

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Desarrollo de una bebida fermentada a base de pulpa y mucílago de café (*Coffea*

Arabica)

INGE-2657

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Alimentos

Presentado por:

Karoline Stefany Guaman Vera

Diana Génesis Montalvo Freire

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

A mis padres el Ing. Marco Guaman y la Sra. Yoconda Vera quienes han sido los pilares fundamentales en mi vida. Su amor incondicional, confianza plena y guía constante han iluminado mi camino, respaldando cada paso y decisión que he tomado.

A mis hermanos Danni, Katherine, Karen y Kevin y a mi sobrina Karin, por ser mi apoyo incondicional, por sus palabras de aliento y por confiar siempre en mis capacidades. Su presencia ha sido una fuente de motivación invaluable a lo largo de esta etapa.

A mis compañeros, amigos y familiares cercanos, quienes han estado siempre presentes en mi vida, brindándome su ánimo, compañía y fuerza para superar cada desafío.

A todos ustedes, mi gratitud eterna por ser parte de este logro.

Karoline Stefany Guaman Vera

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mis padres, Jorge Montalvo y Mercedes Freire, quienes han sido la piedra angular de mi camino y fuente inagotable de amor y apoyo.

A mis hermanos, Cinthya y Jorge, por estar siempre a mi lado y brindarme su aliento.

A Lenin, Octavio e Isaac, por llenar mi mundo de magia, alegría y nuevas perspectivas.

A mis amigos de la universidad, quienes con su compañía hicieron más llevaderos los días de estudio y transformaron las horas de clase en momentos memorables.

A mis queridas mascotas, en especial a Pinky, por acompañarme en tantas madrugadas de esfuerzo y ser un refugio de ternura y calma.

Y, finalmente, me dedico este trabajo a mí misma, como un reconocimiento al sacrificio, la valentía y la capacidad de afrontar cada dificultad con optimismo, perseverancia y la firme decisión de seguir adelante

Diana Génesis Montalvo Freire

.

Agradecimientos

Agradezco Dios por brindarme salud y sabiduría a lo largo de mi etapa universitaria.

A los profesores y mentores, por compartir su conocimiento y guiarme a lo largo de este camino académico.

Y finalmente, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral por brindarme las herramientas, el conocimiento y las oportunidades necesarias para crecer tanto académica como personalmente.

Karoline Stefany Guaman Vera

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de vida y permitirme llegar de acuerdo a su voluntad.

Agradezco a los profesores IAL por sus conocimientos y esfuerzos de siempre enseñar.

Agradezco a la universidad por permitirnos desarrollar este proyecto en cada una de ñas instalaciones, de igual forma agradezco a la empresa privada por el apoyo.

Diana Génesis Montalvo Freire

Declaración Expresa

Nosotras Karoline Stefany Guaman Vera y Diana Genesis Montalvo Freire acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

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

Guayaquil, 16 de octubre del 2024.



Karoline Stefany

Guaman Vera



Diana Genesis Montalvo

Freire

Evaluadores

MSc. Andrea Ortega

Profesor de Materia

MSc. Verónica Guadalupe

Tutor de proyecto

Resumen

El presente estudio tiene la finalidad de desarrollar una bebida fermentada a partir de la pulpa y mucílago del café, aprovechando los subproductos generados durante la postcosecha húmeda, para minimizar el impacto ambiental asociado al procesamiento del café arábica (*Coffea arábica*). Para ello, se realizó la caracterización fisicoquímica de los subproductos. El desarrollo del proyecto se dividió en dos fases: en la primera, se evaluaron dos tipos de subproductos en tres tratamientos para identificar el mejor sustrato para la fermentación; en la segunda, se analizaron dos concentraciones de levadura *Saccharomyces cerevisiae* (0.02% y 0.03%) para determinar su efecto en las características fisicoquímicas de la bebida. Los parámetros evaluados se analizaron por duplicado e incluyeron pH, sólidos solubles, contenido de azúcares reductores, polifenoles totales y grado alcohólico en ambas fases, además de atributos sensoriales y acidez titulable en la segunda fase. Los resultados mostraron que el mucílago de café es el sustrato más adecuado para la fermentación y que las concentraciones de levadura no generaron diferencias significativas en las características de la bebida. Se concluye que el mucílago de café es un sustrato viable para elaborar una bebida fermentada, promoviendo el aprovechamiento sostenible de los subproductos del café.

Palabras Clave: Subproductos de café, fermentación, grados de alcohol, contenido de azúcares

Abstract

This study aims to develop a fermented beverage from coffee pulp and mucilage. It will utilize the by-products generated during wet post-harvest processing to minimize the environmental impact associated with the processing of Arabica coffee (Coffea arabica). To achieve this, the physicochemical characterization of the by-products was carried out. The project development was divided into two phases: in the first phase, two types of by-products were evaluated in three treatments to identify the best substrate for fermentation; in the second phase, two concentrations of Saccharomyces cerevisiae yeast (0.02% and 0.03%) were analyzed to determine their effect on the beverage's physicochemical characteristics. The evaluated parameters were analyzed in duplicate and included pH, soluble solids, reducing sugar content, total polyphenols, and alcohol content in both phases, and sensory attributes and titratable acidity in the second phase. The results showed that coffee mucilage is the most suitable substrate for fermentation and that yeast concentrations did not generate significant differences in the beverage's characteristics. It is concluded that coffee mucilage is a viable substrate for producing a fermented beverage, promoting the sustainable utilization of coffee by-products.

Keywords: *Coffee by-products, fermentation, alcohol content, sugar content.*

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general	III
Abreviaturas	VI
Simbología	VI
Índice de figuras	VII
Índice de tablas	VIII
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema	2
1.3 Justificación del Problema	3
1.4 Objetivos	3
<i>1.4.1 Objetivo general</i>	3
<i>1.4.2 Objetivos específicos</i>	3
1.5 Marco teórico.....	4
1.5.1. El Café y su Origen	4
1.5.2. Producción de café en Ecuador	4
1.5.3. Estructura del café.....	5
1.5.4. Métodos de procesamiento del grano de café	7
1.5.5. Subproductos del café	9
1.5.6. Proceso de Fermentación.....	16
Capítulo 2	18
2. Metodología.	19
2.1. Materia prima	19
2.2. Diseño experimental	19

2.3.	Preparación de la materia prima	21
2.3.1.	Pulpa.....	21
2.3.2	Mucílago.....	21
2.3.3	Pulpa y Mucílago	21
2.4.	Desarrollo de la bebida de la primera fase del proceso	22
2.4.1.	Preparación del mosto	22
2.4.2.	Pasteurización del mosto.....	22
2.4.3.	Proceso de fermentación	22
2.4.5.	Clarificación.....	23
2.4.6.	Sedimentación	23
2.4.7.	Filtrado	23
2.4.8.	Pasteurizado	24
2.4.9.	Embotellado	24
2.4.10.	Almacenamiento.....	24
2.5.	Desarrollo de la bebida de la segunda fase del proceso.....	26
2.5.1.	Elección de materia prima.....	26
2.5.2.	Preparación del mosto	27
2.5.3.	Preparación del inóculo.....	27
2.6.	Caracterización de la materia prima y producto final.....	28
2.6.1.	Materia Prima	28
2.6.2.	Bebidas fermentadas.....	28
2.6.3.	pH.....	29
2.6.4.	Sólidos Solubles	29
2.6.5.	Azúcares reductores	29
2.6.6.	Compuestos Fenólicos Totales (CFT).....	32
2.6.7.	Grados de alcohol.....	35

2.6.8. Acidez.....	35
2.7. Análisis Sensorial	36
2.8. Análisis estadísticos.....	36
2.9. Propuesta de Distribución de Planta	36
Capítulo 3	54
3. Resultados y análisis	55
3.1. Caracterización fisicoquímica de la pulpa y mucílago	55
3.2. Caracterización fisicoquímica de la bebida fermentada de la fase 1.	57
3.2.1. pH	58
3.2.2. Sólidos solubles.....	60
3.2.3. Contenido de Polifenoles	61
3.2.4. Azúcares reductores	62
3.2.5. Alcohol	62
3.3. Análisis microbiológico.....	63
3.3. Caracterización fisicoquímica de la bebida fermentada de fase 2.....	64
3.4. Análisis sensorial	68
3.5. Distribución de planta.....	72
3.5.1. Análisis Financiero.....	78
Capítulo 4	79
4.1 Conclusiones y recomendaciones.....	80
4.1.1 Conclusiones	80
4.1.2 Recomendaciones	81
Referencias	83

Abreviaturas

GRAS	Generally recognized as safe
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización

Simbología

%v/v	Porcentaje volumen por volumen
°C	Grados Celsius
mL	Mililitro
g/L	Gramos por litro
mg Glu/mL	Miligramos de glucosa por mililitro
mg GAE/g	Miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo
°Brix	Concentración de sólidos solubles en una solución
pH	Medida de acidez o alcalinidad
°P	Extracto aparente, real y original.

Índice de figuras

Figura 1. 1. Estructura del café.....	5
Figura 1. 2. Representación esquemática del procesamiento de café método seco	8
Figura 1. 3. Representación esquemática del procesamiento de café método seco	9
Figura 1. 4. Representación esquemática de los subproductos obtenidos en cada procesamiento por método seco	10
Figura 1. 5. Representación esquemática de los subproductos obtenidos en cada procesamiento por método húmedo	11
Figura 1. 6. Representación esquemática de los subproductos obtenidos durante el proceso del grano de café crudo	12
Figura 2. 1. Diagrama de flujo de proceso la bebida a base de pulpa de café.....	25
Figura 2. 2. Diagrama de flujo de proceso la bebida a base de mucílago de café.....	25
Figura 2. 3. Diagrama de flujo de proceso la bebida a base de pulpa y mucílago de café.....	26
Figura 2. 4. Diagrama de flujo de proceso la bebida a dos diferentes porcentajes de levadura....	28
Figura 3. 1. Comportamiento del pH durante la fermentación de las bebidas de la fase 1.	60
Figura 3. 2. Comportamiento de los sólidos solubles durante la fermentación de las bebidas de la fase 1.	61
Figura 3. 3. Comportamiento de los sólidos solubles durante la fermentación de las bebidas de la fase 2	66
Figura 3. 4. Comportamiento de los pH durante la fermentación de las bebidas de la fase 2.....	67
Figura 3. 5. Diagrama radial del atributo aroma evaluada para las bebidas fermentadas A y B. .	69
Figura 3. 6. Diagrama radial del atributo sabor evaluada para las bebidas fermentadas A y B....	71
Figura 3. 7. Tabla de relaciones de actividades.....	73
Figura 3. 8. Matriz de necesidades de Espacio.....	74
Figura 3. 9. Distribución de planta por Corelap.....	75
Figura 3. 10. Distribución de planta de elaboración de la bebida fermentada	77

Índice de tablas

Tabla 1. 1. Composición fisicoquímica de la pulpa de café.....	13
Tabla 1. 2. Composición fisicoquímica del mucílago	15
Tabla 1. 3. Características fisicoquímicas de bebidas alcohólicas a base de subproductos de café..	17
Tabla 2. 1. Variable experimental de estudio	19
Tabla 2. 2. Variable experimental de estudio	20
Tabla 2. 3. Curva estándar de azúcares reductores.....	30
Tabla 2. 4. Curva de estándar de Compuestos Fenólicos	33
Tabla 3. 1. Resultados fisicoquímicos de la pulpa y mucílago de café.....	57
Tabla 3. 2. Resultados fisicoquímicos de las bebidas fermentadas de la fase 1.....	58
Tabla 3. 3. Resultados fisicoquímicos de las bebidas fermentadas de la fase 2.....	65
Tabla 3. 4. Atributos sensoriales del aroma de la bebida fermentada de la segunda fase	69
Tabla 3. 5. Atributos sensoriales del sabor de la bebida fermentada de la segunda fase	70
Tabla 3. 6. Aceptación de la bebida fermentada	72
Tabla 3. 7. Equipo y capacidades	74
Tabla 3. 8. Producción anual de la bebida.....	75

Capítulo 1

1.1 Introducción

Cada año el comercio del café a nivel mundial tiene un crecimiento de 200 mil millones de dólares, lo que ofrece importantes beneficios económicos a la agroindustria (Statista, 2023). El cultivo de café en Ecuador es una industria importante, con aproximadamente 50.000 familias involucradas, principalmente productores de pequeña escala que utilizan sistemas de producción agroforestales (MAGAP, 2012). En el 2023, se registró una producción de 5.594 toneladas de café cultivadas en un área de 22373 hectáreas (SIPA, 2024). En Ecuador, se cultivan dos especies de café de gran relevancia comercial a nivel mundial: *Coffea arabica L* conocido como café arábica y el *Coffea canephora* denominado café robusta. El café arábigo se produce en zonas de altura, como la provincia de Chimborazo y ciertas áreas de Manabí, donde las condiciones ambientales favorecen su calidad. Esta variedad de café es la que tiene mayor producción en el sector cafetalero ecuatoriano. En contraste, el café robusta es ampliamente cultivado en las regiones Costa y Amazónica, donde el clima tropical permite obtener los perfiles sensoriales deseados (Ponce et al., 2018).

1.2 Descripción del Problema

El café representa un producto de gran importancia económica para el país. Según estudios recientes, en 2023 se cosecharon 6,227 toneladas (Jadán, Belduma & Elizalde, 2024). Un desafío importante en su industrialización es que solo se utiliza alrededor del 9.5% del peso del fruto seco, mientras que el 90.5% restante corresponde a residuos generados en el proceso. Durante el procesamiento, se generan subproductos como pulpa y mucílago, que representan el 30.81% y 17.38 %, respectivamente, del peso del fruto fresco en su estado húmedo. El mínimo aprovechamiento que se le da a estos residuos en las fincas productoras de café como abono, constituye una oportunidad de potenciar su valor agregado para la industria alimentaria, sobre todo considerando las características de composición del mucílago y la cáscara que son de

interés para el consumo humano. Por otro lado, el manejo inadecuado de los desechos genera un gran impacto al ambiente.

1.3 Justificación del Problema

La producción de *Coffea arabica* predomina en Ecuador debido a su calidad y características sensoriales apreciadas. Aunque *Coffea arabica* es menos resistente a plagas y enfermedades como la roya en comparación con *Coffea canephora* (Pardo,2024), su alta demanda y precio superior en mercados internacionales, alrededor de 3.20 USD/lb frente a 2.64 USD/lb de *Coffea canephora* (AFP,2024), justifican el esfuerzo en su cultivo. Sin embargo, esto genera grandes cantidades de subproductos que, sin manejo adecuado, son desechados.

En países como Colombia y Perú, estos residuos se transforman en productos como bebidas, cosmética y harina (El Universo, 2014; ProInnovate, 2023). mientras que en Ecuador este potencial sigue sin su mayor aprovechamiento. Este proyecto propone elaborar una bebida alcohólica sostenible a partir de subproductos del café, como cereza, mucílago y pulpa. Esta iniciativa busca reducir el desperdicio, disminuir costos de materia prima, generar empleo y fomentar una bioeconomía circular. Además, introduce un producto innovador y ecológico al mercado, alineado con las preferencias de consumidores interesados en opciones sostenibles.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar una bebida fermentada a partir de la pulpa y mucílago del café, para el aprovechamiento de los subproductos provenientes de la postcosecha húmeda.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar la pulpa y el mucílago de café mediante pruebas físico-químicas,

2. Establecer un diseño completamente al azar (DCA) para la elaboración de una bebida fermentada a partir de subproductos provenientes de la postcosecha húmeda.
3. Proponer un diseño de distribución física de instalaciones para el procesamiento de una bebida fermentada a escala semiindustrial.

1.5 Marco teórico

1.5.1. El Café y su Origen

El café es caracterizado por ser un fruto que usualmente contiene dos granos. Pertenece a la familia Rubiaceae, género *Coffea* (Feitas et al., 2024). Entre las especies del café se encuentran: *Coffea canephora* (Robusta), *Coffea arabica* L (Arabica) y *Coffea liberica* (liberano) (ICO, 2024).

El café, originario de Etiopía, se expandió a Egipto y Yemen, donde los árabes establecieron las primeras plantaciones en el siglo XIII con semillas de Etiopía, difundiendo su cultura al mundo. En el siglo XVII, llegó a Italia y se extendió por Europa (Freitas et al, 2024; Hoseini et al., 2021; Subba, 2020). Actualmente, los principales países productores de café arábico son Brasil y Colombia (ICO, 2023).

1.5.2. Producción de café en Ecuador

En Ecuador, la producción de café se realiza en 15 provincias de las 24 del territorio ecuatoriano (Burgos C. & Sablón N., 2022). La especie *Coffea arabica* se cultiva en zonas de altura de la Sierra y la Costa. Por otro lado, la especie *Coffea canephora* se cultiva en menor escala en varias provincias del país (Suarez, 2019).

La cosecha de arábica ocurre entre marzo y octubre, mientras que la de robusta se da entre junio y octubre de cada año (Lucero & Guaman, 2019). En el 2023, se registró una

producción de 5,594 toneladas de café cultivadas en un área de 22,373 hectáreas, principalmente en la provincia de Manabí (SIPA, 2024).

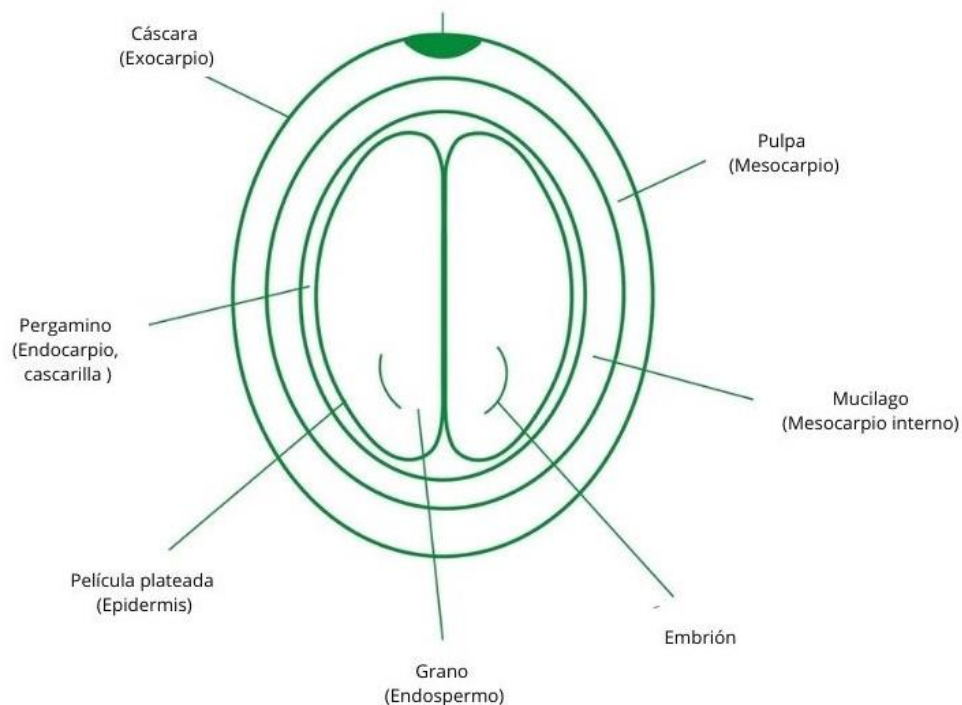
1.5.3. Estructura del café

El fruto del café se encuentra conformado por diferentes capas que se dividen en: cáscara (exocarpio), pulpa (mesocarpio), mucílago (mesocarpio interno), pergamino (endocarpio, cascarilla), película plateada (epidermis), grano (endospermo) y embrión (Oliveira et al., 2021).

La figura 1.1, representa las estructuras.

Figura 1. 1.

Estructura del café.



Nota: Adaptado de Steele, (2023).

El fruto del café se compone de dos partes principales: el pericarpio y la semilla.

1.5.3.1. Pericarpio

El pericarpio este compuesto por las cuatro capas externas de la fruta: cáscara o piel, pulpa, mucílago y pergamino (Oliveira et al., 2021).

REFERENCIA

1.5.3.1.1. Cáscara (Exocarpio)

También llamado piel, es la capa externa, es de textura cerosa y color rojo.

1.5.3.1.2. Pulpa (Mesocarpio externo)

Es una capa fina compuesta de materiales pectíneos, contienen cloroplastos y tienen capacidad de absorber agua (Hoseini et al., 2021). La pulpa es abundante en carbohidratos, proteínas, minerales (Oliveira et al., 2021). Además, también contiene compuestos orgánicos como taninos, ácido clorogénico y cafeína (Subba, 2020).

1.5.3.1.3. Mucílago (Mesocarpio interno)

El mucílago es una capa ubicada entre la pulpa y el pergamino, con un grosor aproximado de 0.5 a 2.0 mm, que se adhiere al grano de café (Subba, 2020). Es una sustancia pegajosa la cual está compuesta en un 39% por sustancias pécticas y antioxidantes, sin embargo, no posee compuestos bioactivos (Oliveira et al., 2021). Además, posee agua, azúcares y ácidos orgánicos (Oliveira et al, 2021; Subba 2020).

1.5.3.1.4. Pergamino (Endocarpio)

Corresponde a la capa más interna que forma parte del pericarpio la cual envuelve el grano de café. Posee un contenido de humedad bajo, de aproximadamente el 9% en peso (Oliveira, 2021).

1.5.3.2. Semilla

Está formada por las capas internas del fruto: la película plateada, el grano y el embrión. El promedio del tamaño del grano varía entre 10 mm de largo y 6 mm de ancho (Subba 2020).

1.5.4. Métodos de procesamiento del grano de café

El procesamiento de café tiene como objetivo retirar las capas externas que recubren la semilla para obtener el grano verde. Los dos métodos principales para son: método seco y húmedo.

1.5.4.1. Método seco

El método tradicional para obtener el grano de café es el más sencillo y sigue siendo ampliamente utilizado por los caficultores. Se considera una práctica sostenible con el medio ambiente, puesto que produce una cantidad mínima de residuos sólidos y líquidos, además de implicar bajos costos tanto de operación como de implementación. Primero, las cerezas se separan, limpian y secan al sol en plataformas de cemento, volteándolas regularmente durante aproximadamente 3 semanas hasta alcanzar un 12% de humedad. Luego, se realiza el descascarado, donde una máquina elimina el pericarpio (piel, pulpa, mucílago y pergamino seco) del grano. Por último, los granos son sometidos a las etapas de limpieza, tostado y envasado. De cada tonelada de cereza fresca, se producen entre 0.12 y 0.18 toneladas de cáscara de café (Freitas et al., 2024; Hoseini et al., 2021).

Figura 1. 2.

Representación esquemática del procesamiento de café método seco



Nota: Freitas et al., (2024)

1.5.4.2. Método húmedo

El método húmedo demanda un mayor uso de equipos y un consumo de agua superior en comparación con el método seco. Las cerezas se seleccionan y limpian, luego son transportadas a una máquina despulpadora en donde se separa la pulpa (cáscara o piel y pulpa) del grano, dejando el grano cubierto por una capa fina de mucílago. Este mucílago es fermentado y eliminado por medio de lavado. Posteriormente, los granos se secan, para poder descascarillarlos, removiendo el pergamino del grano verde. Este proceso se puede realizar manualmente o por una descascaradora; el grano seco debe secarse hasta reducir, al 10- 12% del

peso, su contenido de humedad con el fin de garantizar la estabilidad del grano. Finalmente, los granos se tuestan en una tostadora y se embolsan. Por cada tonelada de cereza fresca, se genera alrededor de 0.5 toneladas de pulpa de café (Hoseini et al, 2021).

Figura 1. 3.

Representación esquemática del procesamiento de café método seco



Nota: Freitas et al., (2024).

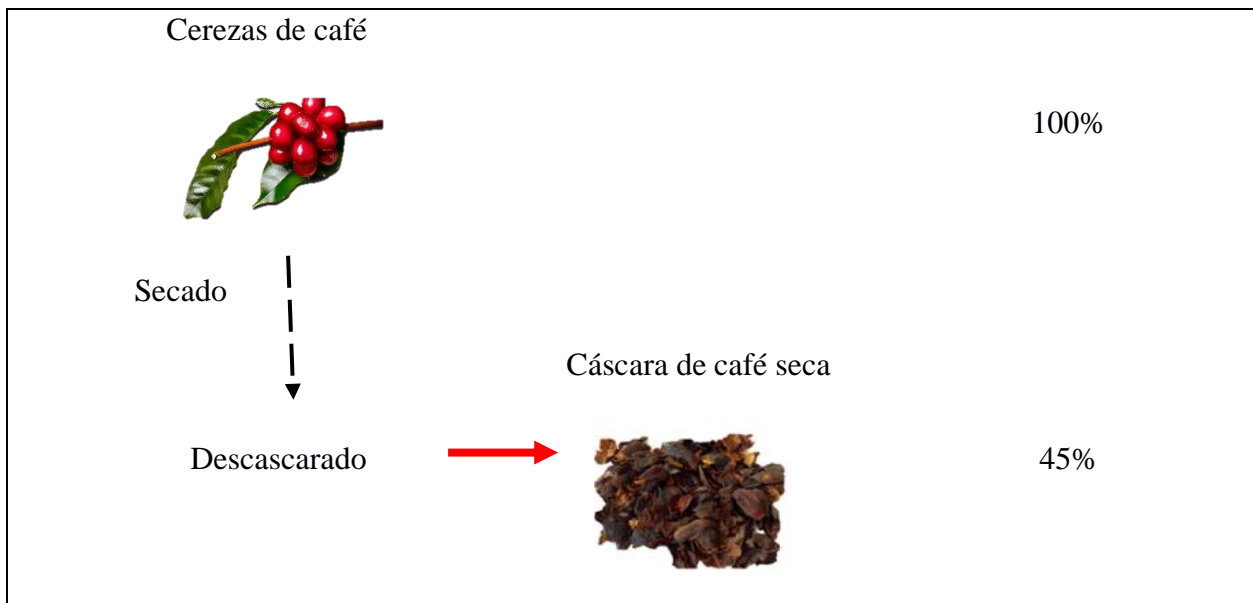
1.5.5. Subproductos del café

En cada etapa del procesamiento del café, desde la recolección del fruto hasta la elaboración de la bebida, los subproductos generados representan entre el 30 y el 50% del peso total de la fruta (Hoseini et al, 2021).

Los subproductos obtenidos en los métodos seco y húmedo se muestran en las figuras 1.4, 1.5 y 1.6.

Figura 1. 4.

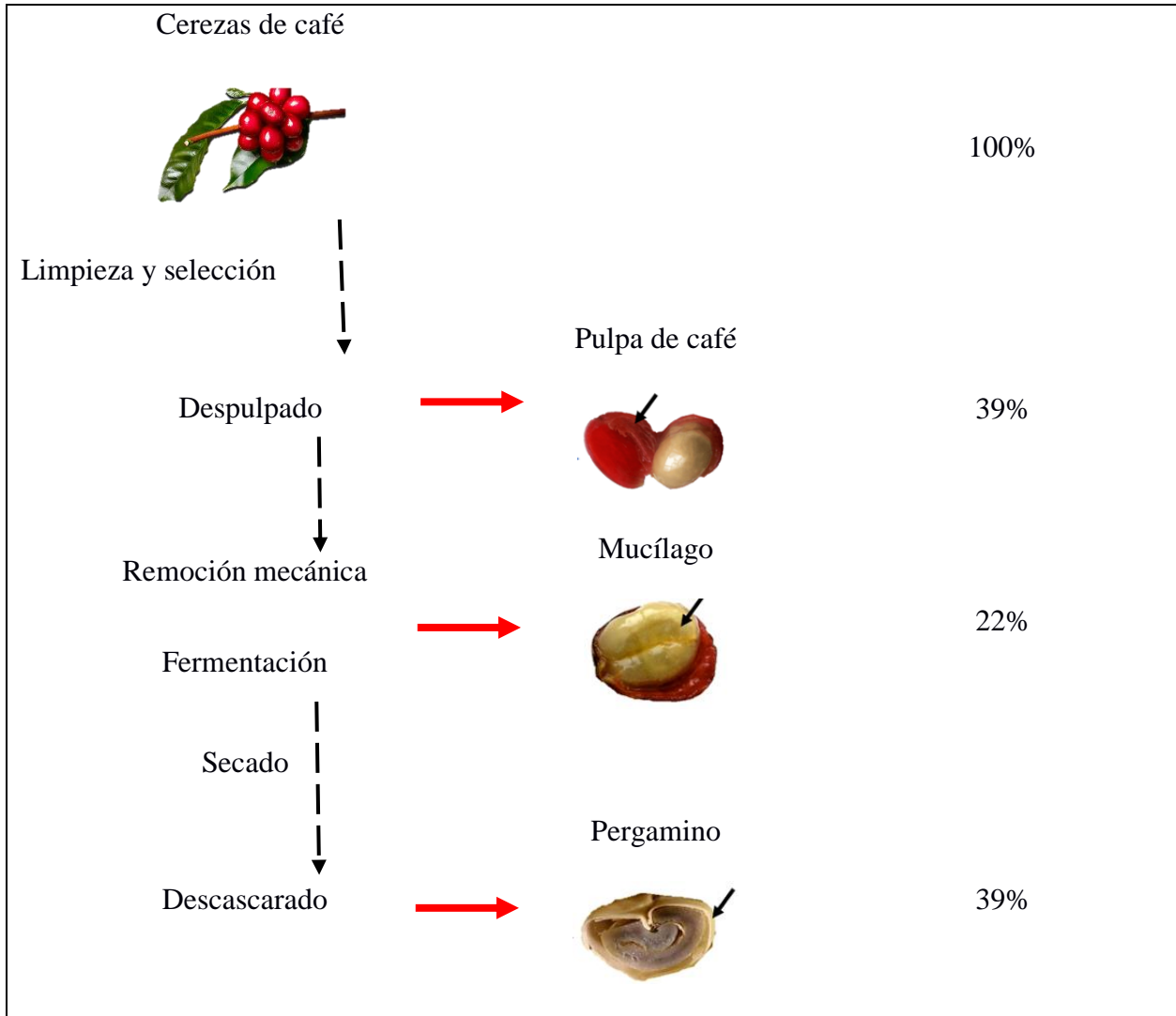
Representación esquemática de los subproductos obtenidos en cada procesamiento por método seco



Nota: Oliveira et al., (2021).

Figura 1. 5.

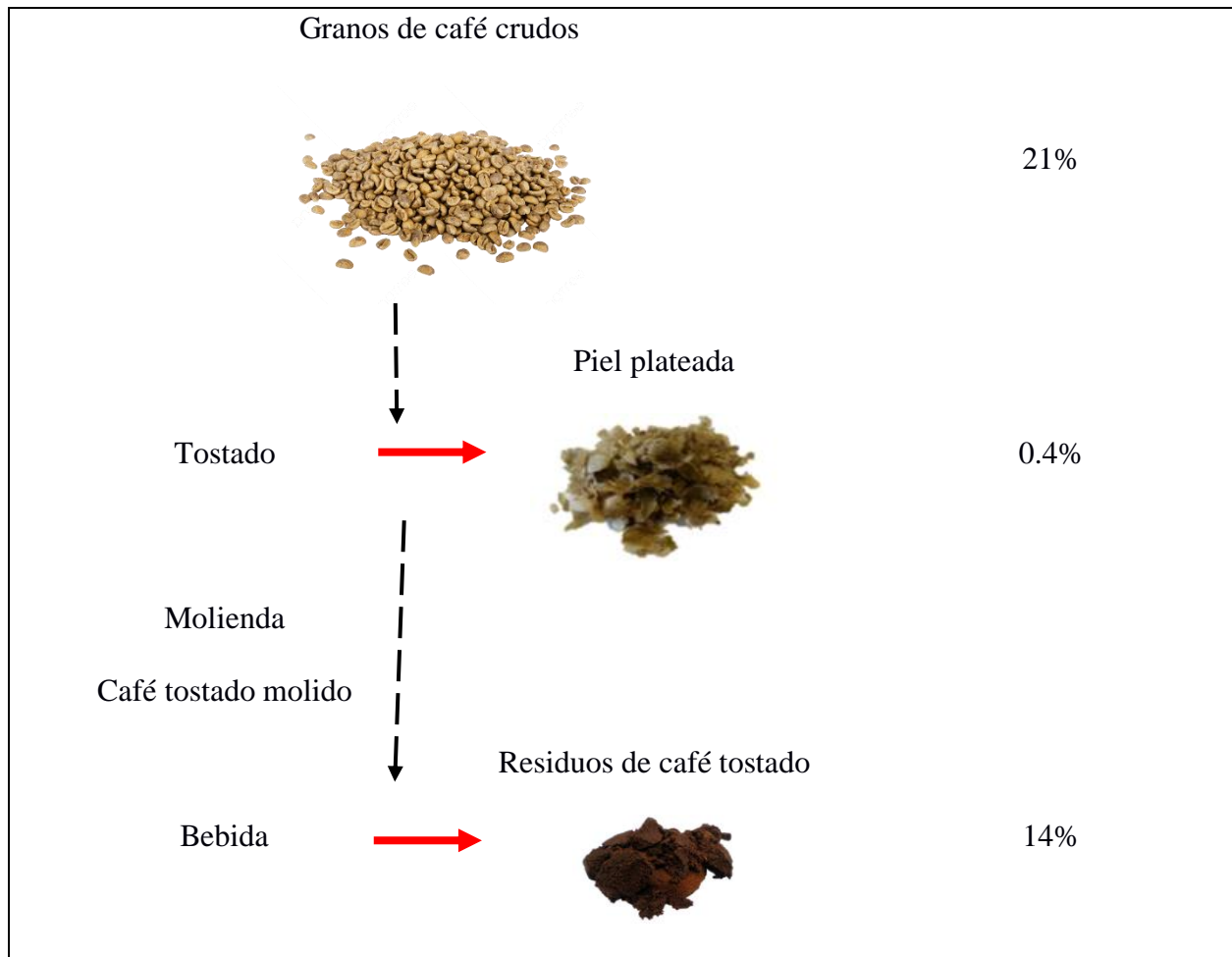
Representación esquemática de los subproductos obtenidos en cada procesamiento por método húmedo



Nota: Oliveira et al., (2021).

Figura 1. 6.

Representación esquemática de los subproductos obtenidos durante el proceso del grano de café crudo



Nota: Oliveira et al., (2021).

Los subproductos podrían aprovecharse como ingredientes alimentarios debido a su contenido de nutrientes, como fibra y proteínas, y compuestos bioactivos tales como ácidos clorogénicos, que ofrecen beneficios para la salud, siempre que se controle la seguridad alimentaria respecto a contaminantes biológicos, como hongos y micotoxinas, y químicos como plaguicidas y acrilamida, además, los subproductos pueden ser aplicados en tecnología polímero (Freitas et al, 2024).

1.5.5.1. Pulpa de café

La pulpa de café es el subproducto sólido predominante por medio del método húmedo, obtenido a través de la despulpadora como una mezcla de cáscara o piel y pulpa de la fruta. Constituye alrededor del 31 al 45% del peso de la cereza de café en su estado fresco (Oliveira et al., 2021). Se detallan los componentes fisicoquímicos de la pulpa de café en la tabla 1.1.

Tabla 1. 1.

Composición fisicoquímica de la pulpa de café.

Parámetro	KC et al., Thagunna 2021 et al., 2024	
Especie	<i>Coffea arabica L.</i>	<i>Coffea arabica L.</i>
Humedad (%)	75,7	81.24
Materia Seca (%)	24,3	-
Proteína (%)	8,1	5.92
Lípidos (%)	1,53	1.6
Cenizas (%)	6,4	8.95
Fibra cruda (%)	6,3	4.74
Azúcares reductores (%)	10,9	14.92
TSS (°Brix)	18	16
pH	4,3	-
Compuestos Fenólicos (mg GAE/g de extracto seco)	1862,62	-

La pulpa de café tiene diversos usos, como en la generación de biogás, la elaboración de vinos, melaza de pulpa, la extracción de cafeína, proteínas y enzimas pécticas, así como en su empleo como fertilizante orgánico mediante compostaje, entre otros (Hoseini et al., 2021). También se ha utilizado en la elaboración de bebidas infusionadas, logrando buena calidad sensorial y actividad antioxidante (Delgado et al., 2019). Asimismo, este subproducto ha sido empleado para obtener un destilado mediante fermentación a partir de subproductos de café procesados con el método húmedo (Lopes et al., 2020).

Es un subproducto rico en azúcares y en nutrientes, por lo que puede ser usado como sustrato para la fermentación por *Saccharomyces cerevisiae*. Además, presenta un alto contenido de taninos, el cual contribuye al sabor amargo durante la vinificación y aporta propiedades beneficiosas para la salud (Díaz & Solano, 2020). Se han reportado diferentes estudios en donde se hace uso de la pulpa para la producción de alcohol etílico, destilado (Alencar et al, 2020) y/o vinos (KC et al., 2021; Diaz & Solano, 2020; Thagunna et al., 2024; Olivares et al, 2020).

1.5.5.2. Mucílago

Es el segundo subproducto que se obtiene durante el procesamiento por método húmedo. La extracción del mucílago del grano de café se realiza mediante fermentación en tanques durante aproximadamente 24 a 40 horas (Subba, 2020). En la primera etapa, el mucílago se descompone, y en la segunda, se sumerge en agua. Este recubrimiento también puede eliminarse con métodos químicos o agua tibia; sin embargo, a menor escala, se recomienda el método de fermentación. Los granos se colocan en tanques plásticos y se dejan hasta que el mucílago se descomponga; es necesario removerlos regularmente y verificar si el mucílago ha sido eliminado mediante un enjuague en agua (Subba, 2020). Si al lavarlos, los granos se sienten arenosos y no resbaladizos, indica que la capa de mucílago ha sido removida. Durante este proceso, las enzimas

del mucílago y los microorganismos presentes son los responsables de su descomposición (Subba, 2020). Gracias a su composición química, el mucílago tiene diferentes usos tales como alimentación de porcinos, producción de manitol y alcohol etílico. Se detallan los componentes fisicoquímicos del mucílago en la tabla 1.2.

Tabla 1. 2.

Composición fisicoquímica del mucílago

Parámetro	Mucílago
Especie	<i>Coffea arabica L.</i>
Humedad (%)	85,3
Materia Seca (%)	14,7
Proteína (%)	7,2
Lípidos (%)	0,7
Cenizas (%)	1,1
Fibra cruda (%)	1,5
Azúcares totales (%)	4,3
Azúcares reductores (%)	-
Cafeína (%)	1,05
TSS (°Brix)	15
pH	3,7
Compuestos Fenólicos (mg GAE/g de extracto seco)	1618,32
Taninos (mg GAE/g de extracto seco)	370
Flavonoides (mg QE/g de extracto seco)	531,54

Nota: KC et al., (2021)

1.5.6. Proceso de Fermentación

1.5.6.1. Fermentación Alcohólica

La fermentación es un proceso biológico por acción de levaduras y bacterias, empleado por el ser humano durante miles de años para elaborar bebidas alcohólicas, pan y otros productos. Bioquímicamente, es un proceso clave en el que un organismo transforma un carbohidrato, como azúcar o almidón, en alcohol o ácido (Maicas, 2020). La fermentación alcohólica produce alcohol a partir de sustratos de carbono y nitrógeno (Subba, 2020), y en bebidas como vino y cerveza se realiza principalmente con cepas de *Saccharomyces cerevisiae*, las más comunes y económicamente importantes (Maicas, 2020).

Saccharomyces cerevisiae es versátil en la producción de alimentos y bebidas, destacando en la obtención de etanol utilizando de biomasa lignocelulósica por su capacidad de convertir azúcares en etanol en ausencia de oxígeno, tolerancia a altas concentraciones de etanol, y su estatus como GRAS “Generally recognized as safe” por sus siglas en inglés (Santos et al., 2019). En la fermentación del vino, se requieren cepas de alta producción de etanol para alcanzar niveles óptimos de 11-13% v/v (Maicas, 2020). El vino a partir de residuos de café es una bebida innovadora que contiene un contenido 7-10% de alcohol, cuyo sabor distintivo se atribuye a la fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* (Hu et al., 2024).

1.5.6.2. Parámetros de control

La calidad de un vino depende de la interacción entre propiedades fisicoquímicas, como el nivel de alcohol, metanol, contenido de azúcar, la densidad, la acidez total y volátil, y el contenido de sulfitos, así como de características sensoriales tales como el aroma, el sabor, la astringencia, el amargor, el color, la claridad y la ausencia de olores indeseables.

La pulpa y el mucílago son subproductos que presentan alto contenido de humedad y ricos en carbohidratos, proteínas, minerales, taninos, cafeínas, azúcares reductores, polisacáridos como pectinas y celulosas, y compuestos fenólicos principalmente el ácido clorogénico (Fierro et al., 2018). Gracias a su composición química, son buen sustrato para procesos de fermentación, como los empleados en el desarrollo de bebidas fermentadas y alcohólicas. En la tabla 1.3, se reportan dos ejemplos, con sus características fisicoquímicas.

Tabla 1. 3.

Características fisicoquímicas de bebidas alcohólicas a base de subproductos de café

	Bebida alcohólica (vino) a base de pulpa de café (KC et al, 2021; Thagunna et al., 2024)	Bebida alcohólica (vino) a base de mucílago de café (KC et al, 2021)
Metanol (mg/L)	[335 – 295]	298.9
Alcohol (ABV%)	[8.87-10.58]	8.707
Acidez total (%)	[0.41 -0.52]	0.393
Acidez volátil (%)	0.013	0.007
Polifenoles (mg GAE/g de extracto seco)	845.70	554
Grados Brix	[5-10]	5
pH	[3.6-3.2]	3.6

Capítulo 2

2. Metodología.

2.1. Materia prima

Las cerezas de café de especie arábica (*Coffea arabica*), variedad sidra, son procedente de la Hacienda Lugmapata, situada en el cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo (elevación entre 1700 y 2000 msnm): estas se cosecharon en estado maduro (cereza roja). El azúcar y la levadura comercial (*Saccharomyces cerevisiae*) se obtuvieron en un supermercado ubicado en la localidad de Guayaquil.

2.2. Diseño experimental

El diseño experimental que se realizó en el proyecto se dividió en 2 fases. Para ambas fases se implementó un Diseño Completamente al Azar (DCA),

Primera fase

En esta etapa se evaluaron dos tipos de subproducto del procesamiento de café, la pulpa y el mucílago, estableciendo tres tratamientos por duplicado (ver tabla 2.1). Las variables de respuesta analizadas incluyeron: pH, sólidos solubles, compuestos fenólicos totales (TPC), azúcares reductores, grados de alcohol.

Los diferentes subproductos se codificaron: M1 para pulpa, M2 para mucílago y M3 para la mezcla de pulpa con mucílago.

Tabla 2. 1.

Variable experimental de estudio

Variable de estudio	Niveles
	Pulpa
Tipo de subproducto	Mucílago
	Pulpa / mucílago (1/1)

Hipótesis

- **Hipótesis nula (H_0):** El tipo de subproducto de café utilizado no influye en las propiedades fisicoquímicas y en los atributos sensoriales de la bebida fermentada.
- **Hipótesis alterna (H_1):** El tipo de subproducto de café utilizado influye en las propiedades fisicoquímicas y en los atributos sensoriales de la bebida fermentada.

Segunda fase

Para esta fase se seleccionó la mejor fórmula de la fase 1. Esta selección se basó en el cumplimiento de las variables de respuesta con los requisitos de calidad de la bebida alcohólica que se buscaba desarrollar.

En la segunda fase, la variable experimental fue el porcentaje de levadura utilizado, como se muestra en la tabla 2.2. Las variables de respuesta fueron las mismas que en la fase 1.

Los diferentes porcentajes de levadura se codificaron de la siguiente manera: A para el tratamiento con 0.02% y B con 0.03%

Tabla 2. 2.

Variable experimental de estudio

Variable de estudio	Niveles
Porcentaje de Levadura	0.02%
	0.03%

Hipótesis

- **Hipótesis nula (H_0):** El porcentaje de levadura utilizado no influye en las propiedades fisicoquímicas y en los atributos sensoriales de la bebida fermentada.

- **Hipótesis alterna (H_1):** El porcentaje de levadura utilizado influye en las propiedades fisicoquímicas y en los atributos sensoriales de la bebida fermentada.

2.3. Preparación de la materia prima

2.3.1. Pulpa

Las cerezas de café fueron despulpadas mediante el uso de un despulpador (Metvisa DG.20, Brazil), obteniendo una mezcla de pulpa y cáscara triturada y por otra parte cáscara de café. La pulpa tenía 18.9 °Brix y un pH de 4.4. Para optimizar la fermentación, se añadió agua para reducir los sólidos solubles a 14.70 °Brix, mejorando la viscosidad y facilitando la homogenización de los ingredientes.

2.3.2 Mucílago

Las cáscaras despulpadas se exprimieron en seco con el fin de extraer los compuestos solubles. Los granos despulpados fueron sometidos a un proceso de fermentación de 4 días para luego ser enjugados, obteniendo líquido fermentado. Por último, para obtener la mezcla de mucílago, se mezcló en una relación, 80 mucílago exprimido y 20 de líquido fermentado. Esta materia prima presentó 8.65 °Brix de sólidos solubles y un pH de 4.2.

2.3.3 Pulpa y Mucílago

La pulpa y el mucílago, obtenido previamente, fueron mezclados en una relación 50/50. Esta mezcla registró un contenido de sólidos solubles de 11.5 °Brix con un pH de 4.2.

2.4. Desarrollo de la bebida de la primera fase del proceso

2.4.1. Preparación del mosto

Para la elaboración del mosto, en primer lugar, se filtró cada materia prima con un filtro de malla fina de nailon de grado alimenticio de 200 Mesh (aproximadamente 74 μm). Se añadió azúcar hasta llegar a 18°Brix en todas las muestras. Se mezcló hasta que todos los mostos estuvieron completamente homogenizados.

2.4.2. Pasteurización del mosto

Los mostos fueron pasteurizados a 74 °C durante 1 minuto, con el fin de inhibir los microorganismos presentes. Luego, se enfriaron rápidamente en una olla con hielo hasta alcanzar una temperatura de 30 a 32 °C, asegurando así condiciones óptimas para su uso en la etapa de fermentación.

2.4.3. Proceso de fermentación

2.4.3.1. Preparación del inóculo

La levadura activada se inoculó a razón de 0.075 gramos de levadura seca por litro de mosto (0.0075%), utilizando levadura seca comercial de panadería (*Saccharomyces cerevisiae*). Inicialmente, se hidrató la levadura mezclando 0.075 gramos con 0.75 ml de agua a 35 °C, dejándola reposar durante 20 minutos. Posteriormente, la levadura hidratada se mezcló con 0.75 ml de mosto para completar su activación, permitiendo que se active durante 10 minutos. Finalmente, el inóculo se incorporó al mosto con agitación constante para asegurar su adecuada distribución.

2.4.3.2. Fermentación

El proceso de fermentación de cada mosto fue monitoreado mediante el seguimiento de los valores de °Brix y pH. Estos parámetros se midieron y registraron cada tres días a partir del inicio de la fermentación. El proceso se detuvo al onceavo día, cuando cesó el burbujeo y además el pH descendió en un rango de 2.8 a 4.0

2.4.4. Filtrado

Cada bebida fermentada fue filtrada utilizando una malla fina de nailon de grado alimenticio de 200 Mesh (74 μm).

2.4.5. Clarificación

Se añadió bentonita a razón de 1 gramo por litro de mosto, dejándola actuar durante una hora a temperatura de refrigeración de 4°C a 6°C. Luego, se incorporó gelatina sin sabor a razón de 1 gramo por litro, dejando en reposo una hora a temperatura de refrigeración. Por último, se volvió a filtrar la bebida.

2.4.6. Sedimentación

Las bebidas fermentadas fueron sometidas a un proceso de sedimentación en temperatura de refrigeración de 4°C a 6°C durante 1 día, permitiendo una clarificación más efectiva del producto.

2.4.7. Filtrado

Después del período de sedimentación, las bebidas fueron filtradas mediante una malla fina de nailon de grado alimenticio con un tamaño de poro de 200 mesh. Este procedimiento permitió eliminar la mayor parte de los residuos presentes en las muestras, obteniendo una bebida más limpia y transparente.

2.4.8. Pasteurizado

Se aplico un tratamiento de pasteurización a 74 °C durante 1 minuto a las bebidas. Después, se enfriaron rápidamente en un recipiente con hielo hasta alcanzar una temperatura de entre 30 y 32 °C.

2.4.9. Embotellado

Las bebidas fueron envasadas en botellas de vidrio transparentes, que han sido previamente esterilizadas.

2.4.10. Almacenamiento

Las botellas se almacenaron en refrigeración de 4°C a 6°C para preservar sus propiedades y asegurar su estabilidad.

Los diagramas de flujo del proceso de elaboración de las bebidas según el tipo de subproducto empleado, se muestran a continuación:

Figura 2. 1.

Diagrama de flujo de proceso la bebida a base de pulpa de café

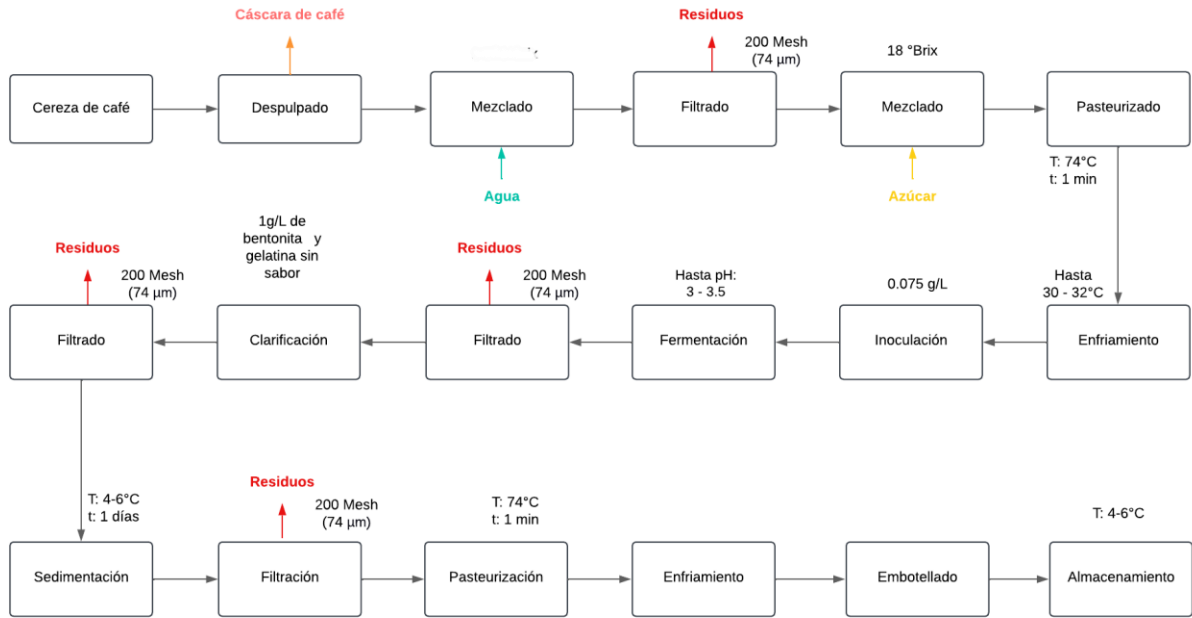


Figura 2. 2.

Diagrama de flujo de proceso la bebida a base de mucílago de café

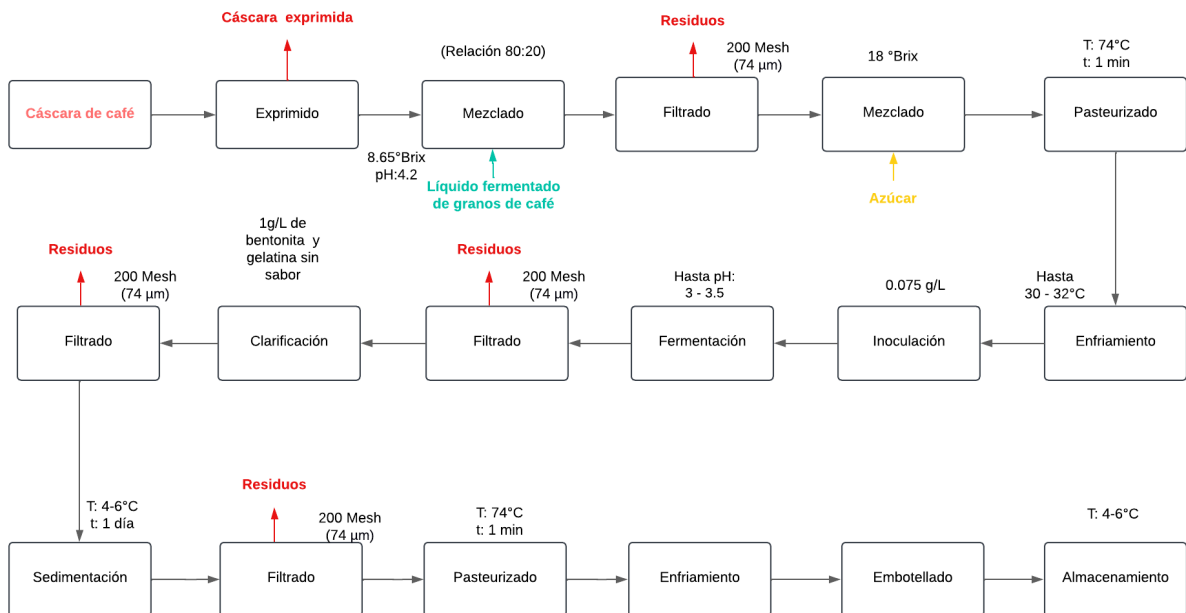
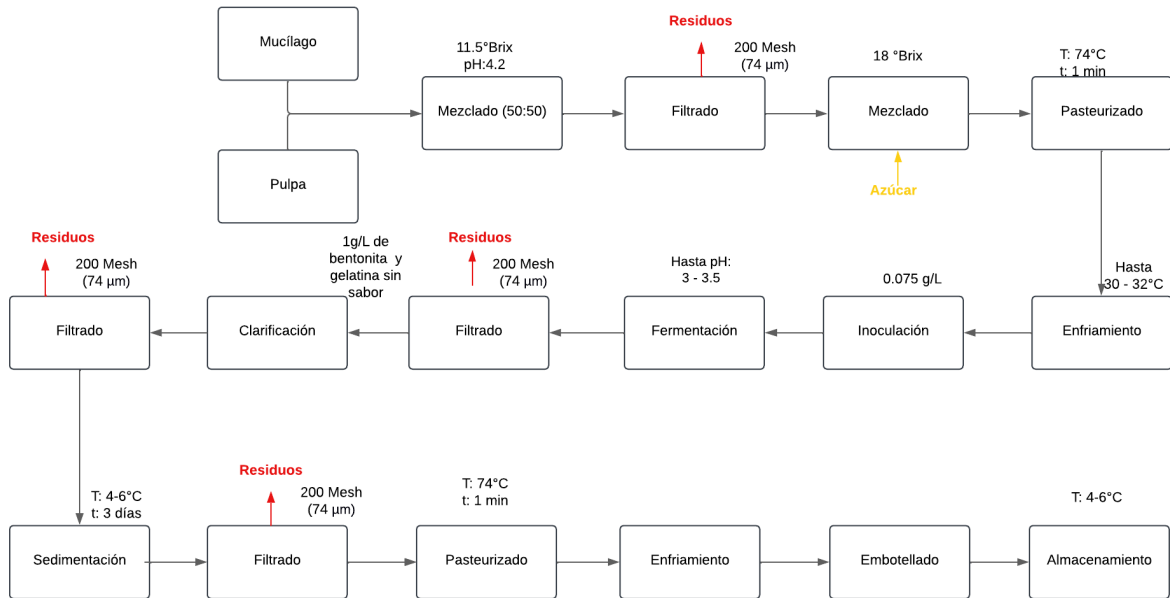


Figura 2. 3.

Diagrama de flujo de proceso la bebida a base de pulpa y mucílago de café



2.5. Desarrollo de la bebida de la segunda fase del proceso

Para la elaboración de la bebida de la segunda fase se siguieron los mismos pasos de la primera fase sin embargo se tomaron los siguientes cambios.

2.5.1. Elección de materia prima

En primer lugar, se eligió una sola materia prima en base a los resultados fisicoquímicos de las bebidas obtenidas en la primera fase entre ellos, mayor contenido de alcohol y polifenoles, y menor cantidad de grados Brix, pH y azúcares reductores.

2.5.2. Preparación del mosto

Se añadió azúcar hasta llegar a 24°Brix en todas las muestras. Se mezcló hasta que todos los mostos estuvieron completamente homogenizados. Por último, se pasteurizó la muestra a 74°C por un minuto.

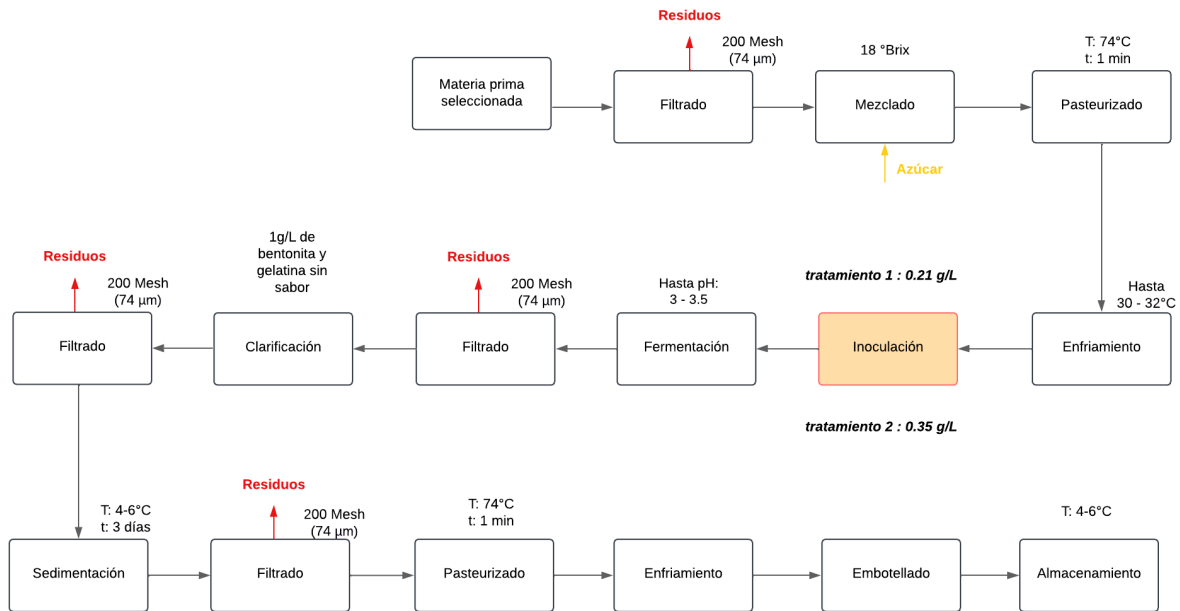
2.5.3. Preparación del inóculo

Para ambos porcentajes, se empleó levadura seca comercial de panadería siguiendo el mismo procedimiento de activación de la fase 1. La levadura se hidrató utilizando un volumen de agua equivalente a 10 veces su peso a una temperatura de 35 °C, y se dejó reposar durante 20 minutos. Luego, se añadió un volumen de mosto equivalente al del agua utilizada para completar la activación, dejándola reposar otros 10 minutos. Finalmente, el inóculo se incorporó al mosto con agitación constante para garantizar su distribución uniforme. Los porcentajes de levadura utilizados fueron 0.21 g/L para el primer tratamiento y 0.35 g/L para el segundo.

El diagrama de flujo general del proceso de elaboración de la bebida con dos diferentes porcentajes de levadura, se observa en la figura 2.4.

Figura 2. 4.

Diagrama de flujo de proceso la bebida a dos diferentes porcentajes de levadura



2.6. Caracterización de la materia prima y producto final.

2.6.1. Materia Prima

La pulpa y el mucílago pasteurizado, fue caracterizada mediante análisis de pH, sólidos solubles, azúcares reductores y compuestos fenólicos totales.

2.6.2. Bebidas fermentadas

Las bebidas fermentadas, identificadas según las Tablas 2.1 y 2.2, se analizaron físicamente y químicamente para pH, sólidos solubles, azúcares reductores, grado de alcohol y compuestos fenólicos totales. También se realizaron estudios microbiológicos y sensoriales.

2.6.3. pH

El pH se midió con un pHmetro digital Waterproof PCSTestr 35, calibrado conforme a los protocolos de AOAC-981.12 (AOAC International, 2005).

Para el análisis se utilizaron 5 mL de muestra en un vaso precipitado, con lecturas duplicadas. Para la materia prima se tomó el pH de la muestra y para la bebida se realizaron mediciones cada tres días hasta el fin de la fermentación.

2.6.4. Sólidos Solubles

Se utilizó un refractómetro digital Diffluid Ultimate (modelo DFT-F10V55H23, China) para la medición de los sólidos solubles, utilizando el método AOAC-932.12 (AOAC International, 2005).

La medición se realizó aplicando una gota de muestra en el refractómetro. Para la materia prima se tomó el pH de la muestra y para la bebida se realizaron mediciones cada tres días hasta el fin de la fermentación.

2.6.5. Azúcares reductores

Se utilizó el método de DNS (ácido dinitrosalicílico) desarrollado por Miller (1959).

2.6.5.1. Preparación de la curva

Se preparó una solución de glucosa a una concentración de 10 mg/mL, en un volumen de 10 ml. Posteriormente, se realizaron mezclas en tubos eppendorf, siguiendo las proporciones indicadas en la Tabla 2.3.

Tabla 2. 3.*Curva estándar de azúcares reductores*

Volumen de glucosa (10 mg/L)	Buffer (uL)	Concentración final (mg/L)
0	1000	0
50	950	500
100	900	1000
200	800	2000
300	700	3000
400	600	4000
500	500	5000

Se mezclaron 20 μL de cada solución de la curva estándar con 40 μL de buffer en microtubos. A continuación, se añadieron 120 μL de reactivo DNS a cada mezcla, las cuales se llevaron a ebullición en baño maría durante 5 minutos. Posteriormente, las muestras se enfriaron rápidamente en un baño de hielo. Una vez equilibradas, se pipetearon 36 μL de cada reacción en una microplaca de 96 pocillos para la región VIS. Se realizó una dilución con 160 μL de agua destilada. Por último, se midió la absorbancia a 540 nm utilizando el lector de microplacas multimodo modelo Synergy™ HTX de la marca Biotek, USA.

2.6.5.2. Preparación de las muestras

Se depositó 1 mL de la muestra en un tubo Eppendorf de 2 mL, el cual se sometió a centrifugación con la centrifugadora modelo Centrifuge 5430 R de la marca Eppendorf, Alemania, a 12,000 rpm y 5 °C durante 10 minutos. Posteriormente, el sobrenadante fue transferido a un

nuevo tubo eppendorf de 2 mL, con la opción de almacenarlo en congelación hasta su posterior análisis.

2.6.5.3. Lectura en el espectrofotómetro

Se mezclaron 20 μL del sobrenadante con 40 μL de buffer, a continuación, se incorporó 120 μL de reactivo DNS. La mezcla se llevó a ebullición en baño maría durante 5 minutos y posteriormente se enfrió rápidamente en un baño de hielo. Una vez equilibrada, se pipetearon 36 μL de la reacción en una microplaca de 96 pocillos para la región VIS. Se realizó una dilución con 160 μL de agua destilada. Por último, se midió la absorbancia a 540 nm con el lector de microplacas multimodo modelo Synergy™ HTX de la marca Biotek, USA.

Sobre la base de la absorbancia medida de las muestras de ensayo, se cuantifico el contenido de azúcares reductores totales a partir de la curva de calibración y se expresó como mg de glucosa equivalente por litro (mg /ml).

2.6.5.4. Cuantificación de Compuestos Fenólicos totales

Después de aplicar la metodología antes descrita, se evaluó la linealidad de la curva de calibración para cuantificar los azúcares reductores. Este análisis se realizó utilizando la Ecuación 1, basada en la ecuación de la recta obtenida a partir de la curva de calibración.

$$y = mx + b \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

Y: Absorbancia medida de la muestra.

X: Concentración de azúcares reductores en la solución (mg/ml).

m: Pendiente de la recta

b: Intersección con el eje y.

2.6.6. Compuestos Fenólicos Totales (CFT)

Las muestras fueron caracterizadas mediante el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, desarrollado por Folin y Ciocalteu (1927). El procedimiento empleado en esta prueba se realizó según lo propuesto por KC et al. (2021). La preparación de la curva estándar y la lectura en el espectrofotómetro se llevaron a cabo siguiendo el protocolo descrito por Subba (2020). Además, la preparación de las muestras se basó en las directrices establecidas por Padilla e Ysabela (2018).

2.6.6.1. Preparación de la curva

Se pesaron 0,50 g de ácido gálico y se añadió en 10 ml de metanol absoluto. Luego, la solución fue vertida en un matraz volumétrico de 100 ml, completando el volumen con metanol al 80%, obteniendo una concentración final de 5000 mg/L. La solución se mezcló bien para obtener una solución estándar de ácido gálico, y se realizó la curva de calibración según la tabla 2. 4.

Tabla 2. 4.*Curva de estándar de Compuestos Fenólicos*

Concentración de Ácido Gálico 5000 mg/L	Agua (µL)	Concentración final (mg/L)
0	1000	0
10	990	50
20	980	100
30	970	150
40	960	200
60	940	300
80	920	400
100	900	500

2.6.6.2. Preparación de las muestras

Se pesó 1 g de la muestra en tubos eppendorf de 2 mL. Seguido, se añadió 1 mL de metanol y se dejó en agitación durante 60 minutos en el SHAKER orbital. Luego, se centrifugó con la centrifugadora modelo Centrifuge 5430 R de la marca Eppendorf, Alemania, durante 15 minutos a 5,000 rpm. Después de la centrifugación, se retiró cuidadosamente el líquido sobrenadante. En caso de observar pellets en la solución, se procedió a centrifugar nuevamente. Finalmente, se colocó el extracto en tubos eppendorf de 2 mL.

2.6.6.3. Lectura en el espectrofotómetro

Luego de obtener el extracto, se procedió de la siguiente manera: se tomaron 200 μL del extracto, 1000 μL de Folin-Ciocalteu al 10% y 1000 μL de Na_2CO_3 al 7.5%, lo que dio un volumen total de 2200 μL .

A continuación, se cubrió el vial o tubo con papel aluminio o una película de plástico opaca para evitar la exposición de la mezcla a la luz directa. Este paso se realizó, antes de incubarla, inmediatamente después de preparar la mezcla. La mezcla fue incubada a 45°C durante 45 minutos en la incubadora modelo Pol-eko de la marca Pol-Eko-Aparatura, Polonia. Luego, se pipetearon 150 μL en microplacas de 96 pocillos para la región VIS. Por último, se registró la absorbancia a 765 nm el lector de microplacas multimodo modelo Synergy™ HTX de la marca Biotek, USA.

Sobre la base de la absorbancia medida de las muestras de ensayo, el contenido fenólico total se determinó a partir de la curva de calibración y se expresó como mg de equivalente de ácido gálico (EAG).

2.6.6.4. Cuantificación de Compuestos Fenólicos Totales

Después de aplicar la metodología antes descrita, se calculó el contenido de Compuestos Fenólicos Totales mediante la Ecuación 2, basada en la ecuación de la recta obtenida a partir de la curva de calibración.

$$y = mx + b \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

Y: Absorbancia medida de la muestra.

X: Concentración de Compuestos Fenólicos Totales en la solución (mg/ml).

m: Pendiente de la recta

b: Intersección con el eje y.

2.6.7. Grados de alcohol

El contenido de Alcohol (% v/v), Extracto Aparente (°P), Extracto Real (°P) y Extracto Original (°P) de las bebidas fermentadas se midió directamente con el Alcoalyzer modelo DMA 4500 Anton Paar, Austria. La determinación del alcohol utilizó 50 ml de muestra y el método combinado de espectroscopia NIR y densimetría oscilatoria del equipo, el cual ajusta la influencia de componentes no alcohólicos presentes.

2.6.8. Acidez

De acuerdo al método de titulación de AOAC 942.15 (AOAC International, 2005), se determinó la acidez titulable. Se mezclaron 25 ml de muestra con 250 ml de agua destilada neutralizada y 5 gotas de fenolftaleína en un matraz Erlenmeyer de 500 ml. La titulación se realizó con hidróxido de sodio 0,1 N utilizando una bureta, y el resultado se expresó en gramos de ácido acético por litro.

2.6.9. Microbiología

Se analizaron las muestras de bebidas fermentadas de la tabla 2.1, al onceavo día de fermentación. Antes de detener el proceso de fermentación, se tomaron muestras de 10 ml de cada una. Para la determinación de hongos y levaduras, se realizaron los pasos del procedimiento realizado por Puerta, et al. (2012). Se sembraron 0,1 ml de las diluciones 10^{-3} a 10^{-5} en medio de agar PDA (Potato Dextrose Agar) y se incubaron a 37°C durante 3 días. Este procedimiento se realizó por duplicado. En cuanto a las bacterias ácido-ácéticas, se adoptó el método de Motato et al. (2024), sembrando 0,1 ml de las diluciones 10^{-4} a 10^{-6} en agar MRS (MRS Broth), con incubación a 37°C durante 3 días, también en duplicado. Adicionalmente, se realizó una observación microscópica de cada muestra utilizando el microscopio modelo BM-120 marca

BOECO, Alemania, aplicando la técnica de tinción con azul de metileno para la identificación de hongos y levaduras.

2.7.Análisis Sensorial

El análisis sensorial, descrito en la Tabla 2.2, se llevó a cabo con jueces entrenados en bebidas alcohólicas mediante pruebas descriptivas. Estas incluyeron una evaluación olfativa y gustativa para analizar atributos sensoriales específicos como acidez, dulzura, vinagre, notas frutales, florales y alcohol, utilizando una escala de intensidad de 1 a 10, donde 1 representa la menor intensidad y 10 la mayor intensidad. Adicionalmente, se realizó sondeo de nivel de aceptabilidad para determinar el nivel de agrado general hacia las muestras, utilizando una escala hedónica de 7 puntos.

2.8.Análisis estadísticos.

El análisis estadístico se realizó utilizando un Diseño Completamente Aleatorio (DCA) en las dos fases de experimentación, los datos recolectados fueron tabulados y analizados mediante ANOVA de un solo factor para cada una de las variables de respuesta. A continuación, se llevó a cabo una prueba post-hoc de Tukey para identificar de manera más específica qué tratamiento es el mejor. Se realizó estos cálculos utilizando el software Minitab Versión Gratuita.

2.9.Propuesta de Distribución de Planta

Se aplicó el método de Planificación Sistemática del Trazado (SLP) para elaborar una Tabla de Relaciones de Actividades (TRA) y una Matriz de Necesidades de Espacio, analizando la cercanía e interacción entre las fases productivas y no productivas de la línea de producción, optimizando el flujo de trabajo (Khariwal et al., 2021).

A continuación, se generó el diseño propuesto mediante el software Corelap (versión gratuita) y se representó gráficamente utilizando LucidChart en su versión limitada online.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

3.1. Caracterización fisicoquímica de la pulpa y mucílago

La composición química de la materia prima influye directamente en las características finales de una bebida fermentada, afectando su calidad de forma positiva o negativa (Puerta, 2010). En la Tabla 3.1 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico de la pulpa y el mucílago de café de la especie *Coffea Arabica*, evaluados con un nivel de significancia del 5%. Se observaron diferencias significativas en los parámetros de sólidos solubles, polifenoles y azúcares reductores, de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. La pulpa mostró mayores concentraciones de azúcares, sólidos solubles y compuestos fenólicos en comparación con el mucílago.

En la Tabla 3.1, se evidencia que el pH no presentó diferencias relevantes de acuerdo con su valor p entre las muestras; sin embargo, el mucílago 4.19 ± 0.014^a es ligeramente más ácido que la pulpa 4.50 ± 0.14^a . Ambos valores reflejan una acidez moderada, adecuada para el proceso de fermentación. Estos resultados son similares con los de KC et al. (2021), quienes reportaron un pH de 4.30 para la pulpa y 3.70 para el mucílago, diferencias que se atribuyen a las condiciones específicas de cultivo y procesamiento.

Los sólidos solubles fueron mayores en la pulpa 19.20 ± 0.42^a °Brix que en el mucílago 8.67 ± 0.03^b °Brix, indicando una concentración moderada de sólidos solubles, principalmente azúcares, que están disponibles para la fermentación. KC et al. (2021) y Thagunna et al. (2024) reportaron contenidos similares de 18°Brix y 16°Brix para la pulpa y mucílago, respectivamente. Las diferencias de grados brix en el mucílago pueden atribuirse a la adición del líquido fermentado adicionado durante el proceso de preparación de mucílago, mencionado previamente en la metodología de obtención del mucílago, lo que reduce el contenido de sólidos.

El contenido de azúcares reductores fue de 16629.8 ± 0.20^a mg Glu/mL en la pulpa y 4296.25 ± 0.59^b mg Glu/mL en el mucílago. Esta diferencia se debe a que químicamente la pulpa contiene mayor reserva de azúcares disponibles por su función de tejido protector y fuente de energía de la pared celular durante el desarrollo del fruto (Braham y Bressani, 1978). Además, el contenido de azúcares reductores puede variar debido a factores como la ubicación geográfica, el clima, las condiciones del suelo y otros aspectos ambientales relacionados con la materia prima. Asimismo, puede estar influenciado por la actividad microbiana durante el almacenamiento, la manipulación o las condiciones de extracción de esta (KC et al., 2021).

Por su parte, el mucílago tiene un alto contenido de polisacáridos, ya que, durante la maduración del fruto, el pectato de calcio y la protopectina se convierten en pectina (Braham y Bressani, 1978). No obstante, el método de extracción anaeróbica empleado, junto con la adición de agua, contribuyó a la degradación de la concentración inicial de estos compuestos.

La pulpa presentó 186.61 ± 1.01^a mg GAE/g de polifenoles, superando al mucílago, cuyos valores fueron inferiores. Los polifenoles, conocidos por sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas, son de especial interés en los subproductos del café. Aunque los resultados obtenidos son inferiores a los reportados por KC et al. (2021) y Geremu et al. (2016), que registraron hasta 900.60 mg GAE/g, las variaciones se explican por las diferencias en las variedades de café, las condiciones de cultivo y los métodos de procesamiento. Pese a estas diferencias, el contenido de polifenoles sigue siendo significativo para su posible uso en el desarrollo de bebidas alcohólicas fermentadas.

Tabla 3. 1.*Resultados fisicoquímicos de la pulpa y mucílago de café*

Materia	Parámetros evaluados ($\bar{X} \pm SD$)			
	pH	Sólidos solubles (°Brix)	Compuestos Polifenoles (mg EAG/g)	Azúcares Reductores (mg Glu/ mL)
Prima	$n = 2$ $p = 0.091$	$n = 2$ $p = 0.001$	$n = 2$ $p = 0.035$	$n = 2$ $p = 0.000$
Pulpa	4.50 ± 0.14^a	19.20 ± 0.42^a	186.61 ± 1.01^a	$16,629.8 \pm 0.20^a$
Mucílago	4.19 ± 0.01^a	8.67 ± 0.03^b	177.50 ± 2.27^b	$4,296.25 \pm 0.59^b$

Nota: Los valores en las columnas que presentan diferentes superíndices ^{a,b} indican diferencias significativas ($p > 0.05$).

3.2. Caracterización fisicoquímica de la bebida fermentada de la fase 1.

En la Tabla 3.2 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico de las bebidas de la fase 1 correspondientes a M1 (bebida realizada a base de pulpa), M2 (bebida a realizada base de mucílago) y M3 (bebida realizada a base de mezcla en partes iguales de pulpa y mucílago), las cuales tuvieron 11 días de fermentación y se detuvo cuando cesó el burbujeo. Considerar que todos los experimentos de esta fase 1 partieron de 18°Brix debido a la agregación de azúcar.

Tabla 3. 2*Resultados físicoquímicos de las bebidas fermentadas de la fase 1*

Bebidas fermentadas	Parámetros evaluados ($\bar{X} \pm SD$)				
	pH $n = 2$ $p = 0.061$	Sólidos solubles (°Brix) $n = 2$ $p = 0.060$	Compuestos Polifenoles (mg EAG/g) $n = 2$ $p = 0.000$	Azúcares Reductores (mg Glu/ mL) $n = 2$ $p = 0.000$	Alcohol (% v/v) $n = 2$ $p = 0.061$
M1	4.29±0.05 ^a	6.0±0.70 ^a	136.75±1.6 ^c	2,230.08±0.12 ^c	6.42±0.62 ^b
M2	4.17±0.00 ^a	10.27±1.6 ^a	165.15±0.21 ^a	3,580.25±0.35 ^a	9.42±0.35 ^a
M3	4.22±0.00 ^a	7.55±0.35 ^a	151.04±1.31 ^b	2,846.16±0.23 ^b	9.065±0.26 ^a

Nota:

1. Las bebidas fermentadas a tres tratamientos: Pulpa 100% (M1), Mucílago 100% (M2) y Pulpa 50% y Mucílago 50% (M3).
2. Los valores en las columnas que presentan diferentes superíndices ^{a,b,c} indican diferencias significativas ($p > 0.05$).

3.2.1. pH

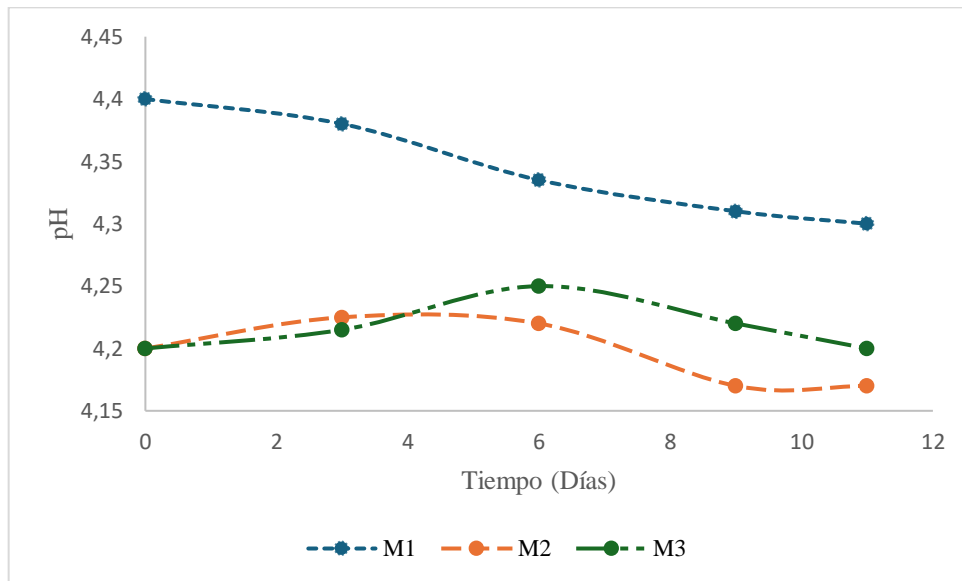
El pH final de las bebidas fermentadas fue de 4.29±0.0495^a, 4.17±0.00^a y 4.22±0.00^a, indicando un descenso durante el proceso de fermentación, logrando la acidificación del medio. En el análisis estadístico, se evidencia que no hay diferencias significativas entre las medias de las bebidas. Este rango de pH sugiere una acidez moderada, ideal para garantizar la estabilidad microbiológica y mejorar las características organolépticas del producto. Sin embargo, el pH obtenido no cumple con el requisito máximo establecido por la Normativa Técnica Colombia 708 (2000), que establece que los vinos de frutas deben tener un pH no superior a 4.0. A pesar de esto, los resultados obtenidos son cercanos a dicho límite.

La muestra M2 presentó un pH ligeramente más bajo, considerado óptimo para la bebida. Durante la fermentación, la disminución inicial del pH se atribuye a la producción de etanol y ácidos orgánicos por las levaduras al metabolizar la glucosa, lo que estabiliza las condiciones ácidas del proceso. Sin embargo, el pH final no fue tan bajo como el reportado en otras bebidas similares. Este resultado puede deberse a la fase final de fermentación, donde las levaduras, ante la falta de glucosa disponible, comienzan a consumir ácidos orgánicos como fuente de nutrientes, evitando que el pH descienda por debajo de 4, como se reporta en estudios similares (Thagunna et al., 2024). En el mosto de vino de uvas, generalmente se encuentran ácidos orgánicos como el málico, tartárico y cítrico, los cuales contribuyen significativamente a la acidez de la bebida final. Esto permite que el descenso del pH sea controlado y alcance un nivel adecuado en el vino de uvas (Robles et al., 2019). En este contexto, otro factor que podría explicar por qué el pH no descendió por debajo de 4 y mostró ese comportamiento es la composición inicial del mosto de mucílago y pulpa, que probablemente contenga una menor concentración de ácidos orgánicos debido a su extracción y condición de fermentación inicial a diferencia de los mostos utilizados en la producción de vino que provienen de jugos de uva frescos. En la uva, los ácidos tartárico y málico están en mayor concentración (Chidi, Bauer y Rossouw, 2018). Ambos son dipróticos, pero el tartárico libera tres veces más protones que el málico y es más resistente a la degradación por levaduras, lo que ayuda a mantener la acidez durante la fermentación (Gerós, Chaves y Delrot, 2012).

En cambio, el mucílago y la pulpa de café, debido a su proceso de extracción fermentativa, contienen ácido cítrico, quínico y málico (Osorio et al, 2022). El ácido cítrico puede transformarse en acético, el quínico es débil y el málico, al reducirse a láctico, eleva el pH en lugar de disminuirlo. Este comportamiento se muestra en la figura 3.1, que ilustra el descenso del pH durante los días de fermentación.

Figura 3. 1

Comportamiento del pH durante la fermentación de las bebidas de la fase 1.



Nota: Las bebidas fermentadas a tres tratamientos: Pulpa 100% (M1), Mucílago 100% (M2) y Pulpa 50% y Mucílago 50% (M3).

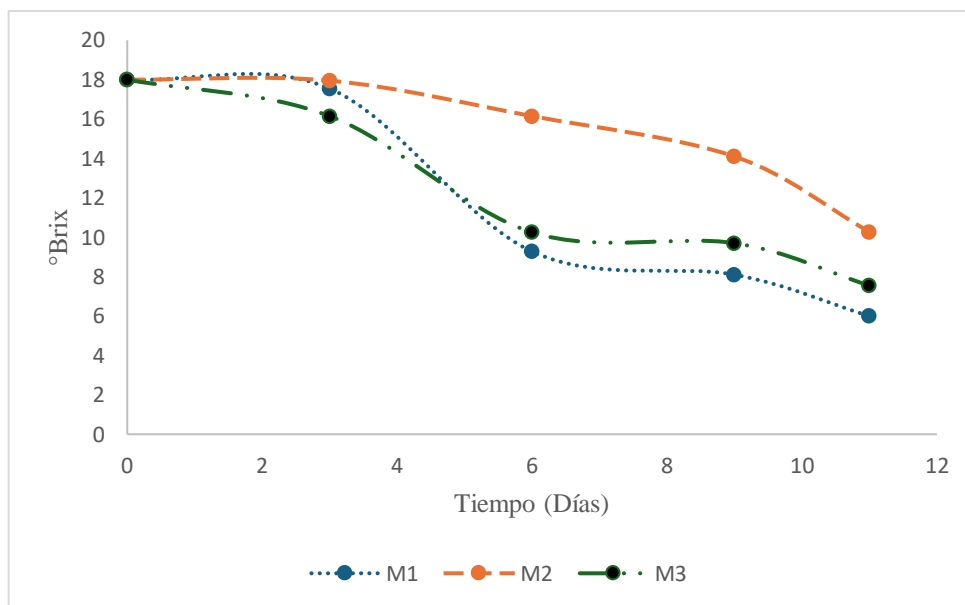
3.2.2. Sólidos solubles

Los sólidos solubles obtenidos en las bebidas fermentadas fueron de 6.0 ± 0.707^a , 10.27 ± 1.66^a y 7.55 ± 0.35^a °Brix, respectivamente. Las variaciones pueden atribuirse tanto a diferencias en el consumo de azúcares durante la fermentación como a la formulación inicial de cada muestra. M1 mostró el menor contenido final de sólidos solubles, reflejando una fermentación más eficiente y de mayor conversión de azúcares a etanol. En contraste, M2 presentó el mayor contenido de sólidos, indicando una fermentación menos eficiente y un dulzor residual significativo. M3, con valores intermedios, sugiere un equilibrio entre el metabolismo de azúcares y la producción de etanol. El porcentaje de sólidos solubles de las muestras se encuentra en el rango establecido para vinos según la Norma Técnica Nicaragüense 03 008 13 de bebidas alcohólicas fermentadas, vino de frutas y/o plantas tropicales.

La figura 3.2 se muestra la disminución de los °Brix durante la fermentación, observándose una reducción rápida en las primeras etapas debido al metabolismo activo de las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y su eficiencia fermentativa (Suárez, Garrido y Guevara, 2016). Este comportamiento es consistente con lo reportado por Thagunna et al. (2024), quienes documentaron contenidos de sólidos solubles de hasta 10 °Brix en bebidas fermentadas similares.

Figura 3. 2.

Comportamiento de los sólidos solubles durante la fermentación de las bebidas de la fase 1.



Nota: Las bebidas fermentadas a tres tratamientos: Pulpa 100% (M1), Mucílago 100% (M2) y Pulpa 50% y Mucílago 50% (M3), estandarizados a 18°Brix.

3.2.3. Contenido de Polifenoles

El contenido de compuestos fenólicos mostró diferencias significativas entre las bebidas evaluadas. Según el análisis de comparaciones múltiples de Tukey, la muestra M2 presentó valores significativamente superiores. Durante el proceso de fermentación, los compuestos fenólicos disminuyeron, alcanzándose concentraciones de 136.75 ± 1.61^c , 165.15 ± 0.212^a y 151.04 ± 1.313^b

mg EAG/g. A pesar de esta reducción, los resultados muestran una variabilidad moderada atribuible a factores como las condiciones de extracción, la variedad de café utilizada y el proceso de clarificación aplicado (Sierra et al., 2023).

Entre las tres muestras, M2 presentó el mayor contenido de polifenoles, con 165.15 ± 0.212^b mg EAG/g. La disminución del contenido fenólico observada en las otras bebidas puede explicarse por la degradación de estos compuestos debido a factores como la temperatura, la exposición a la luz, la presencia de oxígeno, la actividad enzimática y las variaciones de pH. Además, las pérdidas de polifenoles en la pulpa pueden atribuirse a reacciones oxidativas, tanto químicas como enzimáticas y fermentativas, o a su adsorción por las levaduras (da Silveira et al., 2019).

3.2.4. Azúcares reductores

La bebida M2 presento una diferencia significativa al registrar la mayor concentración de azúcares reductores 3580.25 ± 0.35^a mg Glu/ mL seguida de M3 con 2846.16 ± 0.23^b mg Glu/mL y M1 con 2230.08 ± 0.12^c mg Glu/mL. Aunque los grados °Brix del mosto se estandarizaron a 18 al inicio de la fermentación, es probable que el mosto de la bebida M2 contuviera una mayor cantidad de azúcares, lo que explica su mayor contenido de alcohol, 9.42 % v/v, según se observa en la Tabla 3.2.

Sin embargo, según la Figura 3.2, M2 experimentó un proceso de fermentación más lento. Esto se refleja en su elevado contenido final de azúcares reductores, lo que sugiere una conversión incompleta de azúcares en productos de fermentación en comparación con M3 y M1. Este comportamiento podría estar relacionado con factores como la composición específica del mosto, la disponibilidad de nutrientes o posibles inhibidores presentes en el medio.

3.2.5. Alcohol

El porcentaje de alcohol en las bebidas fermentadas fue de $6.42\% \pm 0.622^b$, $9.42\% \pm 0.354^a$ y 9.065 ± 0.262^a para M1, M2 y M3, respectivamente. Estas variaciones pueden atribuirse a

diferencias en la composición inicial del mosto y al grado de consumo de azúcares por las levaduras durante la fermentación. A pesar de que todas las muestras fueron estandarizadas a un valor inicial de °Brix, las diferencias entre resultados es significativa siendo M2 el que tiene mayor contenido de alcohol % v/v.

Los resultados obtenidos son similares con el rango reportado por KC et al. (2021), de 8.27% a 8.9% en bebidas alcohólicas elaboradas a partir de pulpa y mucílago de café.

Además, de acuerdo con la normativa NTE INEN 374 (2016) para bebidas alcohólicas de frutas, que establece un contenido mínimo de alcohol del 6 %, las bebidas fermentadas cumplen con los requisitos regulatorios mínimos aceptados.

3.3. Análisis microbiológico

Durante el proceso de fermentación de las bebidas de la primera fase, se identificaron microbiológicamente bacterias ácido- lácticas (BAL) y levaduras, como se muestra en el Anexo C. Por otro lado, el análisis mediante tinción con azul de metileno reveló exclusivamente la presencia de levaduras, sin evidencia de hongos (Anexo C). Los resultados obtenidos respaldan la existencia simultánea de dos tipos de fermentaciones: alcohólica y láctica.

Las levaduras son responsables de la fermentación alcohólica, transformando los azúcares en etanol y dióxido de carbono. Por su parte, las BAL hetero lácticas llevan a cabo la fermentación láctica, produciendo ácido láctico, ácido acético, etanol y CO₂ mediante rutas metabólicas como la vía fosfoetolasa (Parra, 2010).

El mucílago y pulpa de café son ricos en pentosas y hexosas, lo que provee un medio ideal para el desarrollo de estos microorganismos. Por su adaptabilidad al pH bajo y a la alta disponibilidad de azúcares, las BAL y las levaduras se convierten en los microorganismos dominantes del proceso (Motato et al., 2024). A medida que avanza la fermentación, el descenso

del pH del medio inhibe bacterias gramnegativas, lo que fortalece el crecimiento de las BAL y las levaduras, estabilizando el ecosistema microbiano (Puerta et al., 2012).

De acuerdo con Oktaviani et al. (2020), las bacterias ácido lácticas (BAL) son microorganismos autóctonos presentes en la pulpa de café, destacándose entre ellas las BAL heterofermentativas. De manera similar, el estudio de Nasanit y Satayawut (2015) reporta la presencia significativa de BAL durante el proceso de fermentación de la pulpa de café.

El impacto de estas fermentaciones es evidente en el perfil sensorial del producto final. Mientras que la fermentación alcohólica contribuye con alcoholes y ésteres, la fermentación láctica aporta notas ácidas y complejas, mejorando la calidad organoléptica de la bebida (Puerta et al., 2012). Además, la producción de ácidos orgánicos favorece la estabilidad microbiológica, inhibe microorganismos indeseados y prolonga la vida útil del producto, haciendo que sea más seguro y atractivo para el consumidor.

3.3 Caracterización fisicoquímica de la bebida fermentada de fase 2.

La bebida escogida de la fase 1 fue M2 debido a que presento variables significativas como un mayor contenido de compuestos polifenoles y también un mayor contenido de alcohol. Esto la posiciona como la más destacada entre los tres tratamientos experimentales.

Aunque su proceso de fermentación fue el menos eficiente, presentó un el pH más ácido y una conversión incompleta de los azúcares disponibles por la levadura. Por esta razón, se decidió replicar el proceso de este tratamiento, incrementando la proporción de levadura a 0.02% y 0.03% para encontrar una mejora en el proceso fermentativo y calidad sensorial.

La Tabla 3.6 muestra los resultados del análisis fisicoquímico de las bebidas de la fase 2, correspondientes a la muestra A y B, fermentadas durante 6 días. El proceso se detuvo cuando cesó el burbujeo y el pH alcanzó el valor óptimo.

La Tabla 3.6 muestra los resultados del análisis fisicoquímico de las bebidas de la fase 2, correspondientes a la muestra A y B, fermentadas durante 6 días. El proceso se detuvo cuando cesó el burbujeo y el pH alcanzó el valor óptimo.

Tabla 3. 3.

Resultados fisicoquímicos de las bebidas fermentadas de la fase 2.

Parámetros evaluados ($\bar{X} \pm SD$)						
Bebidas	pH $n = 2$ $p = 0.592$	Sólidos	Compuestos	Azúcares	Alcohol	Acidez
		solubles (°Brix) $n = 2$ $p = 0.895$	Polifenoles (mg EAG/g) $n = 2$ $p = 0.606$	Reductores (mg Glu/ mL) $n = 2$ $p = 0.001$	(% v/v) $n = 2$ $p = 0.482$	Titulable (%p / v) $n = 2$ $p = 0.793$
A	3.59 ± 0.04^a	16.58 ± 0.10^a	176.34 ± 0.63^a	$13,280.3 \pm 0.5^a$	6.05 ± 0.06^a	0.21 ± 0.07^a
B	3.61 ± 0.01^a	16.55 ± 0.21^a	175.54 ± 1.77^a	$13,270.8 \pm 0.1^b$	6.18 ± 0.20^a	0.19 ± 0.04^a

Nota:

1. Las bebidas fermentadas a dos diferentes porcentajes de levadura, 0.02% (A) y 0.03% (B).
2. Los valores en las columnas que presentan diferentes superíndices ^{a,b} indican diferencias significativas ($p > 0.05$).

La concentración de levadura y el incremento de azúcares influyen directamente en la velocidad de fermentación, provocando una disminución acelerada tanto del pH como de los sólidos solubles. Ambos tratamientos comenzaron con un pH de 4.4 y 24 °Brix, pero experimentaron una disminución a valores finales de 3.59 ± 0.042^a y 16.58 ± 0.106^a para la bebida A, y 3.61 ± 0.014^a y 16.55 ± 0.212^a para la bebida B. Este comportamiento se ilustra en las Figuras 3.3 y 3.4. Olivares et al. (2020) también registraron resultados similares, quienes, al elaborar una bebida alcohólica utilizando distintas concentraciones de levadura, observaron patrones similares

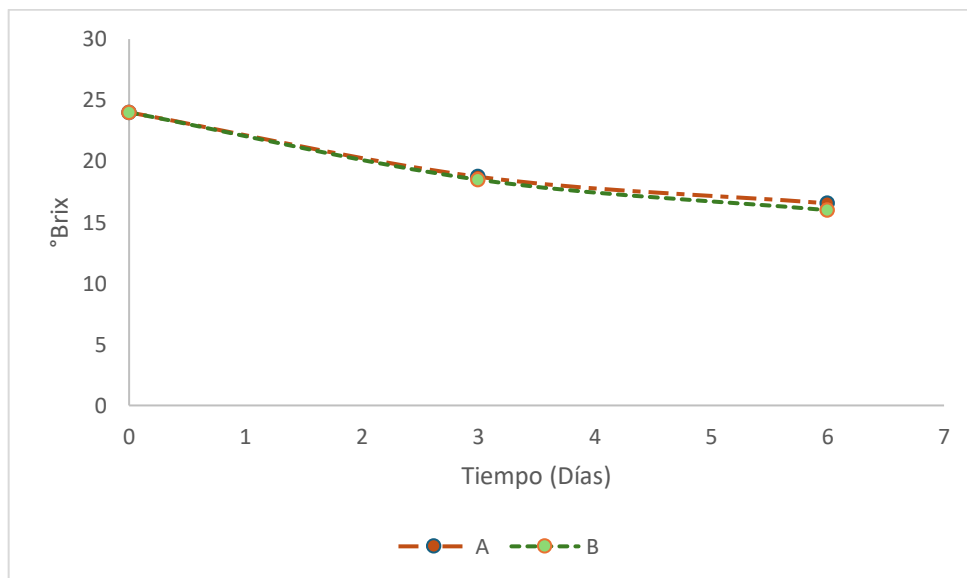
en la disminución del pH. De manera análoga, KC et al. (2021) reportaron un pH de 3.5 tras seis días de fermentación.

Aunque ambos valores disminuyeron durante la fermentación, el análisis estadístico mediante la prueba de Tukey no reveló diferencias significativas entre las bebidas A y B.

La acidez titulable se calculó en función del ácido cítrico, ya que, según Bae et al. (2022), este es uno de los principales ácidos orgánicos presentes en la fermentación de bebidas a base de café. Sin embargo, la acidez titulable en A y B es baja, lo que influye sensorialmente en la percepción de la acidez. Esto sugiere la presencia de sabores ácidos sutiles o casi imperceptibles en las bebidas, lo que podría afectar el equilibrio del perfil sensorial.

Figura 3. 3

Comportamiento de los sólidos solubles durante la fermentación de las bebidas de la fase 2

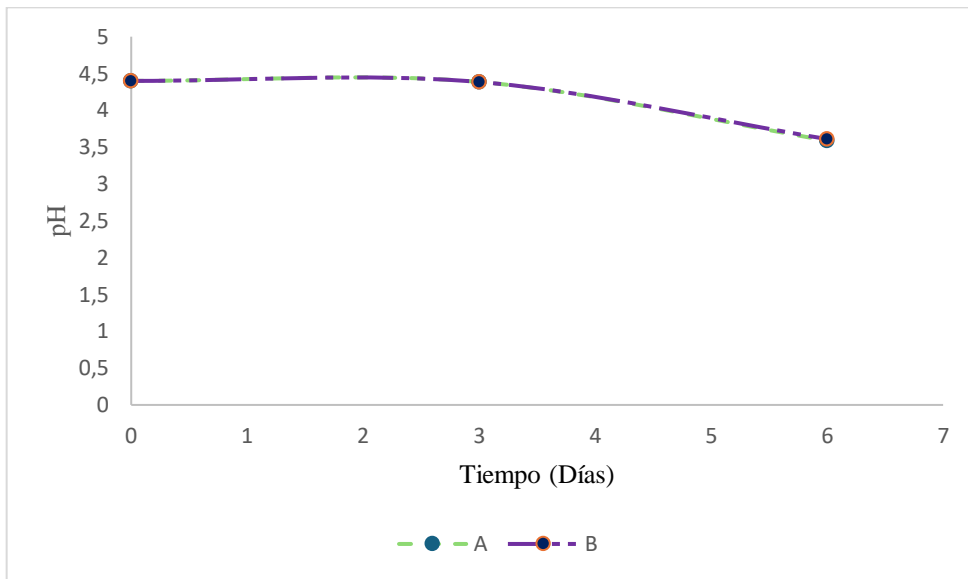


Nota:

1. Las bebidas fermentadas a dos diferentes porcentajes de levadura, 0.02% (A) y 0.03%(B).
2. Las bebidas fueron estandarizadas al inicio de la fermentación a 24°Brix.

Figura 3. 4.

Comportamiento de los pH durante la fermentación de las bebidas de la fase 2.



Nota:

1. Las bebidas fermentadas a dos diferentes porcentajes de levadura, 0.02% (A) y 0.03%(B).
2. Las bebidas fueron estandarizadas al inicio de la fermentación a 24°Brix.

Por su parte, los grados Brix muestran una concentración moderada de sólidos solubles, principalmente azúcares, lo cual es indicativo de una fermentación controlada y favorece la producción de alcohol, alcanzando un $6.05\% \pm 0.0636^a$ y $6.18\% \pm 0.205^a$ en la muestra A y B. Cabe destacar que el uso de concentraciones altas de levadura puede incrementar el porcentaje de alcohol en un tiempo menor, pero también puede ocasionar un agotamiento más rápido de los azúcares disponibles, lo que podría detener la fermentación antes de que todos los azúcares se conviertan en alcohol (Olivares et al., 2020). Sin embargo, en este caso, a pesar de las condiciones iniciales con valores de grados Brix más altos y mayores concentraciones de levadura, estas variables no influyeron significativamente en el porcentaje final de alcohol obtenido en las muestras. Por otra parte, el porcentaje de alcohol obtenido cumple con el

contenido mínimo de alcohol requerido por Norma Técnica Colombiana 708 de bebidas alcohólicas, vinos de frutas (2000).

En general en la fase 2 no hay diferencias significativas entre las bebidas A y B para ninguno de los parámetros evaluados. Aunque algunos valores son ligeramente diferentes, estas variaciones no son lo suficientemente grandes como para ser estadísticamente relevantes. Por lo tanto, las bebidas son muy similares en términos de pH, contenido de sólidos solubles, polifenoles, azúcares, alcohol y acidez titulable

3.4. Análisis sensorial

La bebida fermentada a base de mucílago de café, elaborada con dos porcentajes diferentes de levadura, fue evaluada sensorialmente en los atributos de aroma y sabor como: frutal, floral, vinagre, alcohólico, ácido y dulzor y aceptación general (Anexo D). Los resultados del análisis estadístico indican que no existen diferencias significativas entre las dos muestras en ninguno de los atributos evaluados ni en la aceptación general.

Como se observa en la tabla 3.4, las muestras A y B presentan el aroma alcohólico como el de mayor intensidad, mientras que el aroma ácido es el de menor intensidad. Ambos aromas son característicos del mucílago, ya que se encuentran de manera natural en el fruto, los cuales se intensifican durante la fermentación, debido a la presencia de compuestos volátiles principalmente alcoholes y esterres como alcohol etílico, ácido acético, ácido cítrico y acetato de etilo, los cuales aportan notas alcohólicas, frutales y a vinagre (Bae et al., 2021).

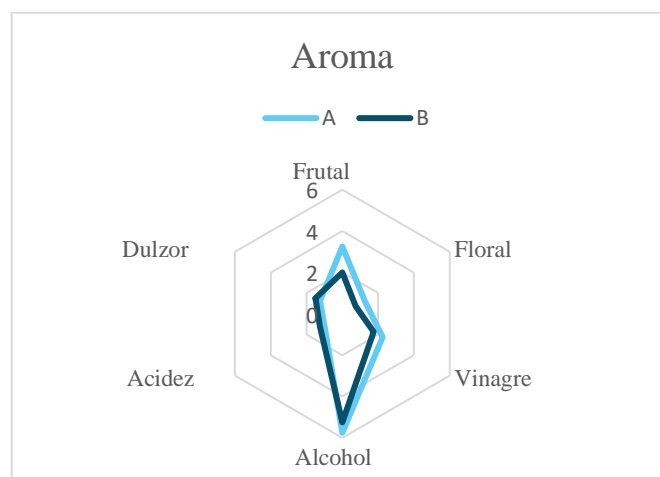
Tabla 3. 4.*Atributos sensoriales del aroma de la bebida fermentada de la segunda fase*

Muestra	Aroma ($\bar{X} \pm SD$)					
	Frutal	Floral	Vinagre	Alcohol	Acidez	Dulzor
	$n = 4$	$n = 4$	$n = 4$	$n = 4$	$n = 4$	$n = 4$
	$p = 0.094$	$p = 1.00$	$p = 0.207$	$p = 0,207$	$p = 0.35$	$p = 0,537$
A	3.25 ± 0.95^a	0.75 ± 0.50^a	2.25 ± 0.50^a	5.75 ± 0.50^a	$1,0 \pm 0.00^a$	1.25 ± 0.50^a
B	2.00 ± 0.81^a	0.75 ± 0.50^a	1.75 ± 0.50^a	5.25 ± 0.50^a	1.25 ± 0.50^a	$1,50 \pm 0.577^a$

Nota:

1. Las bebidas fermentadas a dos diferentes porcentajes de levadura, 0.02% (A) y 0.03%(B).
2. Escala de medición 1 al mínimo, 10 el máximo.
3. Los valores en las filas que presentan diferentes superíndices ^{a,b} indican diferencias significativas ($p > 0.05$).

En la figura 3.5., podemos observar el comportamiento de las diferentes características de las bebidas analizadas, la cual se evidencia que presenta un comportamiento en tendencia a aroma alcohólico.

Figura 3. 5.*Diagrama radial del atributo aroma evaluada para las bebidas fermentadas A y B.*

Nota:

1. Las bebidas fermentadas a dos diferentes porcentajes de levadura, 0.02% (A) y 0.03%(B).
2. Las bebidas fueron estandarizadas al inicio de la fermentación a 24°Brix.

Como se observa en la Tabla 3.5, el dulzor es el atributo con mayor intensidad en ambas muestras, mientras que los sabores a vinagre, acidez y alcohol presentan las menores intensidades. Esto se debe principalmente a que, durante el proceso de fermentación, los azúcares no se consumieron completamente, lo que contribuye a que la bebida mantenga un perfil más dulce.

Tabla 3. 5.

Atributos sensoriales del sabor de la bebida fermentada de la segunda fase

Muestra	Sabor ($\bar{X} \pm SD$)					
	Frutal	Floral	Vinagre	Alcohol	Acidez	Dulzor
	$n = 4$	$n = 4$	$n = 4$	$n = 4$	$n = 4$	$n = 4$
	$p = 0.670$	$p = 0.670$	$p = 0.207$	$p = 0.670$	$p = 0.620$	$p = 0.620$
A	1.50±0.57 ^a	1.50±0.57 ^a	0.750±0.50 ^a	1.25±0.50 ^a	0.750±0.50 ^a	8.00±0.81 ^a
B	1.75±0.95 ^a	1,75±0.95 ^a	1.25±0.50 ^a	1.50±1.00 ^a	1.00±0.81 ^a	7.75±0.50 ^a

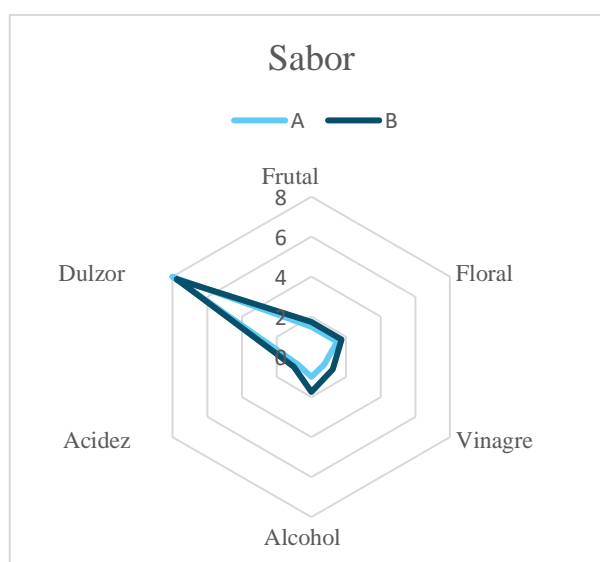
Nota:

1. Las bebidas fermentadas a dos diferentes porcentajes de levadura, 0.02% (A) y 0.03%(B).
2. Escala de medición 1 al mínimo, 10 el máximo.
3. Los valores en las filas que presentan diferentes superíndices a,b indican diferencias significativas ($p>0.05$).

En la figura 3.6., podemos observar el comportamiento de las diferentes características de las bebidas analizadas, la cual se evidencia que presenta un comportamiento en tendencia a sabor dulce.

Figura 3. 6.

Diagrama radial del atributo sabor evaluada para las bebidas fermentadas A y B.



Nota:

1. Las bebidas fermentadas a dos diferentes porcentajes de levadura, 0.02% (A) y 0.03%(B).
2. Las bebidas fueron estandarizadas al inicio de la fermentación a 24°Brix.

La aceptación de la bebida se la realizó en una escala del 1 al 7. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre ambas muestras, algunos panelistas percibieron la muestra B como más agradable, siendo la muestra con mayor aceptación. Esto podría deberse a sus atributos de aroma y sabor, especialmente al dulzor y la percepción de alcohol. Es importante destacar que esta prueba sensorial se realizó con panelistas entrenados, y debido a ello, se contó con un total de cuatro panelistas. Sin embargo, es relevante señalar que las pruebas hedónicas deben llevarse a cabo con un mínimo de setenta y cinco panelistas para obtener resultados más representativos y cercanos a la realidad (Lawless y Heymann, 2010).

Tabla 3. 6.*Aceptación de la bebida fermentada*

Aceptación	($\bar{X} \pm SD$)
	$n = 4$
	$p = 0.390$
A	1.75 ± 0.957^a
B	2.25 ± 0.50^a

Nota:

1. Las bebidas fermentadas a dos diferentes porcentajes de levadura, 0.02% (A) y 0.03% (B).
2. Escala de medición 1 al mínimo, 7 el máximo.
3. Los valores en las columnas que presentan diferentes superíndices a,b indican diferencias significativas ($p > 0.05$).

3.5. Distribución de planta

Para el diseño de la planta semiindustrial destinada a la elaboración de la bebida fermentada, se determinó que su localización sería en las cercanías de los campos de cultivo de café, debido a que la materia prima principal, el mucílago de café, presenta un deterioro acelerado, lo cual puede afectar negativamente el proceso de fermentación si no se almacena adecuadamente antes de su procesamiento.

La capacidad de producción de la planta fue diseñada considerando una disponibilidad anual de 40,000 litros de mucílago. Con base en esta cantidad, se estima que la planta podrá producir anualmente 39,000.08 litros de bebida. La producción se realizará en lotes de 1,584 litros, con una frecuencia de dos lotes por mes. A partir de esta capacidad proyectada, se desarrolló una tabla de relaciones de actividades, que permite identificar y evaluar la conexión entre cada etapa del proceso como se observa en la figura 3.7. Este análisis incluyó la necesidad

de proximidad entre las diferentes actividades, considerando diversos criterios para optimizar la eficiencia operativa y funcionalidad de la planta.

Figura 3. 7.

Tabla de relaciones de actividades

TABLA DE RELACIÓN DE ACTIVIDADES																
Actividades	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1 Desinfección del personal	X2	X2	X2	X6	X2	X2	X2	X5	X5	X5	X5	X5	X5	X	E1	
2 Laboratorios	X2	X2	X2	X6	X2	X2	X2	X5	X5	X5	X5	X5	X5	E1		
3 Recepción y Almacenamiento	X2	X2	X2	X6	X2	X2	X2	X5	X5	X5	X5	X5	A1			
4 Almacenamiento en FRIOL	X2	X2	X2	X6	X2	X2	O1	O1	O1	O1	E1	A1				
5 Filtrado1	X2	X2	X2	X6	U3	U3	O1	O1	O1	O1	I7					
6 Mezclado	X2	X2	X2	X6	U3	U3	O7	O7	O7	I7						
7 Pasteurización y Enfriamiento	X2	X2	X2	X6	U3	U3	I7	E7	A1							
8 Inoculación y Fermentación	X2	X2	X2	X6	X2	X2	I1	A1								
9 Clarificación y Sedimentación	X2	X2	O6	O6	X2	X2	E1									
10 Filtrado 2	I1	X2	O6	X2	I1	I1										
11 Pasteurización y Enfriamiento	I1	X6	O6	I1	A1											
12 Envasado	X6	X6	E8	I1												
13 Almacenamiento PT	X6	X6	A1													
14 Mantenimiento	I1	X6														
15 Vestidores y baños	O6															
16 Residuos																

Código	Proximidad	Color Asociado
A	Absolutamente necesaria	Rojo
E	Especialmente importante	Amarillo
I	Importante	Verde
O	Ordinaria	Azul
U	Sin importancia	-
X	Rechazable	Marrón

Motivo
1 Proximidad en el proceso
2 Higiene
3 Control
4 Frio
5 Malos olores, ruidos.
6 Seguridad del Producto
7 Utilización material común
8 Accesibilidad

n	17		
N	136		
Código	MIN	MAX	REAL
A	3	7	6
E	4	14	6
I	7	20	11
O	14	34	11
U			6
X			96
TOTAL	75	136	

Por otro lado, en la matriz de necesidades de espacio que se presenta en la figura 3.8, se puede observar cómo nos ayudó a planificar y organizar de manera eficiente el uso del espacio disponible en la planta. En ella se consideran tanto las características de la materia prima como las actividades del proceso productivo. A partir de este análisis, pudimos identificar que las áreas más grandes corresponden a la recepción de materia prima, la cámara de almacenamiento de materia prima y el área de almacenamiento de producto terminado. Además, en la tabla 3.10. se puede observar los equipos utilizados con sus respectivas capacidades.

Figura 3. 8.*Matriz de necesidades de Espacio*

	Actividad	Equipo	Capacidad [kg/h]	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Ss (ESTATICA)		Sg GRAVITACION)		Se (EVOLUCION)		Total	Área total
							m ³	m ²	L	m ²	K	m ²		
1	Recepción Y Almacenamiento	-	-	3	2,5	3	22,5	7,5	2,0	15,0	0,2	3,4	25,9	25,9
2	Mezclado	Tanque de Mezcla	1700 L	2	1	3	6,0	2,0	2,0	4,0	0,2	0,9	6,9	69,9
	Filtrado 1	Filtro prensa	1-3 m ³ /h	1,5	1,5	3	6,8	2,3	2,0	4,5	0,2	1,0	7,8	
	Almacenamiento en Frio	Camara de frio	20.000	8	6	3	144,0	48,0		0,0	0,2	7,2	55,2	
3	Pasteurización y Enfriamiento	Intercambiador de calor	1000 L/h	2,1	1,8	3	11,3	3,8	2,0	7,6	0,2	1,7	13,0	13,0
4	Inoculación y Fermentación	Tanque de fermentación	1700 L	2	2,4	3	14,4	4,8	2,0	9,6	0,2	2,2	16,6	16,6
5	Filtrado 2	Filtro prensa	1700 L	1,5	1,5	3	6,8	2,3	2,0	4,5	0,2	1,0	7,8	20,7
	Clarificación y Sedimentación	Tanque	1700 L	1,5	2,5	3	11,3	3,8	2,0	7,5	0,2	1,7	12,9	
6	Pasteurización y	Intercambiador de calor	1000L/H	2,1	1,8	3	11,3	3,8	2,0	7,6	0,2	1,7	13,0	13,0
7	Envasado	Tanque y Envasadora	240-360 Bph	3	1,5	3	13,5	4,5	2,0	9,0	0,2	2,0	15,5	15,5
8	Almacenamiento PT	-	-	5	2	3	30,0	10,0	2,0	20,0	0,2	4,5	34,5	34,5
9	Mantenimiento	-	-	2	2	3	12,0	4,0	1,0	4,0	0,2	1,2	9,2	9,2
10	Vestidores y Baños	-	-	2	1	3	12,0	2,0	1,0	2,0	0,2	0,6	4,6	4,6
11	Desinfección	-	-	3	1,5	3	13,5	4,5	1,0	4,5	0,2	1,4	10,4	10,4
12	Laboratorios	-	-	2	2	3	12,0	4,0	1,0	4,0	0,2	1,2	9,2	9,2
13	Almacenamiento de Residuos	-	-	3	1	3	9,0	3,0	1,0	3,0	0,2	0,9	6,9	6,9
													103,9	249,4

Tabla 3. 7.*Equipo y capacidades*

Equipo	Etapas	Capacidad
Tanque Polipropileno	Almacenamiento Mp	55 galones
Filtro Prensa	Filtrado MP y bebida	1 a 3 m ³ /h
Mezclador de acero inoxidable	Mezclado Inicial	1600 litros
Intercambiador de calor	Pasteurización y enfriamiento MP y bebida	1600 litros /H
Fermentador	Inoculación y Fermentación	1600 litros
Tanque de Clarificación con agitación	Clarificación	1600 litros

Tanque de almacenamiento con agitación y control de temperatura	Sedimentación	1600 litros
Envasadora	Envasado	240 – 360 BPH

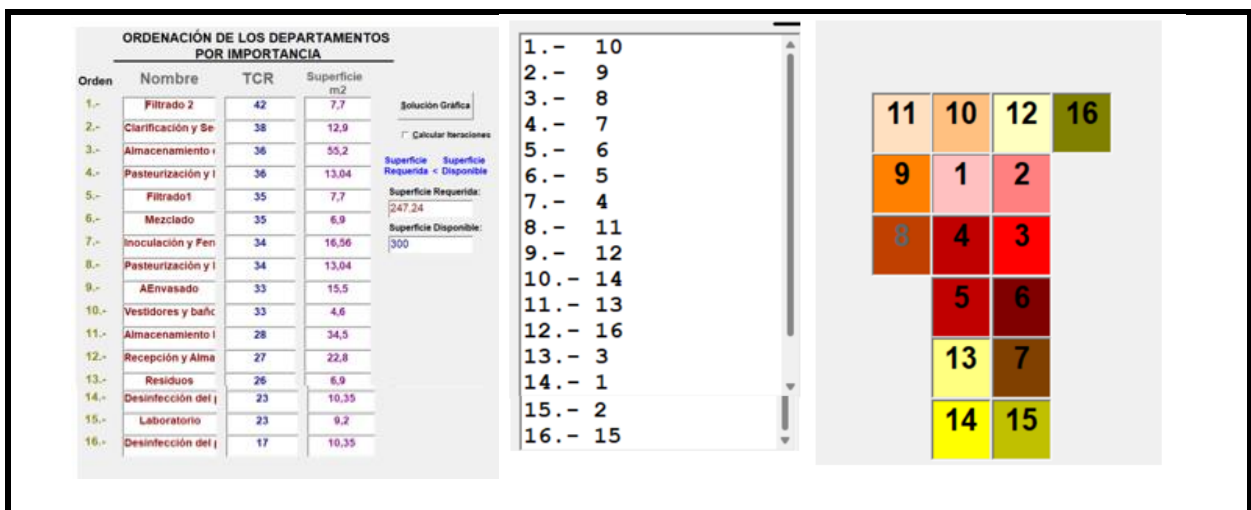
Tabla 3. 8. Producción anual de la bebida

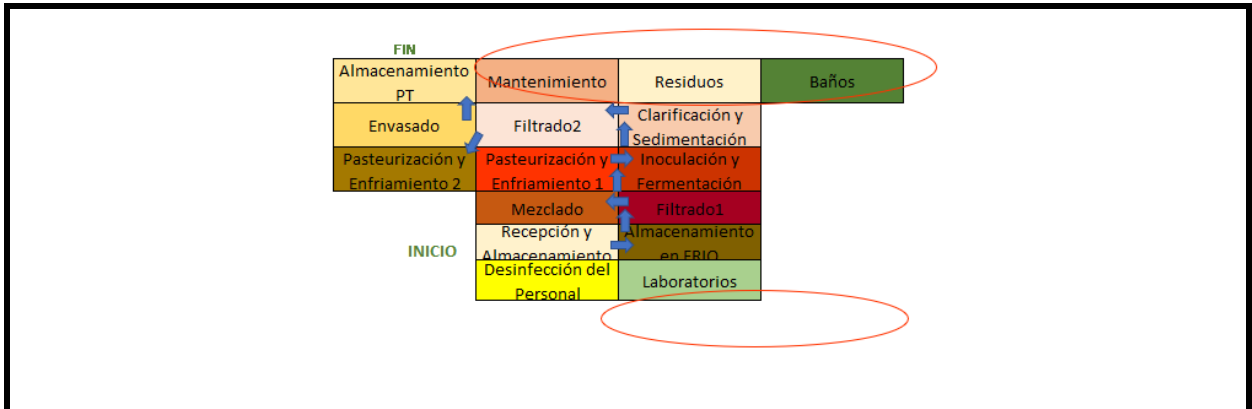
Parámetro	Cantidad
Capacidad de materia prima	40,000 litros
Producción por batch	1,582 litros
Batch por mes	2
Producción anual final	39,000.08 litros

En la figura 3.9, se presenta una distribución óptima de las áreas y actividades del proceso de producción desarrollada por el software Corelap. Esta disposición garantiza una mayor eficiencia en el uso del espacio y asegura el cumplimiento de los objetivos operativos establecidos, así como el flujo que debe seguir el proceso de producción.

Figura 3. 9.

Distribución de planta por Corelap

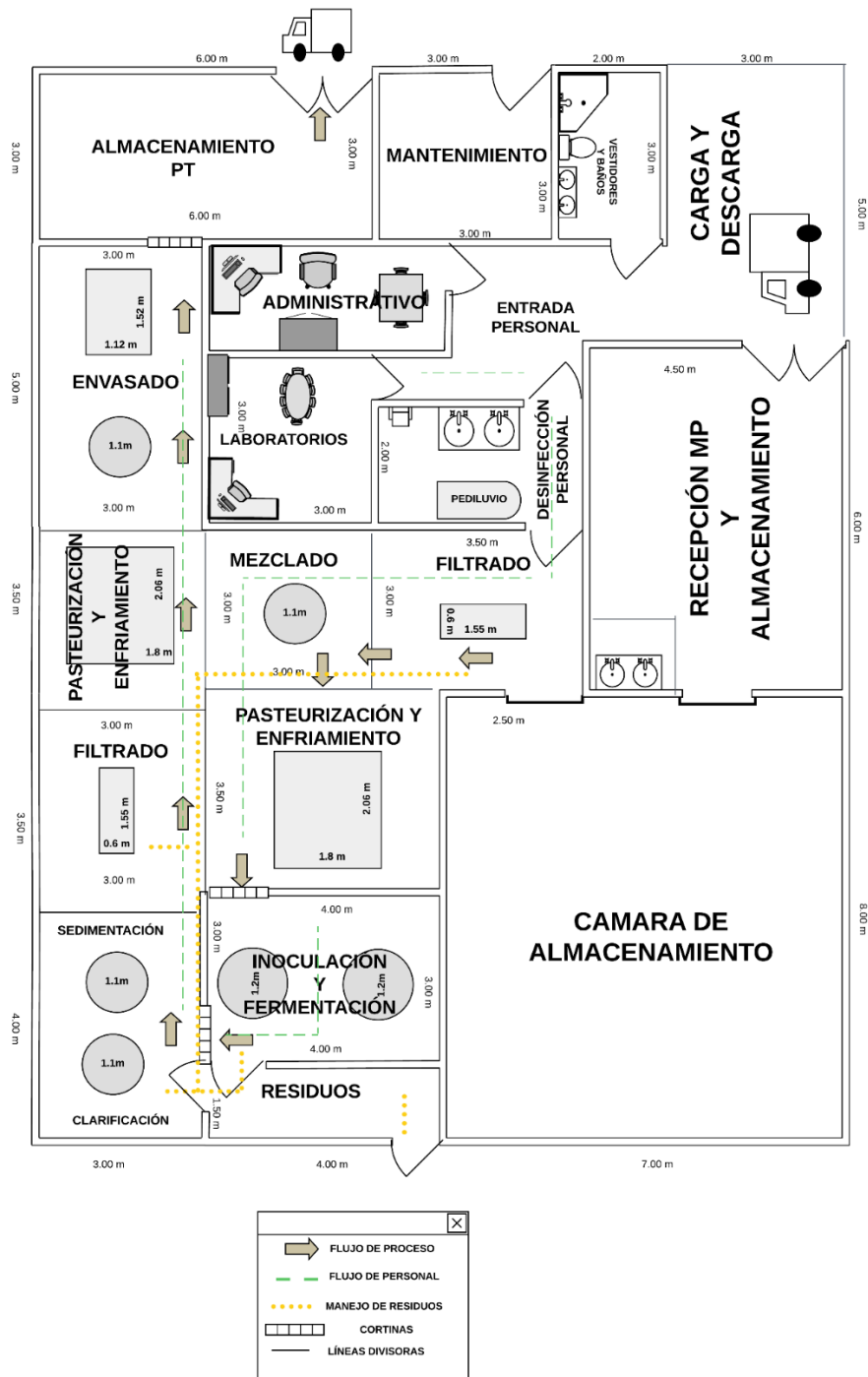




Finalmente, se presenta la distribución de la planta, figura 3.10, con sus respectivas dimensiones y separaciones, considerando tanto las alturas mínimas y máximas como las condiciones de higiene sanitaria que debe cumplir la planta. Como resultado de este análisis, el área total requerida para la instalación de la planta industrial de la bebida es de 266 m², esta es el área resultante que se requiere para la instalación de la planta industrial de la bebida.

Figura 3. 10.

Distribución de planta de elaboración de la bebida fermentada



3.5.1. Análisis Financiero

El análisis financiero presentado en el Apéndice F detalla los costos asociados al diseño de la planta, representado en la Figura 3.10. Este estudio se basa en una proyección estimada a cinco años, considerando una inversión inicial de \$235,726.00.

Con un precio de venta de \$6.80 por cada botella de 500 ml, se estima que la tasa de retorno de inversión se alcanza aproximadamente en dos años y medio, momento a partir del cual la inversión comienza a generar ganancias. Los indicadores financieros obtenidos reflejan una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 80% y un Valor Actual Neto (VAN) de \$356,800.00, calculado con una tasa de descuento del 40%.

El VAN positivo indica la viabilidad y solidez del modelo financiero, evidenciando que la inversión no solo es recuperable, sino también altamente rentable. Asimismo, el TIR del 80% refuerza la posición del diseño de planta como una alternativa financieramente atractiva.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

- i. La pulpa y el mucílago de café son sustratos viables para el desarrollo de una bebida fermentada, logrando aprovechar de esta manera los subproductos de la postcosecha húmeda.
- ii. Los análisis fisicoquímicos de la pulpa y el mucílago de café (*Coffea Arabica*) revelaron diferencias en los niveles de sólidos solubles, azúcares reductores y compuestos fenólicos, siendo la pulpa más rica en estos componentes. Ambas materias primas presentaron un pH adecuado para la fermentación (4.0 a 5.5). La pulpa, con una mayor concentración de azúcares y sólidos solubles, es la más apta para este proceso. Además, los compuestos fenólicos presentes en la pulpa podrían conferir propiedades antioxidantes y antimicrobianas, lo que refuerza su potencial en la elaboración de bebidas fermentadas. Sin embargo, aunque los resultados del mucílago fueron inferiores en comparación con la pulpa, sus características también son beneficiosas para el proceso de fermentación de la bebida.
- iii. El análisis fisicoquímico de las bebidas fermentadas en la fase 1 demuestran que el tipo de subproducto presentan diferencias significativas. En la fase 1, la bebida a base de mucílago (M2) destaca en contenido de polifenoles, pH y alcohol, siendo propiedades importantes de bebidas fermentadas. Por otra parte, El análisis fisicoquímico de las bebidas fermentadas en la fase 2 demuestran que el porcentaje de levadura no presentan diferencias significativas en las propiedades fisicoquímicas y en los atributos sensoriales de la bebida. En la fase 2, Las bebidas con 0.02% y 0.03% de levadura presentaron características fisicoquímicas similares, con alto contenido de polifenoles y niveles adecuados de alcohol y pH, además presentaron una mayor

intensidad del aroma alcohólico y sabor dulce. Los resultados indican que la eficiencia de la fermentación y la proporción de levadura utilizada son determinantes para la calidad final del producto, especialmente en términos de conversión de azúcares y producción de alcohol.

- iv. Mediante la elaboración del diseño de planta, semiindustrial para la elaboración de la bebida fermentada, se concluye que el área mínima requerida es aproximadamente $266 m^2$ lo cual permite una distribución funcional que cumple con los requisitos operativos y sanitarios, lo que asegura un proceso de producción eficaz y un producto final de alta calidad.

4.1.2 Recomendaciones

- Realizar pruebas con mayores concentraciones de levadura para encontrar la cantidad óptima que favorezca una fermentación eficiente.
- Monitorear y ajustar el pH durante la fermentación, manteniéndolo en un rango ideal para la actividad de la levadura
- Realizar pruebas con diferentes concentraciones de azúcar para para mejorar el rendimiento de la fermentación y la producción de alcohol
- Controlar la temperatura durante el proceso de fermentación.
- Realizar un monitoreo continuo de los compuestos bioactivos como los polifenoles y los antioxidantes a lo largo del proceso de fermentación. Esto ayudará a determinar el impacto de la fermentación sobre las propiedades saludables de la bebida.
- Realizar pruebas adicionales sobre el perfil sensorial de la bebida para ajustar sus características y asegurar su aceptación en el mercado, lo que contribuirá a su éxito comercial.

- Reforzar la distribución óptima de las áreas de producción para garantizar un flujo continuo de materiales y un control adecuado de los tiempos, lo que también contribuirá a la eficiencia energética y operativa.

Referencias

- Agencia France-Presse (AFP). (2024). *El precio del café arábica ha incrementado un 70 % este año*. Expreso. <https://www.expreso.ec/actualidad/economia/cafe-precios-brasil-cosecha-sequia-222387.html>
- Alencar, A., Pereira, R., Carvalho de Oliveira, L., Zacaroni, L., Douglas, W., Viela de Resende, M., ... & Ferreira, W. (2020). Production and characterization of a new distillate obtained from fermentation of wet processing coffee by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 4481-4491.
- AOAC International. (2005). Official methods of analysis of AOAC International (18th ed.). Gaithersburg, MD: AOAC International.
- Bae, H. M., Haile, M., & Kang, W. H. (2022). Evaluation of antioxidant, organic acid, and volatile compounds in coffee pulp wine fermented with native yeasts isolated from coffee cherries. *Food Science and Technology International*, 28(8), 716-727.
- Braham, J. E., & Bressani, R. (1978). *Pulpa de café: composición, tecnología y utilización*. CIID, Ottawa, ON, CA.
- Burgos-Arcos, C. L., & Sablón-Cossío, N. (2022). Evaluación de las alternativas del empleo de la biomasa lignocelulósica del café en Chimborazo. *Ingeniería Industrial*, 43, 21-36.
- da Silveira, et al. (2019). Solid-state fermentation as a sustainable method for coffee pulp treatment and production of an extract rich in chlorogenic acids. *Food and Bioprocess Processing*, 115, 175-184.
- Chidi, B.S., Bauer, F.F., & Rossouw, D. (2018). Organic Acid Metabolism and the Impact of Fermentation Practices on Wine Acidity: A Review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 39(2), 1-15. <https://doi.org/10.21548/39-2-3164>

- Delgado, S. R., Arbelaez, A. F. A., & Rojano, B. (2019). Antioxidant capacity, bioactive compounds in coffee pulp and implementation in the production of infusions. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 18(3), 235–248.
<https://doi.org/10.17306/J.AFS.2019.0663>
- Díaz, D. & Solano, R. (2020). *Propuesta para la producción de una bebida alcohólica a base de mucílago y pulpa de café, generados en la Finca Versalles*. [Tesis de Grado Universidad de Ibagué] <https://repositorio.unibague.edu.co/entities/publication/b3f4ba9d-a11b-48fa-b688-8fdb618234cc>
- El Universo (2014). Dos colombianos crean la primera planta de miel y harina de café [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=zqzI2QGdL5Y>
- Fernández-Cortés, Y., Sotto-Rodríguez, K. D., & Vargas-Marín, L. A. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción+ limpia*, 15(1), 93-110.
- Folin, O., & Ciocalteu, V. (1927). On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. *Journal of Biological Chemistry*, 73(2), 627-650.
- Freitas, V., Rodrigues, L., Teixeira, M., Dos Santos, M. y Stringheta, P. (2024). Coffee: A comprehensive overview of origin, market and the quality process. *Trends in Food Science & Technology* 146 (2024), 1014411. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104411>
- Geremu, M., Tola, Y. B., & Sualeh, A. (2016). Extraction and determination of total polyphenols and antioxidant capacity of red coffee (*Coffea arabica* L.) pulp of wet processing plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 3(1).
<https://doi.org/10.1186/s40538-016-0077-1>
- Gerós, H., Chaves, M. M., & Delrot, S. (Eds.). (2012). *The Biochemistry of the Grape Berry*. Bentham Science Publishers. <https://doi.org/10.2174/97816080536051120101N>

- Hoseini, M., Cocco, S., Casucci, C., Cardelli, V. y Corti, G. (2021). Coffee by-products derived resources. A review. *Biomass and Bioenergy* 148(2021) 106009.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106009>
- Hu, R., Xu, F., Zhao, L., Dong, W., Xiao, X., & Chen, X. (2024). Comparative Evaluation of Flavor and Sensory Quality of Coffee Pulp Wines. *Molecules*, 29(13), 3060.
<https://doi.org/10.3390/molecules29133060>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016). NTE INEN 374: Bebidas alcohólicas. Vino de frutas. Requisitos (3ra revisión). Quito, Ecuador: INEN.
- Jadán Sánchez, Víctor Manuel, Belduma Pizarro, Nathaly Alexandra, & Elizalde Orellana, Marco Vinicio. (2024). Evolución y proyección de la producción agrícola (Banano y Café) en Ecuador en el periodo 2012-2025. *Revista InveCom*, 4(2).
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10850807>
- KC, Y., Subba, R., Shiwakoti, L. D., Dhungana, P. K., Bajagain, R., Chaudhary, D. K., ... & Dahal, R. H. (2021). Utilizing coffee pulp and mucilage for producing alcohol-based beverage. *Fermentation*, 7(2), 53.
- Khariwal, S., Kumar, P., & Bhandari, M. (2021). Layout improvement of railway workshop using systematic layout planning (SLP)—A case study. *Materials Today: Proceedings*, 44, 4065-4071.
- Lawless, H. T., y Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food: Principles and practices* (2.^a ed.). Springer.
- Lucero, R. y Guaman, J. (2019). *Desarrollo de un concentrado a base de mucílago de café "Coffea arabica" variedades Catuai y Castillo en la provincia de Pastaza*. [Tesis de grado Universidad Estatal Amazónica].
<https://repositorio.uea.edu.ec/xmlui/handle/123456789/890>

Lopes, A. C. A., Andrade, R. P., de Oliveira, L. C. C., Lima, L. M. Z., Santiago, W. D., de Resende, M. L. V., das Graças Cardoso, M., & Duarte, W. F. (2020). Production and characterization of a new distillate obtained from fermentation of wet processing coffee by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4481–4491.

<https://doi.org/10.1007/s13197-020-04485-4>

Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426–428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030> erta Q., G.I.; Marín M., J., Osorio B., G.A.(2012) Microbiología de la fermentación del mucílago de café según su madurez y selección. *Revista Cenicafe* 63(2): 58-78.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (2012). *MAGAP ejecuta “Proyecto de Reactivación de la Caficultura Ecuatoriana”*.

<https://www.agricultura.gob.ec/magap-ejecuta-proyecto-de-reactivacion-de-la-caficultura-ecuatoriana/>

Motato Rocha, K. E., Gonzalez-Montero, V., y Román-Morales, M. O. (2024). Identification of microorganisms in wet coffee fermentation *Coffea arabica* Var Catimor and Castillo in Jardín, Antioquia-Colombia, using culture-dependent methods. *Vitae*, 31(1).

<https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v31n1a351373>

Nasanit, R. y Satayawut, K. (2015). Microbiological study during coffee fermentation of *Coffea arabica* var. *chiangmai 80* in Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, 49(1), 32-41.

Norma Técnica Colombiana. (2000). NTC 708: Bebidas alcohólicas. Vinos de frutas (Marzo 15, 2000). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

Oktaviani et al, (2020). Fermentation of coffee pulp using indigenous lactic acid bacteria with simultaneous aeration to produce cascara with a high antioxidant activity. *Heliyon*, 6(7).

Olivares, S., Silva, M., & Caruajulca, R. (2020). Bebida alcohólica por fermentación de cáscara y mucilago del café (*Coffea arabica* L.) a diferente pH y concentración de levadura.

Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería, 3(1), 9-15.

<http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v3i1.586>

Oliveira, G., Passos, C. P., Ferreira, P., Coimbra, M. A., & Gonçalves, I. (2021). Coffee by-products and their suitability for developing active food packaging materials. *Foods*,

10(3), 683. <https://doi.org/10.3390/foods10030683>

Osorio, et al. (2022). Effect of Prolonged Fermentations of Coffee Mucilage with Different Stages of Maturity on the Quality and Chemical Composition of the Bean. *Fermentation*,

8(10), 519. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100519>

Padilla, A., & Ysabela, G. “Determinación De La Capacidad Antioxidante Y Compuestos

Fenólicos Totales De La Cascara Y Mucílago De La Especie *Coffea* Arábica L Y Sus

Posibles Usos, San Ignacio, Cajamarca–2018” Tesis de Pregrado, Facultad De Ingeniería

Química Y Metalúrgica Escuela Profesional De Ingeniería Química, Universidad

Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

Pardo, S. (2024). *Comparación de genomas de dos especies de café Coffea arabica L. y Coffea canephora Pierre* [Tesis de postgrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador].

Repositorio PUCE. <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/3bf70c67-756e-444f-9ae1-81435db05d94/content>

Parra Huertas, Ricardo Adolfo. (2010). Review. Bacterias Acido Lácticas: Papel Funcional En Los Alimentos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8(1), 93-105.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612010000100012&Ing=en&tIng=es)

[35612010000100012&Ing=en&tIng=es.](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612010000100012&Ing=en&tIng=es)

Ponce Vaca, Luciano Abelardo, Orellana Suarez, Kléber Dionicio, Acuña Velásquez, Isidro

- Rolando, Alfonso Alemán, Juan Luis, & Fuentes Figueroa, Tomas. (2018). Situación de la caficultura ecuatoriana: perspectivas. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 6(1), 307-325.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-01322018000100015&lng=es&tlng=es.
- ProInnovate. (2023). *Peruanos desarrollan bebida energizante natural a partir de reaprovechamiento de pulpa de café* [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=Xp3LBlyroXE&t=246s>
- Puerta Q., G.I.; Marín M., J., Osorio B., G.A.(2012) Microbiología de la fermentación del mucílago de café según su madurez y selección. *Revista Cenicafé* 63(2): 58-78.
- Puerta Quintero, G. I. (2010). Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 402, 1-12.
- Robles, A., Fabjanowicz, M., Chmiel, T., & Justyna Płotka-Wasyłka. (2019). Determination and identification of organic acids in wine samples. Problems and challenges. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 120, 115630–115630. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.115630>
- Santos, J., Durand, N., Lacour, S., Belleville, M.-P., Perez, A., Loiseau, G., & Dornier, M. (2019). Solid-state fermentation as a sustainable method for coffee pulp treatment and production of an extract rich in chlorogenic acids. *Food and Bioproducts Processing*, 115, 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.04.001>
- Sierra-López, L. D., Hernandez-Tenorio, F., Marín-Palacio, L. D., & Giraldo-Estrada, C. (2023). Coffee mucilage clarification: A promising raw material for the food industry. *Food and Humanity*, 1, 689–695. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.07.019>

Statista. (2023, diciembre). Producción mundial de café desde 2003/04 hasta 2023/24_(en millones de sacos de 60 kilogramos) [Online]. Disponible en:

<https://es.statista.com/estadisticas/635187/mercado-del-cafe-produccion-mundial/>

Steele, S. (2023, Septiembre). The Anatomy of a Coffee Cherry - Journal. [Online]. Disponible en: <https://lykkekahvitatilafin/pages/the-anatomy-of-a-coffee-cherry-stories>

Suárez, L. (2019). *Aprovechamiento agroindustrial de la pulpa y cascarilla del café (Coffea arabica) Variedad caturra en el Noroccidente de Pichincha*. [Tesis de grado de Universidad de las Américas, Quito]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10317>

Suárez-Machín, C., Garrido-Carralero, N. A., & Guevara-Rodríguez, C. A. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. ICIDCA.. *Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(1), 20-28.

Subba, R., “Byproduct utilization of coffee cherry as an alcoholic beverage”. Tesis de Doctorado, Department of Food Technology Central Campus of Technology, Dharan Institute of Science and Technology Tribhuvan University, Nepal Dec, 2020.

<http://202.45.146.37:8080/xmlui/handle/123456789/209>

Thagunna, B., Bhattarai, S., Poudel, R., Poudel, R. R., Karki, L., & Sharma, S. P. (2024).

Utilization of coffee by-products for the production of alcoholic and non-alcoholic beverages and their physiochemical and sensory characteristics. *EUREKA: Life Sciences*, (2), 22-30. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2024.003388>

ANEXOS

Anexo A. Azúcares Reductores

Figura A1. Curva patrón de Azúcares reductores

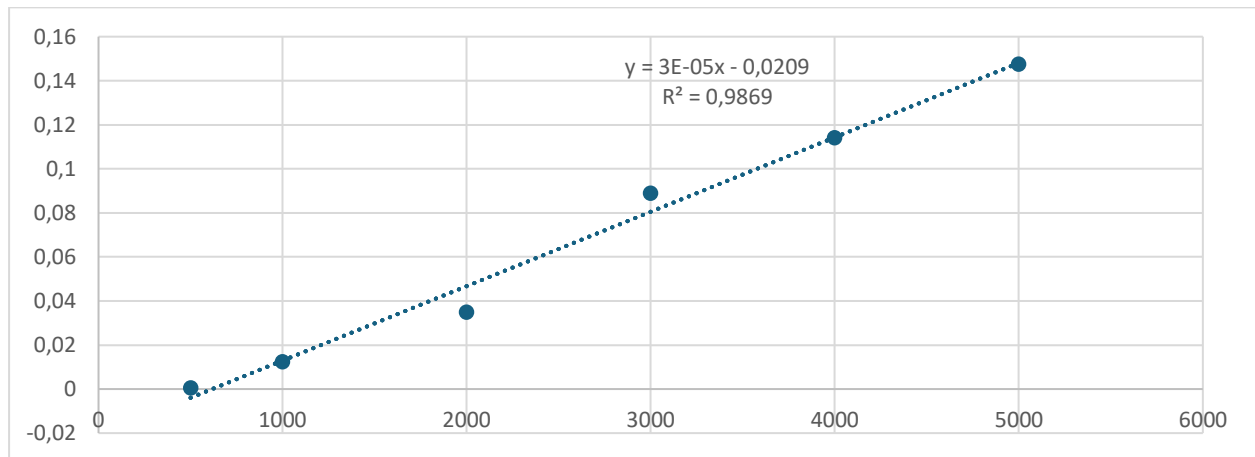
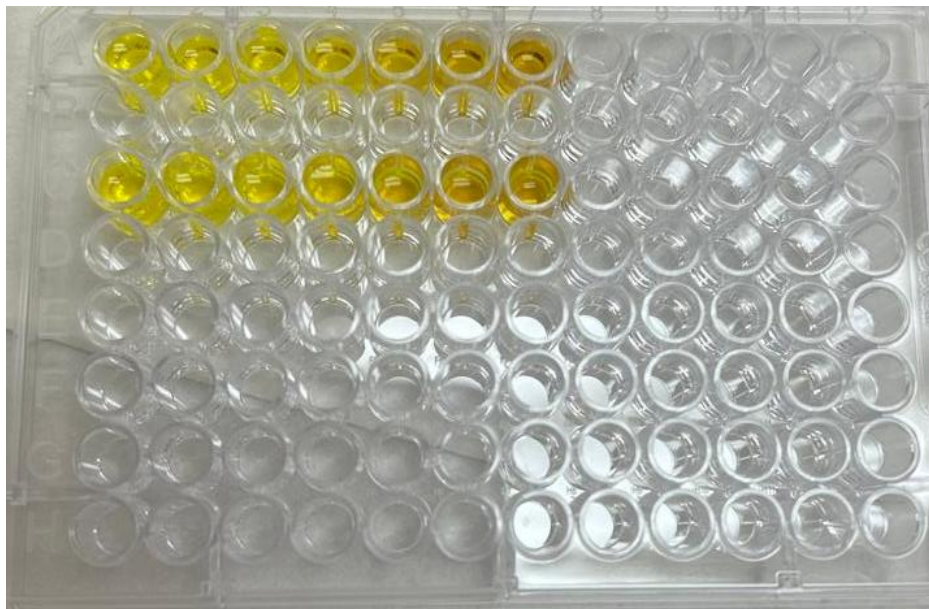


Figura A2. Placa para lectura de curva calibración de Azúcares reductores



Anexo B. Compuestos Polifenoles

Figura B1. Curva patrón de Compuestos Polifenoles

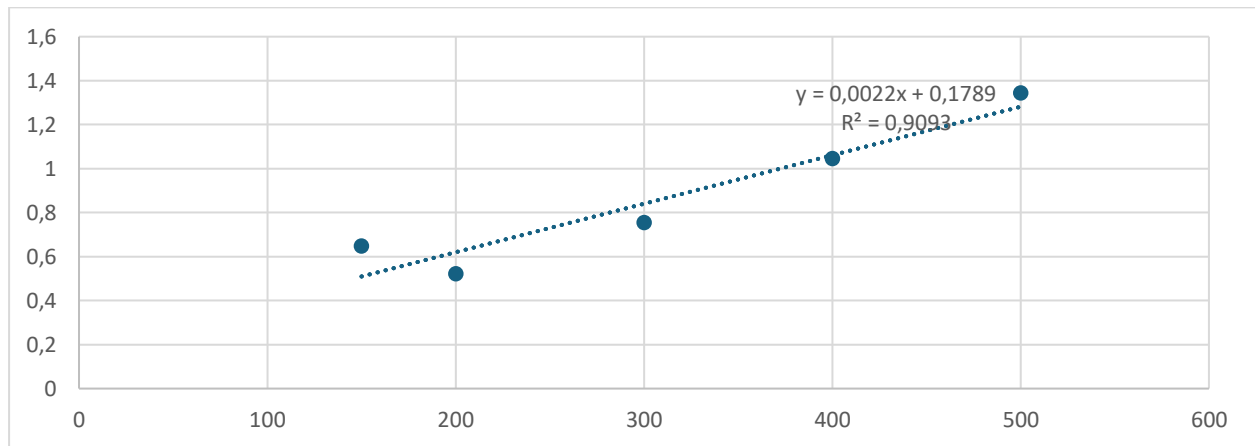
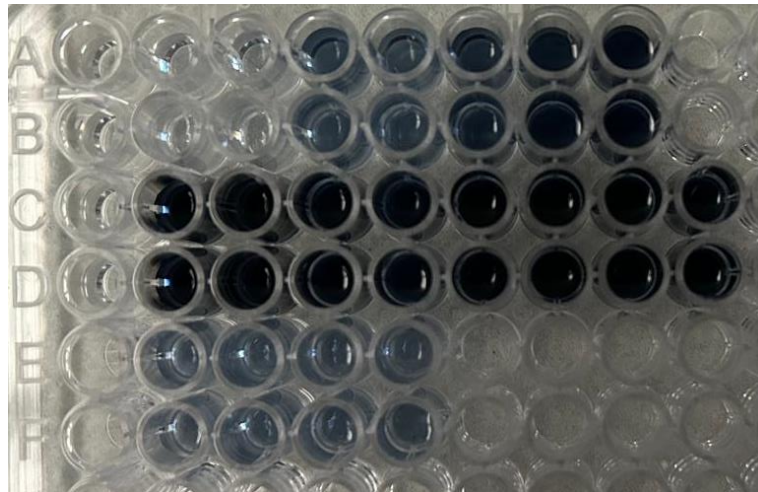


Figura B2. Placa para lectura de curva calibración de contenido de Polifenoles



Anexo C. Análisis microbiológico

Tabla C1. Resultados microbiológicos de BAL en las bebidas de la Fase 1

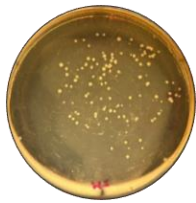





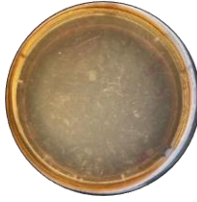


	M1	M2	M3
10^{-4}			
10^{-5}			
10^{-6}			
Resultado	$1.3 \times 10^7 \text{ UFC/mL}$	$< 10^4 \text{ UFC/mL}$	$< 10^4 \text{ UFC/mL}$

Tabla C2. Resultados microbiológicos de levaduras en las bebidas de la Fase 1

M1	M2	M3
----	----	----




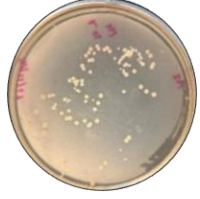





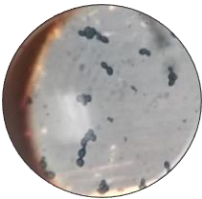
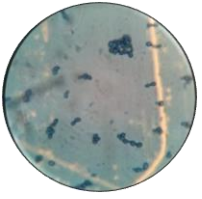
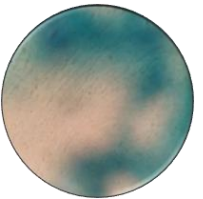
10^{-3}			
10^{-4}			
10^{-5}			
Resultado	$6.9 \times 10^6 \text{ UFC/mL}$	$7.1 \times 10^5 \text{ UFC/mL}$	$< 10^4 \text{ UFC/mL}$

Tabla C3. Resultados de microscopio de Levaduras y Hongos a través de la tinción azul de metileno

M1	M2	M3
		

Anexo D. Evaluación sensorial

Figura D1. Formulario de evaluación sensorial de intensidad de atributos y aceptación general

<p>FIMCP Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción</p> <p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Ingeniería en Alimentos Ficha de Cata</p>		
Nombre: _____		Fecha: _____
<p>Gracias por participar en esta prueba sensorial de bebidas fermentadas a base de mucílago de café. Como información general, recuerde tomar un sorbo de agua entre las muestras para limpiar el paladar.</p> <p>Calificación de intensidad de atributos</p> <p>Deguste cada muestra y califique del 1 al 10 según su nivel de intensidad donde el valor 1 representa la menor intensidad y el valor 10 la mayor intensidad.</p>		
Código _____		
	Aroma	Sabor
Frutal	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10
Floral	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10
Vinagre	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10
Alcohol	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10
Acidez	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10
Dulzor	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10
Otro	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10
Califique la calidad de la apariencia de la bebida:		/10
Comentario _____		
Código _____		
	Aroma	Sabor
Frutal	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10
Floral	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10
Vinagre	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10
Alcohol	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10
Acidez	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10
Dulzor	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10
Otro	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10	1---2---3---4---5---6---7---8---9---10
Califique la calidad de la apariencia de la bebida:		/10
Comentario _____		

Anexo E. Elaboración de la bebida

Figura E1. Pulpa de café



Figura E2. Mucílago de café



Figura E3. Medición de Grados °Brix de la materia prima.



Figura E4. Sistema de fermentación de bebida Fase 1



Figura E5. Sistema de fermentación de bebida Fase 2



Figura E6. Bebida fermentadas de la Fase 2



Anexo F. Costos

Tabla F1. Demanda anual de acuerdo a la cantidad de botellas

Mes	Días Laborables	Demanda Botellas	Demanda Mensual Botellas
Enero	23	3,400.00	6,800.00
Febrero	23	3,400.00	6,800.00
Marzo	23	3,400.00	6,800.00
Abril	23	3,400.00	6,800.00
Mayo	23	3,400.00	6,800.00
Junio	23	3,400.00	6,800.00
Julio	23	3,400.00	6,800.00
Agosto	23	3,400.00	6,800.00
Septiembre	23	3,400.00	6,800.00
Octubre	23	3,400.00	6,800.00
Noviembre	23	3,400.00	6,800.00
Diciembre	23	3,400.00	6,800.00
Total			81,600.00
Días laborables al año			276.00
Unidades (Botellas) promedio			3,400.00
Unidades (Botellas) mensuales promedios			6,800.00

Tabla F2. Demanda anual de acuerdo a la cantidad de litros

Mes	Días Laborables	Demanda (L)	Demanda Mensual (L)
Enero	23	1,700.00	3,400.00
Febrero	23	1,700.00	3400,00
Marzo	23	1,700.00	3400,00
Abril	23	1,700.00	3400,00
Mayo	23	1,700.00	3400,00
Junio	23	1,700.00	3400,00
Julio	23	1,700.00	3400,00
Agosto	23	1,700.00	3400,00
Septiembre	23	1,700.00	3400,00
Octubre	23	1,700.00	3400,00
Noviembre	23	1,700.00	3400,00
Diciembre	23	1,700.00	3400,00
Total			40,800.00
Días laborables al año			276
Unidades promedio (L)			1,700.00
Unidades mensuales promedio (L)			3,400.00

Tabla F3. Costo de Material de Empaque

Material de Empaque	Cantidad	Costo (\$)	Costo Total
	Anual		(Por Unidad)
Botellas De Vidrio De 500 MI	81,600.00	\$0.70	\$57,120.00
Tapas Herméticas	81,600.00	\$ 0.05	\$4,080.00
Etiquetas	81,600.00	\$ 0.20	\$16,320.00
Cajas De Cartón	13,600.00	\$ 0.71	\$9,656.00
Total			\$ 87,176.00

Tabla F4. Costo de Materia Prima

Materia Prima	Cantidad	Cantidad	Costo	Costo Total
	Kg.	Kg	Por Kg.	(Por Unidad)
Mucilago	9.228	0.8847	\$0.00	\$0.0000
Agua	0.714	0	\$ 0.51	\$0.0000
Azúcar	0.384	0.115	\$ 1.10	\$0.1265
Levadura	0.768	0.0003	\$ 11.83	\$0.0035
Total				\$0,13
Costo Anual De MP			\$5,306.00	

Tabla F5. Costo de Material Indirecto

Materiales	Cantidad (Anual)	Precio (\$)	Total
Jabón antibacterial 1 Galón	13	\$ 3.39	\$ 44.07
Gel antibacterial 1L	23	\$ 2.89	\$ 66.47
Cepillos de limpieza	112	\$ 1.28	\$ 143.36
Toallas desechables	20	\$ 5.00	\$ 100.00
Mandil Desechable	10	\$ 1.20	\$ 12.00
Paquete de cofias de 100 Uni	4	\$ 6.72	\$ 26.88
Paquete de funda de basura 10 UN	20	\$ 0.71	\$ 14.20
Embalaje plástico	61	\$ 5.24	\$ 319.64
Dispensador de cinta	2	\$ 10.47	\$ 20.94
Cintas de embalaje	135	\$ 1.02	\$ 137.70
Total			\$ 885.26

Tabla F6. Costo de Equipos de oficina y de computo

Cantidad	Descripción	Costo	Costo Total
2	Laptop	\$ 500.00	\$ 1,000.00
1	Teléfono/Fax	\$ 150.00	\$ 150.00
2	Escritorio con sillas	\$ 150.00	\$ 300.00
1	Aire Acondicionado	\$ 350.00	\$ 350.00
Total			\$ 1,800.00

Tabla F7. Costo de Maquinarias y Equipos

Cantidad	Descripción	Costo	Costo Total
17	Racks grandes	\$ 1,000.00	\$ 17,000.00
9	Racks pequeños	\$ 600.00	\$ 5,400.00
97	Tanque Polipropileno	\$ 40.03	\$ 3,882.91
2	Filtro Prensa	\$ 1,960.73	\$ 3,921.46
1	Mezclador de Acero Inoxidable	\$ 3,979.02	\$ 3,979.02
2	Intercambiador de calor	\$ 7,972.08	\$ 15,944.16
2	Fermentador	\$ 1,000.00	\$ 2,000.00
2	Tanque de Clarificación y Sedimentación con Agitación	\$ 3,627.11	\$ 7,254.22
1	Cámara de Almacenamiento Frío	\$ 36,689.66	\$ 36,689.66
1	Tanque de Almacenamiento con Agitación	\$ 3,627.11	\$ 3,627.11
1	Envasadora	\$ 1,227.52	\$ 1,227.52
Total			\$ 100,926.06

Tabla F8. Costo de Construcción

Área (m2)	Descripción	Costo (m2)	Costo Total
7	Desinfección del personal	\$ 500.00	\$ 3,500.00
9	Laboratorio	\$ 500.00	\$ 4,500.00
27	Recepción y Almacenamiento	\$ 500.00	\$ 13,500.00
56	Cámara de Almacenamiento	\$ 500.00	\$ 28,000.00
10.5	Filtrado1	\$ 500.00	\$ 5,250.00
9	Mezclado	\$ 500.00	\$ 4,500.00
14	Pasteurización y Enfriamiento	\$ 500.00	\$ 7,000.00
12	Inoculación y Fermentación	\$ 500.00	\$ 6,000.00
12	Clarificación y Sedimentación	\$ 500.00	\$ 6,000.00
10.5	Filtrado2	\$ 500.00	\$ 5,250.00
10.5	Pasteurización y Enfriamiento2	\$ 500.00	\$ 5,250.00
15	Envasado	\$ 500.00	\$ 7,500.00
18	Almacenamiento PT	\$ 500.00	\$ 9,000.00
6	Vestuarios y baños	\$ 500.00	\$ 3,000.00
9	Mantenimiento	\$ 500.00	\$ 4,500.00
15	Carga y descarga	\$ 500.00	\$ 7,500.00
8	Entrada de personal	\$ 500.00	\$ 4,000.00
3.5	Pasillo de Laboratorio	\$ 500.00	\$ 1,750.00
8	Administrativo	\$ 500.00	\$ 4,000.00
6	Residuos	\$ 500.00	\$ 3,000.00
Total			\$ 133,000.00

Tabla F9. Total de Inversión y Mantenimiento teniendo en cuenta los costos de las Tablas F6, F7 y F8

Inversión total	\$235,726.06
Costo de Mantenimiento Anual	\$47,145.21

Tabla F10. Costo de Depreciación

Depreciaciones Anuales	Vida Útil	Total	Depreciación
Maquinarias y equipos auxiliares	10	\$ 100,926.06	\$ 10,092.61
Equipos de oficina	5	\$ 800.00	\$ 160.00
Equipo de computo	3	\$ 1,000.00	\$ 333.33
Total		\$ 102,726.06	\$ 10,585.94

Tabla F11. Costo de Sueldos

Cargo	Número De Trabajadores	Sueldo Mes	Sueldo Anual
Jefe De Producción	1	\$600.00	\$7,200.00
Operador 1	1	\$475.00	\$5,700.00
Operador 2	1	\$475.00	\$5,700.00
Operador 3	1	\$475.00	\$5,700.00
Operador 4	1	\$475.00	\$5,700.00
Total		\$2,500.00	\$30,000.00

Tabla F12. Costo de Servicios Varios

	Año 1	\$/Mes	Año2	Año3	Año4	Año5
Gastos De Oficina	\$ 180.00	\$ 15.00	\$ 189.00	\$ 198.45	\$ 208.37	\$ 218.79
Costo De Transporte	\$ 12,000.00	\$ 1,000.00	\$ 12,600.00	\$ 13,230.00	\$ 13,891.50	\$ 14,586.08
Remuneraciones	\$ 30,000.00	\$ 2,500.00	\$ 31,500.00	\$ 33,075.00	\$ 34,728.75	\$ 36,465.19
Agua	\$ 1,488.00	\$ 124.00	\$ 1,562.40	\$ 1,640.52	\$ 1,722.55	\$ 1,808.67
Luz	\$ 9,600.00	\$ 800.00	\$ 10,080.00	\$ 10,584.00	\$ 11,113.20	\$ 11,668.86
Teléfono	\$ 180.00	\$ 15.00	\$ 189.00	\$ 198.45	\$ 208.37	\$ 218.79
Internet	\$ 168.00	\$ 14.00	\$ 176.40	\$ 185.22	\$ 194.48	\$ 204.21
Total	\$ 53,616.00	\$ 3,515.00	\$ 56,296.80	\$ 59,111.64	\$ 62,067.22	\$ 65,170.58

Tabla F13. Total de Costos Fijos teniendo en cuenta los costos de las Tablas F9, F10, F11 y F12

	Año 1	Año2	Año3	Año4	Año5
Total	141.347,15	144.027,95	146.842,79	149.798,37	152.901,73

Tabla F14. Costo de Precio de Venta

Materia prima	\$ 0.13
Mano de Obra	\$ 0.70
Costo Indirecto de Producción	\$ 0.58
Costo de empaque	\$ 1.07
Costo total de fabricación	\$ 2.47
Costo Fijo Mensual	\$ 9,278.93
Costos de Materiales Indirectos	\$ 73.77
Unidades mensuales fabricadas	\$ 3,400.00
Costo Fijo por unidad	\$ 2.75
Costos de producir 1 und.	\$ 5.23
Utilidad 30%	\$ 1.57
Precio de Venta	\$ 6.79

Tabla F15. Análisis Financiero

	0	1	2	3	4	5						
Ventas Anuales	\$	554,317.44	\$	576,711.86	\$	600,011.02	\$	624,251.47	\$	649,471.23		
Costos Variables	\$	-201,933.21	\$	-210,091.31	\$	-218,579.00	\$	-227,409.59	\$	-236,596.94		
Costos Fijos	\$	-130,761.21	\$	-133,442.01	\$	-136,256.85	\$	-139,212.43	\$	-142,315.79		
Depreciación	\$	-10,585.94	\$	-10,585.94	\$	-10,585.94	\$	-10,585.94	\$	-10,585.94		
Utilidad	\$	211,037.08	\$	222,592.60	\$	234,589.23	\$	247,043.50	\$	259,972.55		
Inversión												
Activos	\$	-235,726.06										
Flujo Neto	\$	-235,726.06	\$	-24,688.98	\$	197,903.62	\$	432,492.86	\$	679,536.36	\$	939,508.91

Tabla F16. Indicadores Financieros

Tasa de Descuento	40%
VAN	\$ 356,800.00
TIR	80%

