme unos padres ejemplares, que de ellos aprendí a levantarme las veces que sean necesarias y que me enseñaron a perseguir mis sueños con valentía. Este triunfo es, ante todo, en honor a ustedes.

A mis hermanas Gissela, Lisbeth y Katherine y hermano Joel, quienes con su presencia constante y palabras de aliento fueron parte esencial de este proceso, motivándome siempre a seguir adelante.

Y por eso, este logro es tanto mío como suyo.

Sonia Estefanía Díaz Aranda

A Dios, por ser mi guía, mi fortaleza y por darme la oportunidad de seguir adelante cada día, protegiéndome y acompañándome en este camino.

A mi madre, Olinda Saucedo Ruíz, por su amor incondicional, su infinita paciencia y confianza; por impulsarme a seguir adelante, por cada abrazo que me devolvió la calma y por ser en todo momento, mi mayor soporte. A mi padre, Adriano Cercado Gonzales, por su amor, su apoyo constante y su esfuerzo incansable. Gracias a ambos por enseñarme con su vida, el valor del trabajo, la dedicación y la constancia; por guiarme con sus consejos y brindarme siempre su respaldo. Mi amor, gratitud y admiración hacia ustedes es invaluable.

A mis hermanas, Deysi y Neyla, y a mi hermano Ángel, por su cariño, su apoyo y cada gesto que me brindó aliento para continuar. A quienes confiaron en mí y me brindaron su apoyo a lo largo de este proceso, contribuyendo a la culminación de este trabajo.

Elva Seleni Cercado Saucedo

ANEXOS

Anexo 1

Elaboración de la bebida tipo kombucha con jarabe de yacón



A



B



C



D

Nota. (A) Obtención de té negro (B) Filtrado (C) Adición de jarabe de yacón disuelto en té negro (D) Adición de inóculo activador



E



F



G

Nota. (E) Adición del consorcio microbiano (SCOBY) (F) Tratamientos cubiertos con paño para iniciar la fermentación (G) Insumos empleados de izquierda a derecha SCOBY, Jarabe de yacón, té negro

Anexo 2

Determinación de métodos analíticos



A



B



C



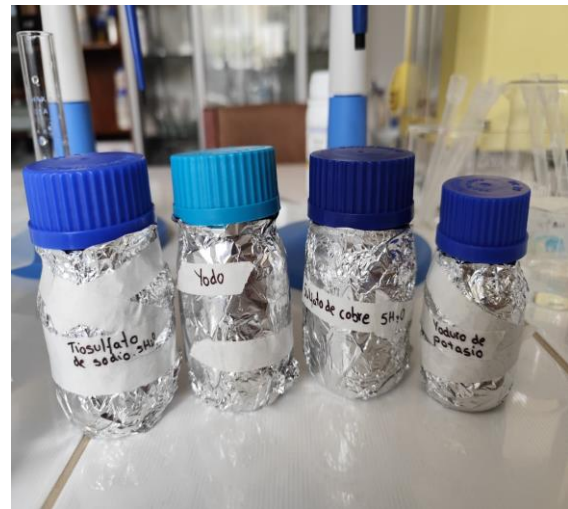
D



Nota. (A) Medición de acidez titulable (B) Medición de volumen de muestra (C) Pesado en balanza analítica (D) Medición de antioxidantes mediante el método DPPH (E) Medición de fenoles totales (F) Microplacas con muestras analizadas



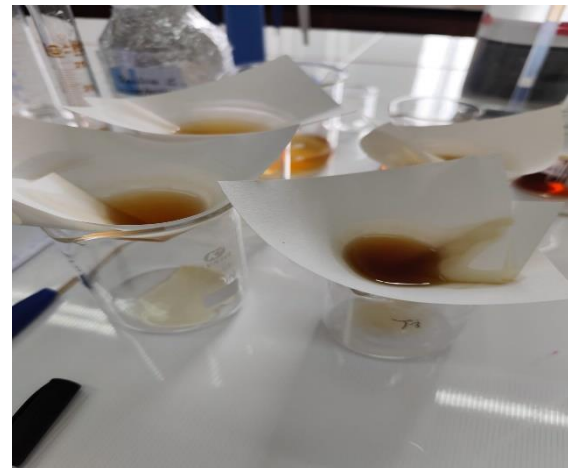
G



H



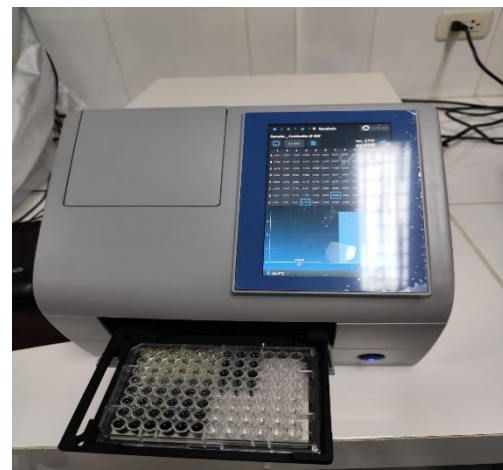
I



J



K

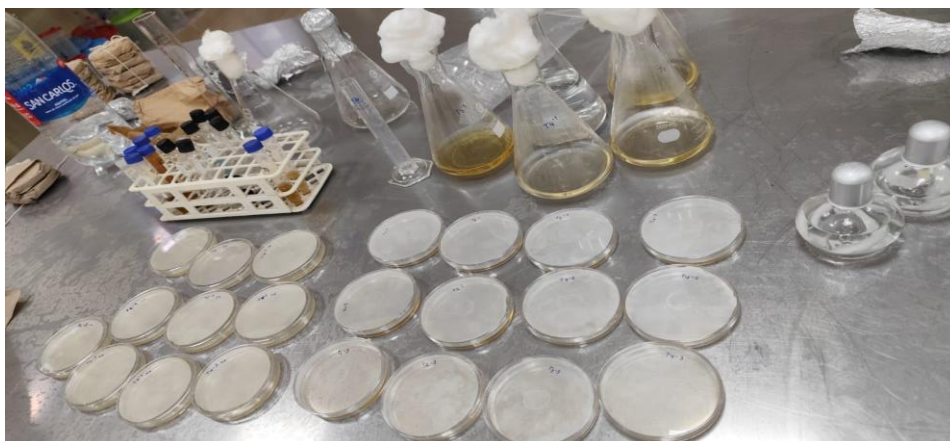


L

Nota. (G) Medición de color en colorímetro digital (H) Reactivos para la solución de Muller (I) Medición de sólidos solubles en refractómetro automático (J) Filtrado de muestras (K) Medición de pH (L) Salida de microplaca del espectrofotómetro

Anexo 3

Análisis microbiológicos y evaluación sensorial



A



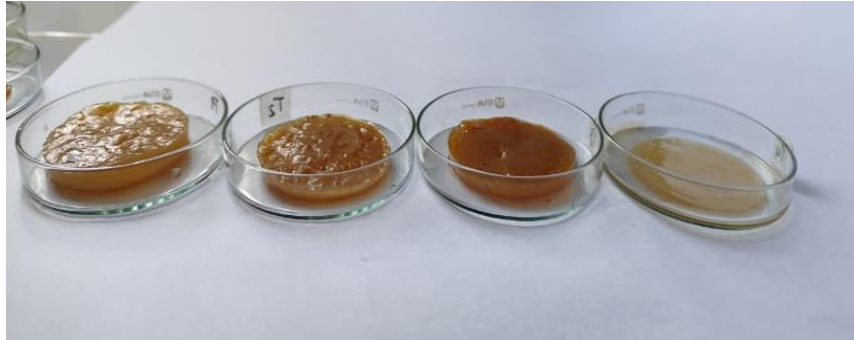
B



Nota. (A) Análisis microbiológicos (B) Recolección de perfiles sensoriales (C) Evaluación sensorial mediante CATA

Anexo 4

Determinación de la cinética de crecimiento



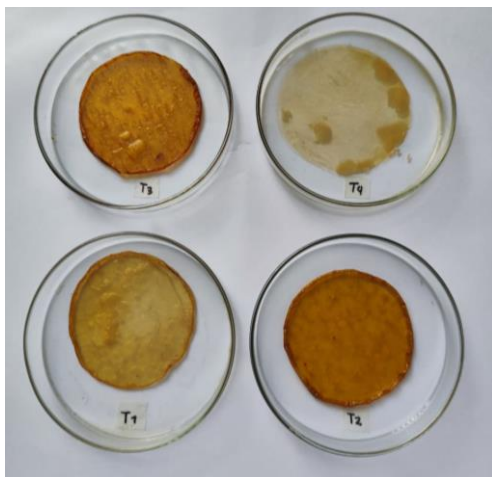
A



B



C



D



E

Nota. (A) SCOBYs resultantes del día 8 de la fermentación (B) Tratamientos del día 10 (C) Secado en estufa a 60 °C por 24 horas (D) SCOBYs secos (E) Pesado de SCOBY seco

Anexo 5

Ficha Técnica del Jarabe de Yacón

FICHA DE PRODUCTO - JARABE DE YACÓN PREMIUM						
NOMBRE DE LA EMPRESA		AGROENSANCHA S.R.L.				
RUC		20482089594				
CONTACTO		LIZ JUDITH FLORES HUAYLLA				
TELÉFONO		957 819 664				
CÓDIGO		MJYC006				
IMAGEN		DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO				
		Producto obtenido de los tubérculos de yacón, pasando por un proceso de selección, limpieza, desinfección, separación de la pulpa y concentración del jarabe; cumpliendo debidamente con los parámetros de calidad; para garantizar un producto terminado inocuo para la salud.				
INGREDIENTES		Yacón (tubérculo) (<i>Smallanthus sonchifolius</i> (Poepp.) H. Rob.).				
PRESENTACIÓN		CONTENIDO		UNIDAD MÍNIMA DE PEDIDO		
Jarabe de Yacón		Frasco de vidrio x 300g		Pack x 4		
CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS		COLOR		Marrón oscuro.		
		APARIENCIA		Espesa.		
		OLOR		Característico al producto.		
		TEXTURA		Viscosa.		
		SABOR		Agradable y ligeramente dulce.		
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS		ENSAYO		LÍMITES		
		CENIZAS		6.2		
		SOLIDOS SOLUBLES		75		
CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS (R.M.591.2008-SA/DM)		AGENTES MICROBIOLÓGICOS		LÍMITE POR UFC/G		
		Aerobios mesófilos		103 - 104		
		Enterobacterias		<1 - 10		
		Levaduras osmófilas		10 - 102		
		Mohos		10 - 102		
INFORMACIÓN NUTRICIONAL		POR PORCIÓN DE 100 GR				
		Carbohidratos totales (g)		105	Sacarosa libre (g)	14
		FOS (g)		61	Proteínas (g)	4.9
		Glucosa libre (g)		4.5	Lípidos (mg)	311
		Fructosa libre (g)		7.5	Fibra (g)	3.7
		Potasio (mg)		1999	-	-
CONDICIONES DE CONSERVACIÓN		El producto se debe conservar en un lugar fresco con una adecuada ventilación y no expuesto a la luz solar, debe estar bajo techo.				
ENVASE PRIMARIO		Presentación x 300g: Frasco de vidrio transparente c/tapa metálica.				
SISTEMA DE VERIFICACIÓN DE LOTE		Lote (código de producto, código variante, semana, día y año) y fecha de vencimiento (mes-año).				
VIDA ÚTIL		2 años, conservando en su envase original y almacenando en un lugar fresco, libre de humedad, calor y de la luz directa.				
REGISTRO SANITARIO		F5604822N/LAARSR-DIGESA				

Nota. Ficha Técnica del Jarabe de Yacón brindada por el proveedor AGROENSANCHA S.R.L

Anexo 6

Ficha Técnica del consorcio microbiano SCOPY



FERMENTOS & KOMBUCHA PERÚ S.A.C.S
RUC: 20610238301

FICHA TÉCNICA SCOPY KOMBUCHA

1. Características Generales

1.1 Nombre del producto: SCOPY en 350ml de líquido activador y capa de celulosa de 17cm de diámetro.

1.2 Tipo de alimento: No perecible

1.3 Descripción: Cultivo en líquido de una simbiosis de bacterias y levaduras con una masa de celulosa de 2cm de grueso y 17 cm de diámetro utilizado para la preparación de kombucha.

1.4 Marca Comercial: Kombucha Perú

1.5 Composición: El líquido activador se prepara haciendo una infusión de agua con té negro puro (8g/L) y azúcar blanco granulado (80g/L) e inoculando la preparación con un cultivo previo de SCOPY líquido (500ml/L). La mezcla se deja fermentar por 20 días a una temperatura constante de 28 grados centígrados y luego es almacenado en envases de vidrio a una temperatura de 22 grados centígrados hasta su empaquetado para despacho.

Las capas de celulosa son fabricadas mezclando 50% de infusión de té negro azucarado 8g/L y 80g/L respectivamente y 50% de líquido activador y dejando fermentar en envases de vidrio por 7 días hasta que la capa se haya formado de manera uniforme.

2. Características Específicas:

2.1 Características Organolépticas:

Característica	Especificación
Olor	Característico. Sutil parecido al vinagre.
Sabor	Característico. Notas de vinagre de manzana y té
Color	Amarillento - dorado claro.
Aspecto	Líquido turbulento con trazos de levadura marrón y otros subproductos de la fermentación como la película de celulosa.



FERMENTOS & KOMBUCHA PERÚ S.A.C.S
RUC: 20610238301

2.2 Características Físico Químicas:

Característica	Especificación
Densidad	1.0108 g/ml
Grado alcohólico	<0.95 %v
pH	2.89 (T=20°C)
Acidez Total (ácido acético)	1.04 (g/100ml)
Sólidos solubles	3 °Brix
Arsénico	<0.10 (mg/L)
Cobre	0.14 (mg/L)
Hierro	0.14 (mg/L)
Plomo	<0.04 (mg/L)
Zinc	<0.13 (mg/L)

Ref: Informe de ensayo: N° DT-05633-01-2023

2.3 Características Microbiológicas:

Característica	Especificación
Anguítulas	Ausencia
Hongos: Levaduras Numeración	51 x 10 ³ (ufc / ml)
Hongos: Mohos Numeración	<1 (ufc / ml)

Ref: Informe de ensayo: N° DT-05633-01-2023

2.4 Alérgenos: No presenta

3. Presentación:

3.1 Presentación y envases:

Tipo	Material	Medida	Capacidad
Envase Primario	PEDB + PET	14 x 20 cm	250g
Envase Secundario	Cartón corrugado	15 x 15 x 18 cm	5 envases primarios
Envase Secundario	Cartón corrugado	23 x 30 x 26 cm	10 envases primarios

3.2 Vida Útil: 30 días sin uso en bolsa sellada. 90 días sin uso en frasco de vidrio. Vida útil ilimitada condicionado a conservación y alimentación del cultivo.

3.3 Peso Neto: 400g

3.4 Contenido Neto: 350ml de líquido / 40g de película de celulosa

FERMENTOS & KOMBUCHA PERÚ S.A.C.S
RUC: 20610238301

4. Condiciones de conservación: Conservar en lugar fresco, protegido de la luz directa del sol. No refrigerar. De preferencia pasar del envase contenedor a un frasco de vidrio el mismo día de la recepción del producto.

INFORME DE ENSAYO N° DT-05633-01-2023

QUIM. CLOTILDE HUAPAYA HERREROS
JEFE DIVISIÓN TÉCNICA
C.Q.P.N° 296



Firmado digitalmente por:
Quim. Maria Clotilde Huapaya Herreros
Fecha: 06/10/2023 17:18

Nota. Ficha Técnica del consorcio microbiano (SCOBY) brindado por el proveedor Fermentos & Kombucha Perú S.A.C.S

Anexo 7

Constancia de aprobación del proyecto por el Comité de Ética en Investigación



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE JAÉN

LEY DE CREACIÓN 29304. RESOLUCIÓN DEL CONSEJO DIRECTIVO N°002-
2018-SUNEDU/CD

VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN

COMITÉ DE ÉTICA

“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

Jaén, 17 de diciembre del 2024

OFICIO N° 005-2024 / VPI-UNJ/ CE

CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE PROYECTO

COMITÉ DE ÉTICA-UNJ

El presidente del comité institucional de ética en investigación de la Universidad Nacional de Jaén hace constar que el proyecto titulado:

“EFECTO DEL JARABE DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y ACEPTACIÓN SENSORIAL DE UNA BEBIDA TIPO KOMBUCHA”

Presentado por las estudiantes Sonia Estefanía Díaz Aranda y Elva Seleni Cercado Saucedo, ha sido analizado y aprobado en base al código de ética en investigación científica de la Universidad Nacional de Jaén que cuenta con resolución N° 066-2021-CO-UNJ.

Dr. Nicanor Alvarado Carrasco

Presidente del Comité de Ética en investigación

Universidad Nacional de Jaén

Anexo 8

Ficha informativa y Consentimiento de Información

FICHA INFORMATIVA

Título de la investigación: Efecto del jarabe de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en las características fisicoquímicas y aceptación sensorial de una bebida tipo kombucha.

Objetivo: Evaluar el efecto de del jarabe de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en las características fisicoquímicas y aceptación sensorial de una bebida tipo kombucha

Población participante del estudio: Voluntarios mayores de 18 años.

***CRITERIO DE EXCLUSIÓN:** No pueden participar mujeres en estado de gestación, lactantes y personas que padecen de SIBO (Sobrecrecimiento Bacteriano Intestinal).

Riesgo: La investigación no representa ningún tipo de riesgo para los consumidores.

CONSENTIMIENTO DE PARTICIPACIÓN

Yo _____, después de haber leído la ficha informativa, acepto participar en el estudio: **“Efecto del jarabe de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en las características fisicoquímicas y aceptación sensorial de una bebida tipo kombucha”**. Fui debidamente informado sobre los procedimientos involucrados en el mismo, así como los posibles riesgos y beneficios derivados de mi participación.

Fecha: _____ / 12 / 2024

Firma del participante

Nota. Ficha que se le entregó al panelista antes de iniciar con las Etapa 1 y 2 de la Evaluación Sensorial.

Anexo 9

Ficha de Evaluación Sensorial para determinación de atributos sensoriales

FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINACIÓN DE ATRIBUTOS SENSORIALES DE LA BEBIDA MEDIANTE EL MÉTODO “ASOCIACIÓN LIBRE DE PALABRAS”

Se le entregará muestras de kombucha y a través de sus sentidos (olfato, vista, gusto) identifique las características sensoriales, mediante la redacción de las 5 primeras palabras que se le vienen a la mente. Consuma agua después de cada muestra para limpiar el paladar.

Evitar términos hedónicos, ejemplo: me gusta, no me gusta, agradable, desagradable, etc

Asociación Libre de Palabras (Machado-Oliveira et al., 2024).

Muestra: _____

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

¿Ha consumido anteriormente bebidas similares a la kombucha?

NO ☐

SI ☐ Especificar cuál: _____

Nota. Esta ficha se entregó a todos los panelistas en la Etapa I para la determinación de atributos sensoriales.

Anexo 10

Tabla de promedios de la capacidad antioxidante expresada en porcentaje de inhibición

Tratamiento	Porcentaje de inhibición (%)				
	Día 0	Día 4	Día 6	Día 8	Día 10
T0	42.32	61.83	37.57	39.06	39.26
T1	49.95	48.40	43.62	61.72	48.85
T2	80.85	74.95	66.23	63.33	47.38
T3	76.34	81.68	58.82	77.43	52.27

Nota. T0: 0% jarabe de yacón, T1: 2% jarabe de yacón, T2: 6% jarabe de yacón y T3: 8% de yacón.

Anexo 11

Temperaturas tomadas del ambiente donde se realizó el proceso de fermentación

Hora de medición	tiempo de fermentación (h)	Temperatura °C
10:00 a. m.	0	21.5
10:00 p. m.	12	14.2
10:00 a. m.	24	20.3
10:00 p. m.	36	13.6
10:00 a. m.	48	19.8
10:00 p. m.	60	11.6
10:00 a. m.	72	21.4
10:00 p. m.	84	12.3
10:00 a. m.	96	19.8
10:00 p. m.	108	12.7
10:00 a. m.	120	20.1
10:00 p. m.	132	13.2
10:00 a. m.	144	22.3
10:00 p. m.	156	13.9
10:00 a. m.	168	21.8
10:00 p. m.	180	13.6
10:00 a. m.	192	22.3
10:00 p. m.	204	14.1
10:00 a. m.	216	22.4
10:00 p. m.	228	13.9
10:00 a. m.	240	21.1
Temperatura promedio de día (10:00 a.m):		21.1
Temperatura promedio de noche (10:00 p.m):		13.3

Nota. Las mediciones de temperatura se realizaron con un termohigrómetro cada 12 horas.

Anexo 12

Capturas de pantalla del formulario virtual realizado en la plataforma SurveyMonkey para el llenado de la ficha CATA

ANÁLISIS SENSORIAL DE UNA BEBIDA TIPO KOMBUCHA

¡EMPECEMOS!

* 6. Selecciona el **CÓDIGO** de la muestra que se le entregó:

Anterior

Siguiente

Con la tecnología de
 SurveyMonkey

Crea encuestas y formularios fácilmente. [Suscríbete gratis.](#)

ANÁLISIS SENSORIAL DE UNA BEBIDA TIPO KOMBUCHA

* 7.

EVALUACIÓN DEL AROMA

Usando sólo el sentido del **OLFATO**, marque todo lo que corresponda a la muestra:



- ☐ Cítrico
- ☐ Fermentado
- ☐ Avinagrado
- ☐ Miel

* 8.

EVALUACIÓN DEL COLOR

Analice el color mediante la **VISTA** y marque todo lo que corresponda a la muestra:



- ☐ Acaramelado
- ☐ Oscuro
- ☐ Amarillento
- ☐ Turbio

* 9.

EVALUACIÓN DEL SABOR

Mediante el sentido del **GUSTO**, marque todo lo que corresponda a la muestra:



- ☐ Dulce
- ☐ Afrutado
- ☐ Agridulce
- ☐ Ácido

* 10. EVALUACIÓN DE LA SENSACIÓN EN BOCA

Mediante el **GUSTO**, marque todo lo que corresponda a la muestra:

- ☐ Amargo
- ☐ Astringente
- ☐ Refrescante

* 11. EVALUACIÓN DE LA TEXTURA

Mediante el **GUSTO**, verifique la textura de la muestra y marque lo que corresponda:

- ☐ Líquido
- ☐ Viscoso

* 12. ¿Cuánto te gustó o disgustó esta muestra?

- ☐ Me disgustó muchísimo
- ☐ Me disgustó mucho
- ☐ Me disgustó moderadamente
- ☐ Me disgustó ligeramente
- ☐ No me gustó ni me disgustó
- ☐ Me gustó ligeramente
- ☐ Me gustó moderadamente
- ☐ Me gustó mucho

Nota. Las mismas preguntas se repitieron para los 4 tratamientos evaluados.

Anexo 13

Prueba de supuestos de normalidad y homocedasticidad de los tratamientos dentro de cada día (considerando un nivel de significancia de 0.05)

Variable	Día	Factor comparado	Shapiro W	p normalidad	Normalidad	Levene F	p homocedasticidad	Homocedasticidad	Decisión
°Brix	0	Tratamiento	0.8396	0.027	No cumple	0.8026	0.527	Cumple	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm
°Brix	4	Tratamiento	0.9186	0.275	Cumple	0.3993	0.757	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
°Brix	6	Tratamiento	0.9369	0.459	Cumple	0.6259	0.618	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
°Brix	8	Tratamiento	0.9647	0.848	Cumple	0.6835	0.587	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
°Brix	10	Tratamiento	0.9731	0.940	Cumple	0.7092	0.573	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Fructosa (%)	0	Tratamiento	0.8463	0.033	No cumple	0.8134	0.522	Cumple	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm
Fructosa (%)	4	Tratamiento	0.9011	0.164	Cumple	0.2671	0.847	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Fructosa (%)	6	Tratamiento	0.9362	0.450	Cumple	0.5637	0.654	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Fructosa (%)	8	Tratamiento	0.9646	0.847	Cumple	0.7129	0.571	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Fructosa (%)	10	Tratamiento	0.9711	0.922	Cumple	0.7529	0.551	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
L*	0	Tratamiento	0.8875	0.109	Cumple	0.3322	0.803	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
L*	4	Tratamiento	0.9514	0.657	Cumple	0.3104	0.817	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
L*	6	Tratamiento	0.9386	0.480	Cumple	0.6289	0.617	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
L*	8	Tratamiento	0.9197	0.284	Cumple	0.7341	0.560	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
L*	10	Tratamiento	0.9289	0.368	Cumple	0.8801	0.491	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
a*	0	Tratamiento	0.9597	0.779	Cumple	1.3176	0.334	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
a*	4	Tratamiento	0.9444	0.557	Cumple	0.5266	0.676	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
a*	6	Tratamiento	0.9365	0.454	Cumple	0.1936	0.898	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
a*	8	Tratamiento	0.9138	0.239	Cumple	0.3363	0.800	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
a*	10	Tratamiento	0.9428	0.535	Cumple	0.9571	0.458	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
b*	0	Tratamiento	0.9444	0.557	Cumple	0.246	0.862	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
b*	4	Tratamiento	0.94	0.498	Cumple	0.6004	0.633	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
b*	6	Tratamiento	0.9529	0.679	Cumple	0.4947	0.696	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
b*	8	Tratamiento	0.9643	0.843	Cumple	0.5824	0.643	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
b*	10	Tratamiento	0.9654	0.857	Cumple	0.3585	0.785	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
ΔE	0	Tratamiento	0.899	0.154	Cumple	0.6262	0.618	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
ΔE	4	Tratamiento	0.9086	0.205	Cumple	0.7277	0.564	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
ΔE	6	Tratamiento	0.9312	0.393	Cumple	0.8852	0.489	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
ΔE	8	Tratamiento	0.925	0.330	Cumple	1.2735	0.347	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
ΔE	10	Tratamiento	0.9201	0.287	Cumple	1.1679	0.380	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Croma	0	Tratamiento	0.9216	0.300	Cumple	0.313	0.816	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Croma	4	Tratamiento	0.9422	0.528	Cumple	0.4488	0.725	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Croma	6	Tratamiento	0.8628	0.053	Cumple	0.2118	0.885	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Croma	8	Tratamiento	0.9686	0.896	Cumple	0.4653	0.714	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Croma	10	Tratamiento	0.9489	0.620	Cumple	0.1571	0.922	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Ángulo hue	0	Tratamiento	0.8911	0.122	Cumple	0.3914	0.763	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Ángulo hue	4	Tratamiento	0.942	0.525	Cumple	0.5707	0.650	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Ángulo hue	6	Tratamiento	0.9609	0.797	Cumple	0.4141	0.748	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Ángulo hue	8	Tratamiento	0.89	0.118	Cumple	1.0759	0.412	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Ángulo hue	10	Tratamiento	0.9134	0.236	Cumple	1.1438	0.389	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Azúcares reductores (%)	0	Tratamiento	0.9348	0.433	Cumple	1.0452	0.424	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Azúcares reductores (%)	4	Tratamiento	0.9331	0.414	Cumple	0.8332	0.512	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Azúcares reductores (%)	6	Tratamiento	0.9823	0.991	Cumple	0.7283	0.563	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Azúcares reductores (%)	8	Tratamiento	0.9388	0.482	Cumple	1.3082	0.337	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Azúcares reductores (%)	10	Tratamiento	0.7953	0.008	No cumple	1.3622	0.322	Cumple	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm
Acidez titulable (g/L)	0	Tratamiento	0.8997	0.157	Cumple	0.3598	0.784	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Acidez titulable (g/L)	4	Tratamiento	0.9698	0.909	Cumple	1.0777	0.412	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Acidez titulable (g/L)	6	Tratamiento	0.9643	0.844	Cumple	1.2693	0.349	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Acidez titulable (g/L)	8	Tratamiento	0.8709	0.067	Cumple	1.2899	0.342	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Acidez titulable (g/L)	10	Tratamiento	0.9245	0.326	Cumple	1.7085	0.242	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
pH	0	Tratamiento	0.9557	0.721	Cumple	0.6807	0.588	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
pH	4	Tratamiento	0.9682	0.891	Cumple	0.2628	0.850	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
pH	6	Tratamiento	0.9494	0.629	Cumple	0.2203	0.880	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
pH	8	Tratamiento	0.8666	0.059	Cumple	1.8955	0.209	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
pH	10	Tratamiento	0.9207	0.292	Cumple	0.2359	0.869	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Capacidad antioxidante	0	Tratamiento	0.948	0.609	Cumple	0.6921	0.582	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Capacidad antioxidante	4	Tratamiento	0.9615	0.804	Cumple	0.256	0.855	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Capacidad antioxidante	6	Tratamiento	0.8899	0.117	Cumple	0.1757	0.910	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Capacidad antioxidante	8	Tratamiento	0.9371	0.461	Cumple	1.618	0.260	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Capacidad antioxidante	10	Tratamiento	0.9474	0.600	Cumple	0.5102	0.686	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Fenoles	0	Tratamiento	0.9144	0.243	Cumple	0.4531	0.722	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Fenoles	4	Tratamiento	0.8938	0.132	Cumple	0.4991	0.693	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Fenoles	6	Tratamiento	0.8387	0.027	No cumple	2.5495	0.129	Cumple	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm
Fenoles	8	Tratamiento	0.885	0.102	Cumple	0.6007	0.632	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Fenoles	10	Tratamiento	0.9294	0.373	Cumple	0.3761	0.773	Cumple	ANOVA una vía + Tukey

Anexo 14

Prueba de supuestos de normalidad y homocedasticidad de los días dentro de cada tratamiento (considerando un nivel de significancia de 0.05)

Variable	Tratamiento	Factor comparado	Shapiro W	p normalidad	Normalidad	Levene F	p homocedasticidad	Homocedasticidad	Decisión
°Brix	T0	Día	0.9357	0.332	Cumple	0.1868	0.940	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
°Brix	T1	Día	0.9047	0.112	Cumple	0.4212	0.790	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
°Brix	T2	Día	0.9497	0.519	Cumple	0.3186	0.859	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
°Brix	T3	Día	0.761	0.001	No cumple	0.861	0.519	Cumple	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm
Fructosa (%)	T0	Día	0.9365	0.340	Cumple	0.1945	0.936	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Fructosa (%)	T1	Día	0.9135	0.153	Cumple	0.289	0.879	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Fructosa (%)	T2	Día	0.9492	0.512	Cumple	0.3376	0.847	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Fructosa (%)	T3	Día	0.7615	0.001	No cumple	0.8873	0.506	Cumple	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm
L*	T0	Día	0.9818	0.980	Cumple	0.5047	0.734	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
L*	T1	Día	0.9366	0.342	Cumple	0.4057	0.801	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
L*	T2	Día	0.9545	0.598	Cumple	0.7155	0.600	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
L*	T3	Día	0.9486	0.503	Cumple	0.2642	0.894	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
a*	T0	Día	0.9439	0.435	Cumple	0.4946	0.740	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
a*	T1	Día	0.9562	0.626	Cumple	0.2057	0.929	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
a*	T2	Día	0.9847	0.992	Cumple	0.704	0.607	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
a*	T3	Día	0.9712	0.876	Cumple	0.527	0.719	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
b*	T0	Día	0.9368	0.344	Cumple	1.0484	0.430	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
b*	T1	Día	0.9234	0.217	Cumple	0.2129	0.925	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
b*	T2	Día	0.9145	0.159	Cumple	0.2707	0.890	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
b*	T3	Día	0.9467	0.474	Cumple	0.3266	0.854	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
ΔE	T0	Día	NA		No cumple	NA		No cumple	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm
ΔE	T1	Día	0.9478	0.490	Cumple	0.2114	0.926	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
ΔE	T2	Día	0.9413	0.399	Cumple	0.5366	0.712	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
ΔE	T3	Día	0.9827	0.985	Cumple	0.5274	0.718	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Croma	T0	Día	0.9636	0.755	Cumple	0.6583	0.635	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Croma	T1	Día	0.9192	0.187	Cumple	0.3549	0.835	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Croma	T2	Día	0.9421	0.409	Cumple	0.2558	0.900	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Croma	T3	Día	0.9154	0.164	Cumple	0.0606	0.992	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Ángulo hue	T0	Día	0.948	0.493	Cumple	0.751	0.579	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Ángulo hue	T1	Día	0.9444	0.441	Cumple	0.2244	0.919	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Ángulo hue	T2	Día	0.944	0.435	Cumple	0.5494	0.704	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Ángulo hue	T3	Día	0.9786	0.959	Cumple	0.6368	0.648	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Azúcares reductores (%)	T0	Día	0.9545	0.597	Cumple	0.8912	0.504	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Azúcares reductores (%)	T1	Día	0.9406	0.390	Cumple	1.2505	0.351	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Azúcares reductores (%)	T2	Día	0.9563	0.628	Cumple	0.7698	0.569	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Azúcares reductores (%)	T3	Día	0.9281	0.256	Cumple	0.55	0.704	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Acidez titulable (g/L)	T0	Día	0.9096	0.133	Cumple	0.4703	0.757	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Acidez titulable (g/L)	T1	Día	0.9114	0.142	Cumple	1.4826	0.279	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Acidez titulable (g/L)	T2	Día	0.9332	0.305	Cumple	0.3848	0.815	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Acidez titulable (g/L)	T3	Día	0.9595	0.685	Cumple	0.6988	0.610	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
pH	T0	Día	0.94	0.382	Cumple	0.2668	0.893	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
pH	T1	Día	0.9624	0.734	Cumple	0.767	0.570	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
pH	T2	Día	0.9099	0.135	Cumple	0.8316	0.535	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
pH	T3	Día	0.8032	0.004	No cumple	0.8191	0.542	Cumple	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm
Capacidad antioxidante	T0	Día	0.8983	0.090	Cumple	0.0689	0.990	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Capacidad antioxidante	T1	Día	0.9671	0.813	Cumple	0.6766	0.623	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Capacidad antioxidante	T2	Día	0.9467	0.473	Cumple	0.6959	0.612	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Capacidad antioxidante	T3	Día	0.8928	0.074	Cumple	0.0788	0.987	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Fenoles	T0	Día	0.7395	<0.001	No cumple	2.9466	0.075	Cumple	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm
Fenoles	T1	Día	0.9229	0.213	Cumple	0.4329	0.782	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Fenoles	T2	Día	0.9752	0.926	Cumple	0.4286	0.785	Cumple	ANOVA una vía + Tukey
Fenoles	T3	Día	0.9666	0.805	Cumple	0.8976	0.501	Cumple	ANOVA una vía + Tukey

Anexo 15

Análisis de efectos de los días dentro de cada tratamiento (considerando un nivel de significancia de 0.05)

Variable	Tratamiento	Comparación	Método	Estadístico	p-valor	Resultado
°Brix	T0	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	20.4904	<0.001	Significativo
°Brix	T1	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	2.6658	0.095	No significativo
°Brix	T2	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	33.5123	<0.001	Significativo
°Brix	T3	Días dentro de tratamiento	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm	13.0333	0.011	Significativo
Fructosa (%)	T0	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	5.484	0.013	Significativo
Fructosa (%)	T1	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	2.8426	0.082	No significativo
Fructosa (%)	T2	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	34.0579	<0.001	Significativo
Fructosa (%)	T3	Días dentro de tratamiento	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm	13.0333	0.011	Significativo
L*	T0	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	19.7004	<0.001	Significativo
L*	T1	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	374.7125	<0.001	Significativo
L*	T2	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	684.4108	<0.001	Significativo
L*	T3	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	147.2945	<0.001	Significativo
a*	T0	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	25.4678	<0.001	Significativo
a*	T1	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	171.6786	<0.001	Significativo
a*	T2	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	282.0599	<0.001	Significativo
a*	T3	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	20.048	<0.001	Significativo
b*	T0	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	60.9141	<0.001	Significativo
b*	T1	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	601.9241	<0.001	Significativo
b*	T2	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	699.7007	<0.001	Significativo
b*	T3	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	752.6582	<0.001	Significativo
ΔE	T0	Días dentro de tratamiento	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm		NA	No significativo
ΔE	T1	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	246.0402	<0.001	Significativo
ΔE	T2	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	320.8094	<0.001	Significativo
ΔE	T3	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	180.7044	<0.001	Significativo
Croma	T0	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	90.4863	<0.001	Significativo
Croma	T1	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	370.3198	<0.001	Significativo
Croma	T2	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	400.4433	<0.001	Significativo
Croma	T3	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	1081.9542	<0.001	Significativo
Ángulo hue	T0	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	10.7883	0.001	Significativo
Ángulo hue	T1	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	500.4662	<0.001	Significativo
Ángulo hue	T2	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	1393.1368	<0.001	Significativo
Ángulo hue	T3	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	182.0844	<0.001	Significativo
Azúcares reductores (%)	T0	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	11.2658	0.001	Significativo
Azúcares reductores (%)	T1	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	1.5714	0.256	No significativo
Azúcares reductores (%)	T2	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	5.2433	0.015	Significativo
Azúcares reductores (%)	T3	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	40.5521	<0.001	Significativo
Acidez titulable (g/L)	T0	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	38.8556	<0.001	Significativo
Acidez titulable (g/L)	T1	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	3.1131	0.066	No significativo
Acidez titulable (g/L)	T2	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	86.604	<0.001	Significativo
Acidez titulable (g/L)	T3	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	22.5675	<0.001	Significativo
pH	T0	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	34.6155	<0.001	Significativo
pH	T1	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	21.1477	<0.001	Significativo
pH	T2	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	7.4516	0.005	Significativo
pH	T3	Días dentro de tratamiento	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm	11.4492	0.022	Significativo
Capacidad antioxidante	T0	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	5.3931	0.014	Significativo
Capacidad antioxidante	T1	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	1.0922	0.411	No significativo
Capacidad antioxidante	T2	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	3.9408	0.036	Significativo
Capacidad antioxidante	T3	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	14.7559	<0.001	Significativo
Fenoles	T0	Días dentro de tratamiento	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm	6.4333	0.169	No significativo
Fenoles	T1	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	13.8379	<0.001	Significativo
Fenoles	T2	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	18.7505	<0.001	Significativo
Fenoles	T3	Días dentro de tratamiento	ANOVA una vía + Tukey	15.7222	<0.001	Significativo

Anexo 16

Análisis de efectos de los tratamientos dentro de cada día (considerando un nivel de significancia de 0.05)

Variable	Día	Comparación	Método	Estadístico	p-valor	Resultado
°Brix	0	Tratamientos dentro de día	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm	9.4947	0.023	Significativo
°Brix	4	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	216.4571	<0.001	Significativo
°Brix	6	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	284.6831	<0.001	Significativo
°Brix	8	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	315.4643	<0.001	Significativo
°Brix	10	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	330.7866	<0.001	Significativo
Fructosa (%)	0	Tratamientos dentro de día	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm	9.4615	0.024	Significativo
Fructosa (%)	4	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	195.9249	<0.001	Significativo
Fructosa (%)	6	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	287.3945	<0.001	Significativo
Fructosa (%)	8	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	324.846	<0.001	Significativo
Fructosa (%)	10	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	527.2976	<0.001	Significativo
L*	0	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	446.2689	<0.001	Significativo
L*	4	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	1108.6533	<0.001	Significativo
L*	6	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	571.4046	<0.001	Significativo
L*	8	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	1626.2638	<0.001	Significativo
L*	10	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	576.1488	<0.001	Significativo
a*	0	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	426.3544	<0.001	Significativo
a*	4	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	455.5954	<0.001	Significativo
a*	6	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	1283.0533	<0.001	Significativo
a*	8	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	343.1188	<0.001	Significativo
a*	10	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	643.32	<0.001	Significativo
b*	0	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	4341.8096	<0.001	Significativo
b*	4	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	1130.6732	<0.001	Significativo
b*	6	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	1212	<0.001	Significativo
b*	8	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	767.867	<0.001	Significativo
b*	10	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	600.937	<0.001	Significativo
ΔE	0	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	1082.3947	<0.001	Significativo
ΔE	4	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	4145.5233	<0.001	Significativo
ΔE	6	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	2146.7452	<0.001	Significativo
ΔE	8	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	907.8685	<0.001	Significativo
ΔE	10	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	227.8226	<0.001	Significativo
Croma	0	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	2184.1724	<0.001	Significativo
Croma	4	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	930.5302	<0.001	Significativo
Croma	6	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	552.6383	<0.001	Significativo
Croma	8	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	552.2011	<0.001	Significativo
Croma	10	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	341.8031	<0.001	Significativo
Ángulo hue	0	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	2936.2833	<0.001	Significativo
Ángulo hue	4	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	700.4356	<0.001	Significativo
Ángulo hue	6	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	2121.0485	<0.001	Significativo
Ángulo hue	8	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	441.5994	<0.001	Significativo
Ángulo hue	10	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	919.4374	<0.001	Significativo
Azúcares reductores (%)	0	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	27.5141	<0.001	Significativo
Azúcares reductores (%)	4	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	30.8063	<0.001	Significativo
Azúcares reductores (%)	6	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	7.8286	0.009	Significativo
Azúcares reductores (%)	8	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	12.0482	0.002	Significativo
Azúcares reductores (%)	10	Tratamientos dentro de día	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm	7.6667	0.053	No significativo
Acidez titulable (g/L)	0	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	5.6868	0.022	Significativo
Acidez titulable (g/L)	4	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	8.0781	0.008	Significativo
Acidez titulable (g/L)	6	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	13.1468	0.002	Significativo
Acidez titulable (g/L)	8	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	1.4182	0.307	No significativo
Acidez titulable (g/L)	10	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	0.6268	0.618	No significativo
pH	0	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	11.0422	0.003	Significativo
pH	4	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	160.0189	<0.001	Significativo
pH	6	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	5.6246	0.023	Significativo
pH	8	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	17.4031	<0.001	Significativo
pH	10	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	61.5719	<0.001	Significativo
Capacidad antioxidante	0	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	9.2327	0.006	Significativo
Capacidad antioxidante	4	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	18.8416	<0.001	Significativo
Capacidad antioxidante	6	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	5.1885	0.028	Significativo
Capacidad antioxidante	8	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	7.6834	0.010	Significativo
Capacidad antioxidante	10	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	1.2817	0.345	No significativo
Fenoles	0	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	12.5119	0.002	Significativo
Fenoles	4	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	27.0543	<0.001	Significativo
Fenoles	6	Tratamientos dentro de día	Kruskal-Wallis + Dunn-Holm	6.5897	0.086	No significativo
Fenoles	8	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	8.8947	0.006	Significativo
Fenoles	10	Tratamientos dentro de día	ANOVA una vía + Tukey	24.3649	<0.001	Significativo

Anexo 17

Regresión logística binaria: Aceptabilidad vs. Miel; Cítrico; Avinagrado; Fermentado; Acaramelado; Amarillento; Turbio; Oscuro; Afrutado; Dulce; Ácido; Agridulce; Astringente; Refrescante; Amargo; Viscoso; Líquido

Ecuación de regresión

$$P(1) = \frac{\exp(Y')}{1 + \exp(Y')}$$

$$Y' = 0.91 + 0.280 \text{ Miel} + 0.254 \text{ Cítrico} + 0.181 \text{ Avinagrado} + 0.035 \text{ Fermentado} - 0.460 \text{ Acaramelado} - 0.597 \text{ Amarillento} - 0.618 \text{ Turbio} - 1.087 \text{ Oscuro} + 0.985 \text{ Afrutado} + 0.879 \text{ Dulce} - 0.056 \text{ Ácido} - 0.033 \text{ Agridulce} - 1.102 \text{ Astringente} + 0.594 \text{ Refrescante} - 0.759 \text{ Amargo} - 0.74 \text{ Viscoso} - 1.00 \text{ Líquido}$$

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor Z	Valor p	FIV
Constante	0.91	1.84	0.49	0.623	
Miel	0.280	0.324	0.86	0.388	2.28
Cítrico	0.254	0.320	0.79	0.428	1.56
Avinagrado	0.181	0.372	0.49	0.626	1.76
Fermentado	0.035	0.313	0.11	0.912	1.80
Acaramelado	-0.460	0.405	-1.14	0.256	3.57
Amarillento	-0.597	0.442	-1.35	0.177	3.04
Turbio	-0.618	0.427	-1.45	0.147	2.39
Oscuro	-1.087	0.432	-2.52	0.012	2.78
Afrutado	0.985	0.290	3.40	0.001	1.50
Dulce	0.879	0.327	2.69	0.007	1.49
Ácido	-0.056	0.315	-0.18	0.859	1.67
Agridulce	-0.033	0.304	-0.11	0.914	1.99
Astringente	-1.102	0.454	-2.43	0.015	4.27
Refrescante	0.594	0.463	1.28	0.200	4.61
Amargo	-0.759	0.524	-1.45	0.147	2.69
Viscoso	-0.74	1.82	-0.40	0.686	26.37
Líquido	-1.00	1.84	-0.54	0.586	26.02

Relaciones de probabilidades para predictores continuos

	Relación de probabilidades	IC de 95%
Miel	1.3225	(0.7010; 2.4949)
Cítrico	1.2886	(0.6884; 2.4120)
Avinagrado	1.1990	(0.5783; 2.4858)
Fermentado	1.0352	(0.5600; 1.9136)
Acaramelado	0.6311	(0.2851; 1.3967)
Amarillento	0.5507	(0.2315; 1.3099)
Turbio	0.5389	(0.2335; 1.2438)
Oscuro	0.3372	(0.1448; 0.7856)
Afrutado	2.6775	(1.5167; 4.7269)
Dulce	2.4085	(1.2680; 4.5747)
Ácido	0.9453	(0.5094; 1.7544)
Agridulce	0.9679	(0.5339; 1.7547)
Astringente	0.3321	(0.1364; 0.8088)
Refrescante	1.8105	(0.7303; 4.4887)
Amargo	0.4683	(0.1678; 1.3070)
Viscoso	0.4794	(0.0136; 16.9389)
Líquido	0.3680	(0.0101; 13.4720)

Resumen del modelo

R-cuadrado de la Desviación	R-cuadrado de la Desviación (ajust)	AIC	AICc	BIC	Área bajo la curva ROC
20.14%	17.54%	557.80	559.27	633.08	0.7932

Pruebas de bondad de ajuste

Prueba	GL	Chi-cuadrada	Valor p
Desviación	466	521.80	0.037
Pearson	466	476.30	0.361
Hosmer-Lemeshow	8	6.65	0.574

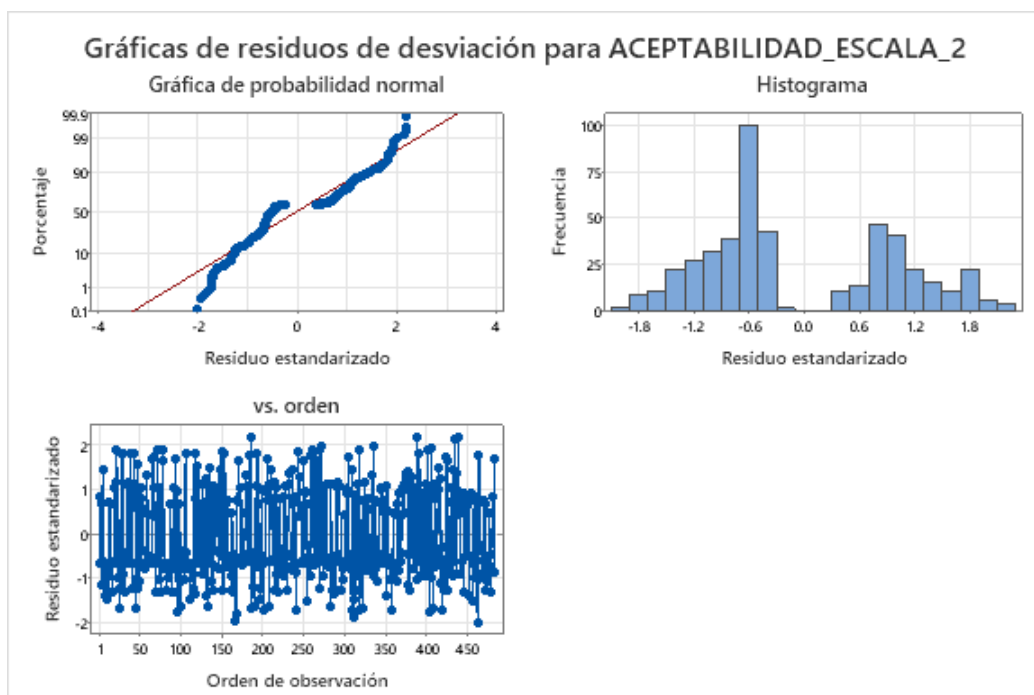
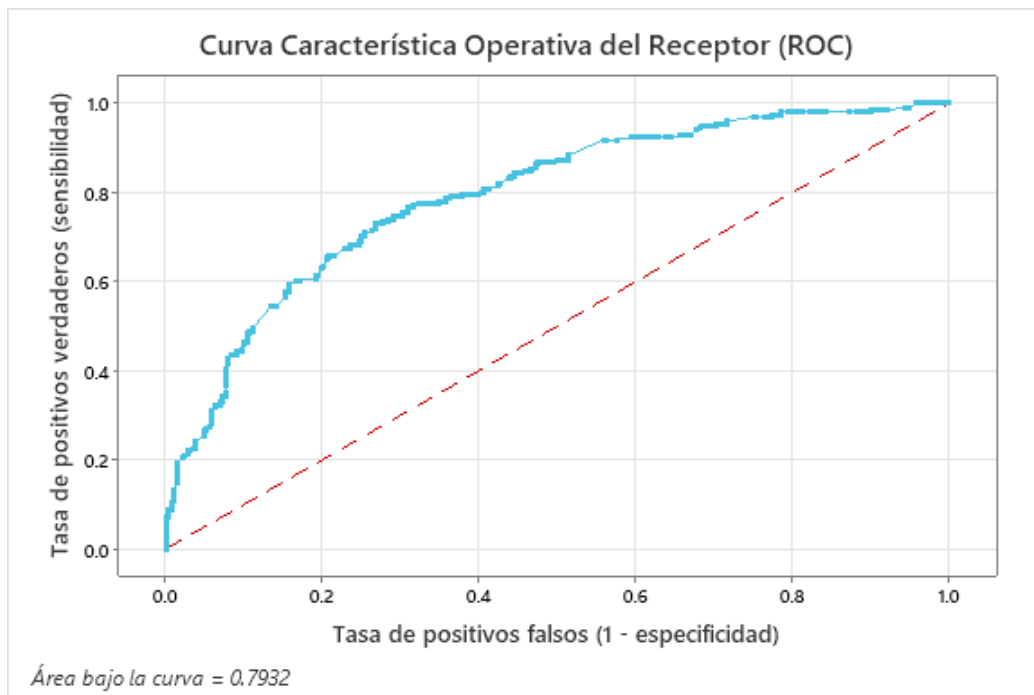
Análisis de Varianza

Fuente	GL	Prueba de Wald	
		Chi-cuadrada	Valor p
Regresión	17	99.26	0.000
Miel	1	0.75	0.388
Cítrico	1	0.63	0.428
Avinagrado	1	0.24	0.626
Fermentado	1	0.01	0.912
Acaramelado	1	1.29	0.256
Amarillento	1	1.82	0.177
Turbio	1	2.10	0.147
Oscuro	1	6.35	0.012
Afrutado	1	11.53	0.001
Dulce	1	7.21	0.007
Ácido	1	0.03	0.859
Agridulce	1	0.01	0.914
Astringente	1	5.89	0.015
Refrescante	1	1.64	0.200
Amargo	1	2.10	0.147
Viscoso	1	0.16	0.686
Líquido	1	0.30	0.586

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Probabilidad observada	Ajuste	Resid	Resid est.	
74	0.000	0.206	-0.680	-1.01	X
132	0.000	0.562	-1.285	-1.37	X
186	1.000	0.091	2.190	2.20	R
250	1.000	0.301	1.549	1.65	X
254	0.000	0.626	-1.402	-1.50	X
346	1.000	0.794	0.680	1.01	X
390	1.000	0.093	2.181	2.19	R
436	1.000	0.106	2.117	2.15	R
440	1.000	0.091	2.190	2.20	R
463	0.000	0.858	-1.978	-2.00	R

Residuo grande R
X poco común X



Anexo 18

Test de Q de Cochran para los descriptores sensoriales

RESULTADOS DEL TEST Q DE COCHRAN POR DESCRIPTOR

	Descriptor	n_panelistas	Q Cochran	gl	p_valor	Resultado
0	Aroma_Miel	121	4.8907	3	0.180	Sin diferencias significativas
1	Aroma_Cítrico	121	0.3750	3	0.945	Sin diferencias significativas
2	Aroma_Avinagrado	121	8.7216	3	0.033	Diferencias significativas
3	Aroma_Fermentado	121	3.8222	3	0.281	Sin diferencias significativas
4	Color_Acaramelado	121	18.7113	3	<0.001	Diferencias significativas
5	Color_Amarillento	121	102.4154	3	<0.001	Diferencias significativas
6	Color_Turbio	121	30.2930	3	<0.001	Diferencias significativas
7	Color_Oscuro	121	111.6282	3	<0.001	Diferencias significativas
8	Sabor_Afrutado	121	28.1203	3	<0.001	Diferencias significativas
9	Sabor_Dulce	121	67.4211	3	<0.001	Diferencias significativas
10	Sabor_Ácido	121	37.0986	3	<0.001	Diferencias significativas
11	Sabor_Agridulce	121	9.2507	3	0.026	Diferencias significativas
12	Sensacion en boca_Astringente	121	11.9909	3	0.007	Diferencias significativas
13	Sensacion en boca_Refrescante	121	30.2308	3	<0.001	Diferencias significativas
14	Sensacion en boca_Amargo	121	20.9630	3	<0.001	Diferencias significativas
15	Textura_Viscoso	121	1.6542	3	0.647	Sin diferencias significativas
16	Textura_Líquido	121	2.3714	3	0.499	Sin diferencias significativas

Anexo 19

Test de Friedman para aceptabilidad sensorial.

Test de Friedman

n	statistic	df	p	method
121	44.471519	3	0.00000	Friedman test

Test de Comparaciones Múltiples de Friedman

Comparacion	alpha	dif.com.obs.dif	dif.com.critical.dif	dif.com.stat.signif	dif.com.p.value
T0-T1	0.05	100.5	52.98454411	TRUE	0.00001
T0-T2	0.05	50	52.98454411	FALSE	0.12787
T0-T3	0.05	101.5	52.98454411	TRUE	0.00000
T1-T2	0.05	50.5	52.98454411	FALSE	0.11919
T1-T3	0.05	1	52.98454411	FALSE	1.00000
T2-T3	0.05	51.5	52.98454411	FALSE	0.10337