

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS:

Optimización de las características fisicoquímicas y sensoriales de la bebida alcohólica destilada obtenida del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad chuncho

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PRESENTADO POR:

Bach. Javier Abilio CUADROS PALOMINO

ASESOR:

Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis, en primer lugar, a Dios, por brindarme fortaleza, sabiduría y guía constante a lo largo de mi formación académica.

A mis padres, por su amor incondicional, su esfuerzo constante y su apoyo inquebrantable, quienes con sacrificio, paciencia y ejemplo me han brindado las herramientas necesarias para seguir adelante y alcanzar cada una de mis metas. Este logro también es fruto de su dedicación y confianza en mí.

Asimismo, dedico este trabajo a mis hermanos, por su comprensión, palabras de aliento y compañía permanente, quienes han sido un pilar importante durante este proceso y me motivaron a no rendirme ante los desafíos.

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater, la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por abrirme las puertas y brindarme una formación basada en el conocimiento, los valores, los principios y la ética profesional que han sido fundamentales en mi desarrollo académico.

A mi asesor, Mg. Saúl Ricardo Chuqui Diestra, y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por sus valiosos aportes, orientación y experiencias compartidas, que constituyeron una base importante para mi formación profesional y para la realización del presente trabajo de investigación.

A mi familia y a mi novia Gabriela, por su apoyo constante, comprensión y motivación durante todo el proceso de elaboración de esta investigación, quienes con su paciencia y aliento fueron un pilar fundamental para culminar satisfactoriamente este trabajo de investigación.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo optimizar las características fisicoquímicas y sensoriales de una bebida alcohólica destilada obtenida a partir del mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*) variedad Chuncho, proveniente del distrito de Chungui, La Mar, Ayacucho.

Se caracterizó inicialmente el mucílago de cacao, obteniéndose un valor de 13 °Brix y un pH de 4,3, lo que confirmó su aptitud como sustrato fermentable.

Se empleó un diseño experimental Box-Behnken con tres variables independientes: concentración de mucílago (10, 25 y 40 %), periodo de fermentación (7, 11 y 15 días) y temperatura de destilación (75, 80 y 85 °C), generando 15 tratamientos con 3 repeticiones. Las variables respuesta fueron contenido alcohólico, acidez titulable, densidad, pH y evaluación sensorial (color, aroma, sabor y aceptabilidad general) mediante una escala hedónica de 5 puntos con 25 panelistas.

Los resultados mostraron que el periodo de fermentación fue la variable más influyente ($p < 0,05$) sobre el contenido alcohólico y la densidad, mientras que la temperatura de destilación afectó significativamente el contenido alcohólico. La condición óptima se obtuvo en el Tratamiento 12, con los siguientes parámetros: 25 % de mucílago, 15 días de fermentación y 75 °C de destilación.

Este tratamiento óptimo produjo una bebida con las siguientes características fisicoquímicas: contenido alcohólico de 35 % vol., densidad de 0,945 g/mL, pH de 5,0 y acidez titulable de 0,08 %. En la evaluación sensorial, el producto alcanzó puntajes de 4,76/5 para color, 4,80/5 para aroma, 3,96/5 para sabor y 4,80/5 para aceptabilidad general, siendo catalogado entre "me gusta mucho" y "me gusta muchísimo" por los panelistas.

Finalmente, la optimización del proceso permitió obtener una bebida alcohólica destilada de alta calidad fisicoquímica y sensorial a partir del mucílago de cacao variedad Chuncho, demostrando su potencial como alternativa de aprovechamiento agroindustrial sostenible

ABSTRACT

The objective of this research was to optimize the physicochemical and sensory characteristics of a distilled alcoholic beverage obtained from cacao mucilage (*Theobroma cacao* L.) Chuncho variety, from the district of Chungui, La Mar, Ayacucho.

The cacao mucilage was initially characterized, obtaining a value of 13 °Brix and a pH of 4,3, which confirmed its suitability as a fermentable substrate.

A Box-Behnken experimental design was employed with three independent variables: cacao mucilage concentration (10, 25 and 40 %), fermentation period (7, 11 and 15 days) and distillation temperature (75, 80 and 85 °C), generating 15 treatments with 3 repetitions. The response variables were alcohol content, titratable acidity, density, pH and sensory evaluation (color, aroma, flavor and overall acceptability) using a 5-point hedonic scale with 25 panelists.

The results showed that the fermentation period was the most influential variable ($p < 0,05$) on alcohol content and density, while the distillation temperature significantly affected the alcohol content. The optimal condition was obtained in Treatment 12, with the following parameters: 25 % mucilage, 15 days of fermentation and 75 °C distillation.

Finally, this optimal treatment produced a beverage with the following physicochemical characteristics: 35 % vol. alcohol content, 0,945 g/mL density, pH 5,0 and 0,08 % titratable acidity. In the sensory evaluation, the product achieved scores of 4,76/5 for color, 4,80/5 for aroma, 3,96/5 for flavor and 4,80/5 for overall acceptability, being rated between "like very much" and "like extremely" by the panelists.

Keywords: cacao mucilage, distilled alcoholic beverage, Box-Behnken, optimization, sensory properties, Chuncho variety.

ÍNDICE

INTRODUCCION -----	9
CAPÍTULO I -----	11
MARCO TEORICO -----	11
1.1. CACAO -----	11
1.1.1. Cacao chuncho -----	12
1.1.2. Origen -----	13
1.1.3. Clasificación taxonómica -----	14
1.1.4. Composición nutricional -----	15
1.1.5. Subproducto de cacao -----	15
1.2. Mucílago de cacao -----	16
1.2.1 Composición química del mucilago de cacao -----	17
1.2.2. Usos de mucilago de cacao -----	18
1.3. Fermentación alcohólica -----	18
1.4. Destilación de bebida alcohólica -----	20
1.5. Características fisicoquímicas de las bebidas alcohólicas -----	21
1.5.1. PH en bebidas alcohólicas destiladas -----	22
1.5.2. Densidad en bebidas alcohólicas destiladas -----	22
1.5.3. Bebidas alcohólicas según Normas Técnicas Peruanas -----	22
1.6. Características organolépticas de bebidas alcohólicas -----	23
1.6.1. Tipos de evaluación sensorial -----	24
1.7. Metodología de Superficie de Respuesta y Diseño Box-Behnken para optimización de procesos -----	25
1,8, Aplicaciones de metodologia en bebidas alcohólicas -----	25
CAPÍTULO II -----	27
MATERIALES Y METODOS -----	27
2.1. MATERIALES Y LUGAR DE EJECUCION -----	27
2.1.1. Lugar de ejecución -----	27
2.1.2. Materia prima e insumos -----	27
2.1.3. Equipos e instrumentos -----	28
2.1.4. Materiales de laboratorio -----	28
2.2. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION -----	28
2.2.1. ETAPA 1: Obtención y caracterización del mucílago de cacao -----	29
2,2,2. ETAPA 2: Preparación del mosto y fermentación alcohólica -----	29
2.2.3. ETAPA 3: Destilación -----	32
2.2.4. ETAPA 4: Análisis fisicoquímicos. -----	33

2.2.5.	ETAPA 5: Evaluación sensorial.	35
2.2.6.	ETAPA 6: Análisis estadístico.	38
CAPÍTULO III		41
RESULTADOS Y DISUSIONES		41
3.1.	CARACTERIZACION FISICOQUÍMICAS DEL MUCÍLAGO DE CACAO	41
3.2.	CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS LA BEBIDA ALCOHÓLICA DESTILADA	42
3.2.1.	Determinación del Contenido alcohólico	42
3.2.2.	Determinación de Acidez titulable	44
3.2.3.	Determinación de la Densidad	45
3.2.4.	Determinación del PH	48
3.3.	CARACTERÍSTICAS SENSORIALES LA BEBIDA ALCOHÓLICA DESTILADA	49
3.3.1.	Para el atributo de color	49
3.3.2.	Para el atributo de sabor	54
3.3.3.	Aceptabilidad general	56
3.4.	Optimización de las condiciones de proceso	58
3.5.	DISCUSION GENERAL	59
CONCLUSIONES		60
RECOMENDACIONES		61
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		62
ANEXOS		71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Diferencias entre cacao chuncho y otras variedades de cacao -----	13
Tabla 2	Composición química de los subproductos del cacao (g/100 g de peso seco). --	15
Tabla 3	Requisitos fisicoquímicos del ron -----	23
Tabla 4	Caracterización fisicoquímica del mucílago de cacao variedad Chuncho-----	29
Tabla 5	Preparación del mosto a partir de 2000 mL según concentración de mucílago de cacao-----	30
Tabla 6	Variables independientes y niveles del diseño Box-Behnken-----	31
Tabla 7	Matriz del diseño experimental Box-Behnken (15 tratamientos) -----	31
Tabla 8	Condiciones fijas para el proceso de fermentación -----	32
Tabla 9	Parámetros del proceso de destilación-----	33
Tabla 10	Variables respuesta y métodos de análisis-----	34
Tabla 11	Reactivos y soluciones utilizadas en los análisis fisicoquímicos -----	34
Tabla 12	Escala hedónica de 5 puntos para la evaluación sensorial -----	36
Tabla 13	Atributos sensoriales evaluados y su descripción -----	36
Tabla 14	Perfil de los panelistas para la evaluación sensorial-----	37
Tabla 15	Herramientas estadísticas utilizadas -----	38
Tabla 16	Propiedades fisicoquímicas del mucílago de cacao variedad chuncho -----	41
Tabla 17	Coeficientes de regresión del contenido alcohólico-----	42
Tabla 18	ANOVA para el contenido alcohólico del destilado -----	44
Tabla 19	Coeficientes de regresión de la acidez titulable-----	44
Tabla 20	ANOVA para la acidez titulable del destilado-----	45
Tabla 21	Coeficientes de regresión de la densidad -----	45
Tabla 22	ANOVA para la densidad del destilado-----	47
Tabla 23	Coeficientes de regresión del pH-----	48
Tabla 24	ANOVA para el pH del destilado -----	48
Tabla 25	Análisis de varianza para color de la bebida alcohólica destilada -----	50
Tabla 26	Comparación de Tukey para el color de la bebida alcohólica destilada-----	50
Tabla 27	Análisis de varianza para aroma de la bebida alcohólica destilada -----	52
Tabla 28	Comparación de Tukey para el aroma de la bebida alcohólica destilada-----	52
Tabla 29	Análisis de varianza para color de la bebida alcohólica destilada -----	54
Tabla 30	Comparación de Tukey para el sabor de la bebida alcohólica destilada -----	54
Tabla 31	Análisis de varianza para color de la bebida alcohólica destilada -----	56
Tabla 32	Comparación de Tukey para la aceptación general de la bebida alcohólica destilada -----	56
Tabla 33	Características del tratamiento óptimo (T12) -----	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fruto de cacao chuncho -----	12
Figura 2 Mucilago de caco y su papel en la fermentación-----	17
Figura 3 Fermentación del mucilago de cacao y la producción de etanol -----	19
Figura 4 Proceso de destilación del fermentado de mucilago de cacao-----	21
Figura 5 Diagrama de flujo de la obtención de una bebida alcohólica destilada del mucílago de cacao -----	40
Figura 6 Diagrama de Pareto para el contenido alcohólico -----	43
Figura 7 Diagrama de Pareto para la densidad -----	46
Figura 8 Comparación para el atributo del color -----	51
Figura 9 Comparación para el atributo dela aroma-----	53
Figura 10 Comparación para el atributo del sabor-----	55
Figura 11 Comparación para el atributo de la aceptabilidad general-----	57

INTRODUCCION

El cacao es uno de los cultivos de mayor relevancia económica y social en diversas regiones del mundo, incluido el Perú, donde se produce en diferentes variedades y constituye una importante fuente de ingresos para pequeños y medianos productores (Oberlack et al., 2023). Además de su valor comercial, el cacao presenta un amplio potencial para el desarrollo de productos con valor agregado, lo que lo convierte en un recurso estratégico para la innovación agroindustrial.

Durante el proceso de beneficio del cacao, se generan diversos subproductos, entre ellos el mucílago, una fracción rica en azúcares fermentables que, en la mayoría de los casos, es descartada como residuo. Este desaprovechamiento no solo representa una pérdida de materia prima con alto potencial productivo, sino que también genera problemas ambientales asociados a la acumulación de residuos agroindustriales (Anoraga et al., 2024).

En este contexto, el mucílago de cacao de la variedad chuncho se presenta como una alternativa viable para la elaboración de bebidas alcohólicas, debido a su composición química favorable para los procesos de fermentación y destilación (Condori et al., 2024). Sin embargo, el desarrollo de este tipo de productos aún es limitado, principalmente por la escasez de estudios científicos orientados a la optimización de sus características fisicoquímicas y organolépticas, aspectos determinantes para la calidad, estabilidad y aceptación del producto final en el mercado.

La falta de información técnica sobre los parámetros adecuados del proceso productivo, especialmente en lo referente a la destilación y al control de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales, restringe la competitividad de las bebidas alcohólicas elaboradas a partir del mucílago de cacao (Santos et al., 2025; Baquerizo, 2013). Como consecuencia, se desaprovechan oportunidades de diversificación productiva y se limita el valor agregado que podría generarse a partir de este subproducto del cacao.

Ante esta situación, el presente estudio se orienta a la optimización de las características fisicoquímicas y organolépticas de una bebida alcohólica destilada elaborada a partir del mucílago de cacao de la variedad chuncho. Esta investigación

busca contribuir al aprovechamiento integral del fruto del cacao, reducir el impacto ambiental asociado al descarte del mucílago y promover el desarrollo de nuevas alternativas agroindustriales que generen oportunidades económicas para los productores locales.

Por lo cual, el presente trabajo tiene como objetivos:

a. Objetivo general

Optimizar las características fisicoquímicas y sensoriales de la bebida alcohólica destilada obtenida del mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*) variedad chuncho.

b. Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas (pH y ° Brix) del mucílago de cacao para elaboración la bebida alcohólica destilada
- Determinar la formulación adecuada de mucílago de cacao, parámetros de fermentación y destilación que optimiza las características fisicoquímicas (contenido alcohólico, acidez titulable, densidad y pH) de la bebida alcohólica destilada.
- Evaluar la formulación óptima del mucílago de cacao, parámetros de fermentación y destilación que mejoren las características sensoriales (sabor, aroma, color y aceptabilidad general) de la bebida alcohólica destilada.

CAPÍTULO I MARCO TEORICO

1.1. CACAO

Theobroma cacao L. pertenece a la familia Malvaceae y es originaria de América Central y del Sur; los granos extraídos del fruto del cacao son materia prima fundamental para la producción de chocolate; el fruto se desarrolla tanto en el tronco como en las ramas del árbol del cacao y botánicamente se clasifica como una baya, con dimensiones que oscilan entre 15 y 25 cm de longitud y 8 y 13 cm de diámetro **(Vásquez et al., 2019)**. En la naturaleza, los árboles de cacao pueden alcanzar una altura de hasta 9 m, pero cuando se cultivan, los árboles generalmente se podan a 2-3 m para facilitar la cosecha. Los árboles comienzan a producir mazorcas después de 2-3 años, pero tardan 6-7 años antes de que alcancen un rendimiento completo **(Beckett, 2019)**. Los frutos del árbol del cacao son bayas alargadas con nervaduras de hasta 30 cm de largo, que contienen entre 20 y 40 granos envueltos en una pulpa lechosa (mucílago) **(Vásquez et al., 2019)**.

En Perú, el cacao se distribuye en cuatro grupos genéticos: Trinitario (ubicado principalmente en la sierra central del Perú, Junín), Forastero Amazónico (producido principalmente en Cusco y Ayacucho), CCN 51 (ubicado principalmente en la selva peruana en San Martín y Cusco) y Cacaos Criollo nativos (particularmente en Cusco, Amazonas y Cajamarca) entre los que destaca el cacao Chuncho, siendo esencialmente un producto de exportación **(Condori et al., 2024)**. El cacao Chuncho es considerado un cacao de sabor y aroma fino debido a sus notas florales, a nueces, cítricas y frutales,

entre otras (**Mejía et al., 2021**). El cacao tiene diversos efectos beneficiosos para la salud humana, incluyendo propiedades neuroprotectoras y cardioprotectoras, actividad antiinflamatoria y posible actividad anticancerígena; estos efectos se atribuyen principalmente a sus compuestos bioactivos, las semillas de cacao contienen diversos compuestos fenólicos y metilxantinas (Soares & Oliveira, 2022a).

1.1.1. Cacao chuncho

El cacao chuncho es una variedad importante, es originario de la región amazónica sur-peruana representa un ecotipo ancestral preservado históricamente por la comunidad indígena Matshiguenguas. Tiene propiedades agromorfológicas, los productores lo distinguen con diversos nombres como el achocha, pánuco, señorita y el chuncho de montaña, entre otros (**Coello Durand, 2021**). El cacao chuncho es uno de los favoritos entre chocolateros de Perú y extranjeros por sus características organolépticas con tonos florales..

Figura 1



Fruto de cacao chuncho

Nota. Cacao chuncho del cusco (Rojas et al., 2018)

1.1.2. Origen

El (*Theobroma cacao* L), o cacao chuncho, es una especie nativa de América del sur donde su centro de origen se ubica en el área que está entre las cuencas de los ríos Napo, Putumayo y Caquetá, afluentes del Amazonas. El centro primario del cacao se encuentra en la region nororiental del Perú, entre los ríos Huallaga, Ucayali y Urubamba (Valenzuela, 2025).

Tabla 1

Diferencias entre cacao chuncho y otras variedades de cacao

Descriptor	Cacao “Chuncho”	Cacao (Otros clones)
Color del fruto maduro	Amarillo	Todos los colores
Tamaño de flor	Pequeño a mediano (5 a 7 mm)	Mediano a grande (7 a 9 mm)
Longitud de pedúnculo	Corto (10 a 17 mm)	Mediano a largo (17 a 35 mm)
pH del jugo ("baba")	4	2 a 3
Fecha de cosecha	Época de lluvias	Época de sequía
Sabor de pulpa	Dulce	Ácida
Número de semillas por fruto	< 40 almendras	> 40 almendras
Disposición de fruto en el tallo	Perpendicular al tallo	No perpendicular (paralelo al tallo principal)
Pubescencia de flor	Pubescente	No pubescente
Astringencia de pulpa	Baja o ausente	Moderada a alta
Sabor de almendras (amargor)	Bajo o ausente	Alto a muy alto
Domesticación	Por los Matsiguengas	No hay datos
Relación	< 1,5	< 1,5
Cafeína/Teobromina		
Ubicación	Cusco - Perú	Sudamérica
Nombre nativo	Sariguemineki	No hay datos

Nota. Cacao chuncho del cusco (Coello Durand, 2021)

1.1.3. Clasificación taxonómica

Se llevaron a cabo investigaciones sobre la estructura poblacional del cacao, lo que ha llevado a una redefinición importante de su clasificación genética y taxonómica. El análisis de 1,241 muestras a través de marcadores microsatélites reveló la presencia de por lo menos diez grupos o clústeres genéticos distintos, la categorización tradicional que clasificaba a la especie de forma rudimentaria en tres conjuntos (Forastero, Criollo y Trinitario). Esta nueva organización refleja con mayor precisión la diversidad de la especie *Theobroma cacao* L. y sugiere que su origen y domesticación en la cuenca del Amazonas son mucho más complejos de lo que se estimaba anteriormente, proporcionando una base científica más sólida para el mejoramiento genético y la conservación de recursos fitogenéticos **(Motamayor et al., 2008)**.

La taxonomía clásica ubica al cacao dentro de la familia Malvaceae (anteriormente Sterculiaceae).

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Dilleniidae

Familia: Malvaceae

Subfamilia: Byttnerioideae

Tribu: Theobromeae

Género: *Theobroma*

Especie: *T. cacao* L.

1.1.4. Composición nutricional

Al analizar la composición del cacao, destaca la cáscara del grano por presentar la mayor concentración proteica, con valores situados entre 16 y 18 g/100 g (Tabla 2). Estas cifras superan significativamente a los demás residuos, como la pulpa y la cáscara de la mazorca, cuyos contenidos oscilan entre 0,4 a 6 g/100 g y 4 a 11 g/100 g, respectivamente

Tabla 2

Composición química de los subproductos del cacao (g/100 g de peso seco)

compuestos	Cáscara de cacao	Pulpa de cacao	Cáscara de grano de cacao
Proteínas totales	4,21 - 10,74	0,41 - 5,56	15,79 - 8,10
Carbohidratos	29,04 - 32,30	10,70 - 68,35	17,80 - 23,17
Lípidos	1,50 - 2,24	1,91 - 3,54	2,02 - 6,87
Ceniza	6,70 - 10,02	3,70 - 7,68	5,96 - 11,42
Minerales (mg/100 g)	3230,85	1297,07	56,75 - 312,57
Fenoles totales	4,60 - 6,90	-	1,32 - 5,78
Teobromina	0,34	-	1,30

Fuente: (Soares y Oliveira, 2022)

1.1.5. Subproducto de cacao

Se estima que entre el 80 y el 90 % de la producción total de cacao se desecha como residuo, y solo entre el 10 y el 20 % se destina al mercado (granos de cacao) (**Chandrasekaran, 2012**). Los subproductos del cacao, la cáscara del grano de cacao es significativa debido a su mayor contenido de proteína, que oscila entre 16 y 18 g/100 g, los niveles de proteína en otros subproductos son de 0,4 a 6 g/100 g para la pulpa de cacao y de 4 a 11 g/100 g para la vaina; el contenido total más bajo de fibra dietética en el mucilago de cacao es de 16,75 a 16,89 g/100 g de peso corporal sólido (**Soares y Oliveira, 2022**).

La pulpa de cacao, también conocida como mucílago, es una masa blanca que rodea los granos de cacao (Endrayani et al., 2017); este subproducto tiene un alto potencial como medio de cultivo de microorganismos a nivel industrial, su composición es rica en azúcares y minerales, sin alcaloides ni otras sustancias tóxicas; la producción de bebidas alcohólicas con niveles estandarizados de compuestos volátiles (más altos en alcoholes, ésteres y aldehídos) es una posible aplicación de este producto, caracterizado por una baja concentración de metanol, debido a su aroma, este producto tiene una alta aceptación y una aceptación general en comparación con otras bebidas alcohólicas de frutas (Takrama et al., 2015). Los granos están cubiertos por una baba blanca llamada mucílago, que es rica en azúcares y ayuda en la primera etapa del procesamiento de la semilla, la fermentación (Balladares et al., 2016).

1.2. MUCÍLAGO DE CACAO

El mucílago de cacao es una capa viscosa y rica en carbohidratos que rodea las semillas dentro de la mazorca; esta matriz de polisacáridos y azúcares solubles (como glucosa, fructosa y sacarosa) es crítica durante la fermentación del cacao, ya que sirve como sustrato para microorganismos como levaduras, bacterias lácticas y acéticas, que metabolizan los azúcares y generan compuestos precursores del sabor (Schwan & Wheals, 2004). La pulpa mucilaginoso contiene células de savia ricas en azúcares capaces de fermentar sin modificaciones, transformando el azúcar en alcohol (**García et al., 2018**). Durante la fermentación, el mucílago se degrada, produciendo calor, ácidos orgánicos y etanol. Este proceso reduce el pH, inhibe el crecimiento de patógenos y contribuye a la formación de precursores aromáticos (**Afoakwa, 2014**). Estudios destacan que la composición del mucílago varía según la genética del cacao y las condiciones ambientales, lo que afecta la eficiencia de la fermentación (**Hamdouche et al., 2019**).

Figura 2



Mucilago de cacao y su papel en la fermentación

Fuente: Elaboración propia basado en, Schwan y Wheals, 2024; García et al., 2018; Afoakwa, 2014,

1.2.1. Composición química del mucilago de cacao

El mucilago de cacao tiene como composición química el 82-87 % de agua, 10-15% de azúcares, 1-3% de ácidos cítricos, y 1-1,5% pectina (Vizúete et al., 2025). Los compuestos bioactivos importantes son los polifenoles, catequinas, epicatequinas y procianidinas, que tienen propiedades antioxidantes (Vizúete et al., 2025; Zhunio, 2020). Ofrece un alto contenido de compuestos orgánicos y nutrientes, haciéndola apta para el crecimiento microbiano (Guzmán et al., 2025). El mucílago de cacao contiene altos niveles de sólidos solubles, con valores Brix que van de 7,83 a 22,26 % dependiendo del genotipo y región (Álvarez et al., 2002a). Tiene un pH bajo, típicamente entre 3,01 y 3,76, lo que contribuye a su naturaleza ácida (Álvarez et al., 2002a; Chang et al., 2023). Dado su elevado contenido de azúcar, muestra una lectura refractométrica alta, con una concentración de sólidos solubles de 13,30 °Brix, lo que es favorable para la fermentación (Leite et al., 2019).

Perfil de azúcares

El mucílago de cacao está compuesto principalmente por sacarosa, glucosa y fructosa. La sacarosa es el azúcar mayoritario en la pulpa fresca, con concentraciones que varían entre 1,3 % y 6,32 % (Aldana Quijano y Bustos Santos, 2023; Moretti et al., 2023). La glucosa y fructosa se encuentran en rangos de 2,13 % a 5,0 % y 2,15 % a 6,1 %, respectivamente (Balladares et al., 2016; Oldham et al., 2016). Estos azúcares son directamente asimilables por *Saccharomyces cerevisiae* para la producción de etanol (Delgado et al., 2021).

1.2.2. Usos de mucilago de cacao

En la biotecnológica es utilizado como medio de cultivo, el mucílago de cacao apoya el crecimiento de levaduras, bacterias del ácido láctico y hongos, ofreciendo una alternativa natural a los medios convencionales (**Guzmán et al., 2025**). En la industria de alimentos y bebidas es utilizado en la producción de bebidas fermentadas, miel, jaleas y como coadyuvante en la producción de cerveza (**Chang et al., 2023; Torres et al., 2016; Villarroel et al., 2022**). En la industria farmacéutica se utiliza como fuente potencial de antioxidantes para aplicaciones relacionadas con la salud (**Zhunio, 2020**).

La concentración óptima de mucílago de cacao para la producción de vino implica un rango de 10 a 15% de azúcares naturales, con sacarosa adicional para ajustar sólidos solubles para una fermentación efectiva por *Saccharomyces cerevisiae* (**Vera et al., 2020**). Para la producción de cerveza se ha identificado en una concentración de 20 a 40% de pulpa de cacao como coadyuvante a la malta, a 30 % de concentración mejora el rendimiento fermentativo de la levadura, la producción de etanol y la aceptación sensorial (Nunes et al., 2020).

1.3. FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

El mucílago de cacao, la pulpa pegajosa que rodea a los granos de cacao, es rico en azúcares, lo que lo convierte en un sustrato ideal para la producción de etanol, con rendimiento de 25,41 g/l en condiciones óptimas (**Delgado et al., 2021**). El proceso de fermentación se puede potenciar agregando sacarosa para aumentar los sólidos solubles, facilitando una mejor actividad de levadura y producción de alcohol (**Vera et al.,**

2020). La fermentación del mucílago de cacao se realiza típicamente utilizando cepas de levadura como *Saccharomyces cerevisiae*, que ha demostrado ser altamente eficaz en la producción de etanol, este proceso está influenciado por factores como el pH, la temperatura y la concentración de levadura, con condiciones óptimas como pH 4, 35°C, y una concentración de levadura de 3 g/L (Delgado et al., 2021). La elección de la cepa de levadura impacta significativamente el rendimiento de etanol. Se ha demostrado consistentemente que *Saccharomyces cerevisiae* produce concentraciones de etanol más altas en comparación con otras cepas como *Pichia kudriavzevii* con un rendimiento de 13,8 g/L (Cortes et al., 2018). Los cultivos iniciadores capaces de mejorar la producción de etanol incluyen *S. cerevisiae* e *Issatchenkia orientalis*, alcanzando concentraciones máximas de 72,42 g/L y 64,38 g/L respectivamente (Takrama et al., 2015). Los estudios indican que los tiempos de fermentación variables (8 a 12 días) afectan el pH y el contenido de alcohol, observándose valores de pH óptimos a 4,24 para 8 días y 4,42 para 12 días (Baquerizo, 2013).

Figura 3



Fermentación del mucílago de cacao y la producción de etanol

Fuente: Elaboración propia, basada en Delgado et al. (2021), Vera et al. (2020), Cortés et al. (2018), Takrama et al. (2015) y Baquerizo (2013).

1.4. DESTILACIÓN DE BEBIDA ALCOHÓLICA

La destilación consiste en aplicar calor para separar los elementos más volátiles de una mezcla líquida de aquellos que lo son menos; los vapores con mayor concentración de sustancias volátiles se enfrían y condensan, obteniendo así un producto más concentrado (**Fellows, 2022**). La destilación en la producción de bebidas alcohólicas se basa en el hecho de que el etanol y el agua tienen diferente volatilidad y, por lo tanto, se pueden separar de la mezcla fermentada (Spaho et al., 2025a). La relación de mucílago de cacao a agua y la duración de la destilación son críticos para maximizar el rendimiento; las condiciones óptimas identificadas incluyen una relación cacao - agua 1:1 y un tiempo de destilación de 30 minutos, logrando un rendimiento de destilado de 69,50 % (**Mahadewi et al., 2014**). Los estudios sugieren que una temperatura de 90 ± 2 °C es efectiva para destilar alcohol del mucílago de cacao, produciendo un contenido de alcohol de 30,99 % después de 15 minutos de destilación; también se pueden usar temperaturas más altas, como 100 ± 2 °C, pero la temperatura más baja a menudo da como resultado mejores perfiles de sabor y aroma (**Putra et al., 2015**). El proceso de destilación incluye fraccionar el destilado en tres partes, en la cabeza se descartan los primeros 5 - 10 % (que contienen metanol y acetona, sustancias tóxicas) a temperaturas entre 65 – 78 °C, en el corazón recoge el etanol puro entre 75 - 85 °C, y la cola se interrumpe cuando la temperatura baja de 85 °C, ya que contiene compuestos amargos; se controla para asegurar la calidad y composición del producto final (Spaho et al., 2025a).

Figura 4



Proceso de destilación del fermentado de mucílago de cacao

Fuente: Elaboración propia, basada en Fellows (2022), Mahadewi et al. (2014), Putra et al. (2015) y Spaho et al. (2025)

1.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS BEBIDAS ALCOHÓLICAS

Las bebidas destiladas como los aguardientes de caña de azúcar exhiben una amplia gama de contenido de alcohol, desde tan bajo como 8 a 53 % dependiendo del método de producción y las materias primas usadas (Mabohang, 2025a). Los aguardientes de miel se caracterizan por una graduación alcohólica que oscila entre 37,4 a 53,0 % y un contenido de metanol bastante nulo para la mayoría de las muestras, lo que supone una ventaja para estas bebidas (Anjos et al., 2017). La concentración de etanol puede oscilar entre 15% y 50%, afectando significativamente su sabor y sensación en boca (Furtado et al., 2010b). Los niveles de pH de estas bebidas son generalmente ácidos, mostrando un rango de pH de 3,6 a 4,5 (Mabohang, 2025a). Factores como el tipo de fruta utilizada y los procesos de fermentación contribuyen a variaciones en los niveles de acidez y pH (Furtado et al., 2010b). La densidad del licor está influenciada por su contenido de alcohol y cualquier ingrediente agregado, como azúcares o saborizantes; el etanol puro tiene una densidad de aproximadamente 0,789 g/cm³ a 20 °C, pero la adición de agua y otros componentes puede aumentar la densidad (Wahaibi y Grattoni, 2007).

1.5.1. PH en bebidas alcohólicas destiladas

El pH es un indicador de la concentración de iones hidrógeno (H^+) presentes en una solución, el cual permite determinar su nivel de acidez o alcalinidad (**Álvarez et al., 2002**). En el caso de las bebidas alcohólicas destiladas, este parámetro generalmente se encuentra dentro de un rango ácido, con valores que oscilan entre 3,6 y 4,5 (**Mabohang, 2025**). Esta acidez se debe principalmente a la presencia de ácidos orgánicos generados durante la fermentación, tales como el ácido cítrico, málico, láctico y acético.

El pH constituye un factor clave, ya que influye tanto en la estabilidad microbiológica del producto debido a que valores bajos de pH limitan el desarrollo de microorganismos patógenos como en sus características sensoriales; niveles elevados de acidez pueden generar percepciones de sabor agrio o astringente (**Furtado et al., 2010**).

En particular, el mucílago de cacao presenta valores de pH que varían entre 3,01 y 3,76 antes del proceso de fermentación, lo que evidencia su naturaleza ácida y favorece el crecimiento de levaduras como *Saccharomyces cerevisiae* durante la fermentación (**Furtado et al., 2010; Chang et al., 2023**). A medida que avanza este proceso, el pH experimenta variaciones en función del tiempo, registrándose valores óptimos entre 4,24 y 4,42 para una adecuada producción de etanol (**Baquerizo, 2013**).

1.5.2. Densidad en bebidas alcohólicas destiladas

El etanol presenta una densidad de $0,789 \text{ g/cm}^3$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras que el agua tiene $1,000 \text{ g/cm}^3$, lo que evidencia una relación inversa entre el contenido alcohólico y la densidad: a mayor grado alcohólico, menor densidad (**Al-Wahaibi y Grattoni, 2007**). En destilados de mucílago de cacao, se han reportado valores entre $0,915$ y $0,985 \text{ g/cm}^3$, influenciados por el proceso de destilación y la dilución final, siendo un parámetro clave para el control de calidad (**Putra et al., 2015**).

1.5.3. Bebidas alcohólicas según Normas Técnicas Peruanas

Según (NTP 210,001, 2012) Elaboración de Bebidas alcohólica y Licores, establece que el grado alcohólico (% Alc.vol) a temperaturas de 20°C deben contener

un mínimo de 15 y un máximo de 45, La caracterización fisicoquímica de las bebidas obtenidas por fermentación y destilación es fundamental para determinar su pureza y perfil sensorial. En el caso del destilado de mucílago de cacao, la evaluación se rige por parámetros técnicos que garantizan la correcta transformación de los azúcares y la ausencia de compuestos tóxicos. Al no existir una norma específica para el destilado de cacao, se adoptan los criterios de la normativa nacional para el ron, debido a la similitud en la naturaleza de la materia prima y el proceso de obtención.

Tabla 3

Requisitos fisicoquímicos del ron

Requisito	Valores Limite	Método de ensayo
Grado alcohólico a 20°C	Min.35 Max.55	NTP 211,052
Acidez total / ácido acético (*)	Max.200	NTP 211,040
Aldehídos totales	Max.70	NTP 211,051
METANOL como metanol (*)	Max.20	NTP 211,022
Esteres totales como acetato de etilo	Max.250	NTP 211,003
Extracto seco total a 100°C	Max.60	NTP 211,041

Fuente: (NTP 211,011, 2021)

1.6. CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS

Durante la destilación, los compuestos volátiles como acetaldehído, metanol y furfural se separan en función de sus puntos de ebullición; el acetaldehído se encuentra típicamente en las fracciones iniciales, metanol en el medio y furfural en las fracciones posteriores, que son cruciales para determinar la calidad y seguridad de las bebidas alcohólicas (Hatta et al., 2024). La presencia de alcoholes y ésteres superiores, que contribuyen al aroma y sabor, varía dependiendo de los cortes de destilación y del tipo de materia prima utilizada (Balák et al., 2024a). Los períodos de envejecimiento más largos generalmente resultan en un sabor más armonioso y equilibrado, ya que el equilibrio ácido-éster conlleva a un perfil de sabor más suave y estable (Li et al., 2023). La concentración de etanol juega un papel crucial en la percepción sensorial de las bebidas alcohólicas, afectando el aroma, el sabor y la sensación en boca (Ickes y Cadwallader, 2017). Las evaluaciones sensoriales a menudo revelan que un mayor

contenido de etanol puede mejorar el perfil de sabor, haciendo que la bebida sea más atractiva para los consumidores **(Anjos et al., 2017)**. Las características sensoriales de la bebida alcohólica final, como el sabor y el aroma, están influenciadas tanto por las condiciones de fermentación como de destilación; un equilibrio entre estos factores puede conducir a un producto que no solo sea económicamente viable sino también atractivo para los consumidores **(Baquerizo, 2013)**.

1.6.1. Tipos de evaluación sensorial

Según Lawless y Heymann (2010), la evaluación sensorial tradicional se divide ampliamente en tres aplicaciones principales:

- a) Pruebas de discriminación, que tratan de comprender si los productos son diferentes o similares en términos de atributos generales o específicos **(Lawless y Heymann, 2010)**. Tiene como objetivo medir las diferencias de gustos para tipos de productos similares, no busca identificar ni describir los atributos, sino únicamente comprobar si las personas pueden distinguir entre ellas; este tipo de evaluación es útil para realizar el control de calidad de alimentos y desarrollo de nuevos productos; y son realizados con panelistas entrenados. Las pruebas más comunes son la prueba triangular, la dúo-trío y la pareada **(Apenten y Vieira, 2023)**.
- b) **Prueba descriptiva**, que proporciona una imagen cualitativa y cuantitativa detallada de las características sensoriales de los productos y sus intensidades sensoriales **(Lawless y Heymann, 2010)**. Permite identificar, caracterizar y cuantificar los atributos sensoriales de un producto (como el aroma, sabor, color, cuerpo, entre otros) a través de un panel entrenado; esta evaluación genera un perfil sensorial detallado, útil para comparar formulaciones o establecer un estándar de calidad **(Apenten y Vieira, 2023)**.
- c) Prueba afectiva, que se centran en comprender las respuestas hedónicas , preferencias y emocionales de los consumidores hacia los productos **(Lawless y Heymann, 2010)**. Tiene como propósito conocer la aceptación, preferencia o agrado del producto por parte de los consumidores; se basa en la percepción subjetiva del público objetivo, generalmente mediante escalas hedónicas que

miden el nivel de agrado en atributos como sabor, aroma, color y aceptabilidad general.; es aplicado en el marketing o investigación de mercado a través de grupos de consumidores **(Apenten y Vieira, 2023)**.

1.7. METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA Y DISEÑO BOX-BEHNKEN PARA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

La metodología de superficie de respuesta (MSR) es un método estadístico que se emplea para potenciar procesos y entender cómo interactúan los factores y el impacto conjunto que tienen en la respuesta de salida **(Asaad et al., 2024)**. Es una herramienta estratégica en la optimización industrial que permite perfeccionar el diseño de productos y procesos, mejorando significativamente su calidad y vida útil. Asimismo, la RSM facilita la interpretación de interacciones complejas entre factores a través de recursos visuales, como gráficos de superficie y diagramas, optimizando así la toma de decisiones en los sistemas de producción **(Carley et al., 2004)**.

La optimización de procesos, el Diseño de Box-Behnken (BBD) se define como un modelo de diseño experimental de segundo orden para superficies de respuesta que destaca por su eficiencia técnica y económica. Este enfoque permite estimar los parámetros de un modelo polinómico cuadrático con un número reducido de corridas experimentales, facilitando el análisis de las interacciones entre variables críticas como el tiempo de fermentación, la temperatura y la concentración de azúcares en la calidad del destilado final **(Delzo-Salomé et al., 2021)**.

El modelo típico utilizado en RSM para capturar efectos lineales, de interacción y cuadráticos. La forma general es:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{33}X_3^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{23}X_1X_3 + a_{33}X_2X_3,$$

Y es la respuesta, X1 y X2 son factores, y los términos α son coeficientes que representan los efectos principales, las interacciones y los efectos cuadráticos.

1.8. APLICACIONES DE METODOLOGIA EN BEBIDAS ALCOHÓLICAS

El estudio empleó la MSR junto con un Diseño Box-Behnken (DBB) para examinar la interacción entre tres variables independientes: concentración de mucilago

de cacao, Periodo de fermentación y Temperatura de destilación sobre cuatro respuestas cruciales: pH, Contenido de alcohol, Densidad y acidez titulable (**Sharma y Sharma, 2025**).La investigación busca identificar los parámetros óptimos que mejoren la producción, optimicen los atributos sensoriales y maximicen los beneficios para la salud de la bebida destilada. Los métodos de optimización tradicional. Emplea técnicas matemáticas y estadísticas para mejorar el diseño, la optimización y la mejora de procesos, facilitando el modelado y el análisis de las interacciones entre variables para lograr condiciones de fermentación óptimas (**Zambare et al., 2023**).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y METODOS

2.1. MATERIALES Y LUGAR DE EJECUCION

2.1.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se desarrolló en las siguientes instalaciones:

- Obtención de materia prima y procesamiento (fermentación y destilación): Planta Piloto ubicada en el distrito de Chungui, provincia de La Mar, región Ayacucho – VRAEM (Valle de los Ríos Apurímac, Ene y Mantaro). Esta zona es productora de cacao variedad Chunchu.
- Análisis fisicoquímicos: Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia – Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Evaluación sensorial: Aulas de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial – Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

2.1.2. Materia prima e insumos

- Mucílago de cacao variedad Chunchu (*Theobroma cacao* L.), obtenido de mazorcas frescas del distrito de Chungui – VRAEM.
- Levadura comercial *Saccharomyces cerevisiae*.
- Sacarosa (azúcar blanca refinada).
- Agua destilada.
- Hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N.

- Fenolftaleína (indicador).

2.1.3. Equipos e instrumentos

- Balanza analítica (sensibilidad 0,001 g).
- Balanza granero (capacidad 5 kg).
- Olla a presión con control de temperatura.
- Fermentadores de vidrio y plástico (capacidad 2 L).
- Refractómetro (0-32 °Brix).
- pH-metro digital.
- Termómetro digital (-50 a 200 °C).
- Cocina eléctrica con agitación magnética.
- Nevera de almacenamiento.
- Cocina a gas
- Alcoholímetro con termómetro incorporado
- Manguera de uso industrial

2.1.4. Materiales de laboratorio

- Probetas de 100, 250 y 500 mL.
- Matraces Erlenmeyer de 250 y 500 mL.
- Matraces aforados de 100 mL.
- Bureta de 50 mL.
- Pipetas graduadas de 1, 5 y 10 mL.
- Vasos de precipitación (beakers) de 100, 250 y 500 mL.
- Varillas de vidrio.
- Termómetros.
- Frascos de vidrio ámbar (para almacenamiento).
- Papel filtro Whatman N°1,
- Gradilla y tubos de ensayo.
- Pinzas y soporte universal.

2.2. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

La investigación se desarrolló en seis etapas, tal como se describe a continuación:

2.2.1. ETAPA 1: Obtención y caracterización del mucílago de cacao

El mucílago de cacao fue obtenido a partir de mazorcas frescas de la variedad Chuncho, procedentes del distrito de Chungui, provincia de La Mar - Vraem. Las mazorcas fueron seleccionadas en estado óptimo de madurez (coloración amarillo-anaranjada), posteriormente lavadas y desinfectadas mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio a 50 ppm durante 5 minutos. Luego, se realizó la apertura manual de las mazorcas para extraer los granos junto con el mucílago adherido. Este último fue separado mediante presión manual y recolectado en recipientes estériles. Posteriormente, el mucílago fresco fue sometido a su caracterización fisicoquímica mediante la determinación de pH y sólidos solubles (°Brix) , de acuerdo con los métodos indicados en la Tabla 4,

Tabla 4

Caracterización fisicoquímica del mucílago de cacao variedad Chuncho

Parámetro	Valor obtenido	Método empleado	Referencia
pH	4	Cinta indicadora de pH	Alvarez et al. (2016)
Sólidos solubles (°Brix)	13	Refractómetro	—

2.2.2. ETAPA 2: Preparación del mosto y fermentación alcohólica

a) Preparación del mosto

Para la elaboración del mosto, el mucílago de cacao variedad Chuncho fue diluido con agua potable en proporciones definidas por el diseño experimental. Se establecieron tres niveles de concentración: 10%, 25% y 40% (v/v), considerados como niveles bajo, medio y alto de la variable independiente X_1 . De acuerdo con Vera et al. (2020), aunque el rango óptimo de mucílago para la producción de bebidas alcohólicas se sitúa entre 10 y 15%, es posible emplear concentraciones superiores realizando ajustes en el proceso.

Ejemplo de preparación:

- Para 10%: 100 mL de mucílago + 900 mL de agua
- Para 25%: 250 mL de mucílago + 750 mL de agua
- Para 40%: 400 mL de mucílago + 600 mL de agua

Posteriormente, el contenido de sólidos solubles fue ajustado a 18 °Brix mediante la adición de sacarosa, con el fin de favorecer la actividad fermentativa de las levaduras y optimizar la producción de etanol (Vera et al., 2020). Asimismo, el pH fue regulado a 4,0 mediante la adición de ácido cítrico o hidróxido de sodio (NaOH), valor considerado adecuado para el desarrollo de *Saccharomyces cerevisiae* (Delgado et al., 2021). Finalmente, el mosto fue sometido a un proceso de pasteurización a 85 °C durante 10 minutos para reducir la carga microbiana competitiva, siguiendo lo propuesto por Cárdenas y Leandro (2015). Luego, se dejó enfriar hasta alcanzar aproximadamente 30 °C antes de la inoculación.

La elección de 18 °Brix se fundamenta en que estudios previos han demostrado que esta concentración de sólidos solubles es óptima para la fermentación del mucílago de cacao con *Saccharomyces cerevisiae*, permitiendo una producción eficiente de etanol (Leite et al., 2019). Asimismo, se ha reportado que concentraciones superiores a 25 °Brix pueden inhibir el proceso fermentativo por efecto osmótico (Sabahanuru & Ralle, 2018).

No se cuenta con una Norma Técnica Peruana (NTP) específica que establezca valores de °Brix para mostos fermentados de mucílago de cacao. Las normas vigentes, como la NTP 203.110 (2021), únicamente contemplan jugos y néctares no fermentados. En consecuencia, la selección del valor de 18 °Brix se sustentó únicamente en bases y criterios científicos.

Tabla 5

Preparación del mosto a partir de 2000 mL según concentración de mucílago de cacao

Tratamiento	Concentración de mucílago (%)	Volumen de mucílago (mL)	Volumen de agua (mL)	Volumen total (mL)
Bajo (-1)	10	200	1800	2000
Medio (0)	25	500	1500	2000
Alto (+1)	40	800	1200	2000

b) Inoculación y fermentación

Una vez preparado el mosto, se inoculó con levadura comercial *Saccharomyces cerevisiae* a una concentración de 3 g/L, valor considerado adecuado para el proceso fermentativo (Delgado et al., 2021). La fermentación se llevó a cabo en recipientes de plástico con capacidad de 2 L, bajo condiciones anaerobias y a una temperatura constante de 30 °C. El proceso fermentativo se desarrolló siguiendo un diseño experimental Box-Behnken, con tres variables independientes y tres niveles cada una. En la Tabla 4 se presentan las variables evaluadas junto con sus respectivos niveles.

Tabla 6

Variables independientes y niveles del diseño Box-Behnken

Variable independiente	Símbolo	Unidad	Nivel bajo (-1)	Nivel medio (0)	Nivel alto (+1)
Concentración de mucílago	X ₁	%	10	25	40
Periodo de fermentación	X ₂	días	7	11	15
Temperatura de destilación	X ₃	°C	75	80	85

Fuente: Adaptado de (Sharma y Sharma, 2025)

A partir de estas variables, se generaron 15 tratamientos experimentales con 3 repeticiones cada uno. La Tabla 6 muestra la matriz del diseño experimental con los valores codificados y reales.

Tabla 7

Matriz del diseño experimental Box-Behnken (15 tratamientos)

Tratamientos	Valores codificados			Valores reales		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ (%)	X ₂ (Días)	X ₃ (°C)
1	0	0	0	25	11	80
2	-1	-1	0	10	7	80
3	+1	-1	0	40	7	80
4	-1	+1	0	10	15	80
5	+1	+1	0	40	15	80
6	-1	0	-1	10	11	75
7	+1	0	-1	40	11	75

Tratamientos	Valores codificados			Valores reales		
8	0	0	0	25	11	80
9	-1	0	+1	10	11	85
10	+1	0	+1	40	11	85
11	0	-1	-1	25	7	75
12	0	+1	-1	25	15	75
13	0	-1	+1	25	7	85
14	0	+1	+1	25	15	85
15	0	0	0	25	11	80

Nota: X_1 = Concentración de mucílago; X_2 = Periodo de fermentación; X_3 = Temperatura de destilación. Los tratamientos 1, 14 y 15 son puntos centrales.

Para la fermentación, se ajustó el mucílago a 18 °Brix añadiendo sacarosa y se inoculó con *Saccharomyces cerevisiae* bajo condiciones controladas. En la Tabla 6 se resumen las condiciones fijas del proceso fermentativo.

Tabla 8

Condiciones fijas para el proceso de fermentación

Parámetro	Valor	Referencia
Cepa de levadura	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Delgado et al. (2021)
Concentración de levadura	3 g/L	Delgado et al. (2021)
pH inicial	4,0	Delgado et al. (2021)
Temperatura de fermentación	30 °C	Delgado et al. (2021)
Sólidos solubles (°Brix) iniciales	18 °Brix	Vera et al. (2020)
Volumen de fermentación	2 L	

2.2.3. ETAPA 3: Destilación

Una vez concluida la fermentación, el mosto fermentado fue sometido a un proceso de destilación artesanal. Para ello, se empleó una olla a presión acondicionada como sistema de destilación, a la cual se le incorporó un sistema de refrigeración para

la condensación de los vapores y un termómetro digital para el control de la temperatura. La destilación se llevó a cabo a las temperaturas establecidas en el diseño experimental (75, 80 y 85 °C). Este proceso se basa en la diferencia de volatilidad entre el etanol y el agua, lo que permite su separación a partir del mosto fermentado (Spaho et al., 2025).

Durante la destilación, el producto fue fraccionado en tres partes: la fracción cabeza, correspondiente al 5–10% inicial del destilado, fue descartada por contener compuestos volátiles indeseables; la fracción corazón, recolectada entre 75 y 85 °C, constituyó el producto principal; y la fracción cola fue descartada al superar los 85 °C, debido a la presencia de compuestos de menor calidad sensorial.

El destilado correspondiente a la fracción corazón fue almacenado en botellas de vidrio ámbar a temperatura ambiente para su posterior análisis.

Tabla 9

Parámetros del proceso de destilación

Parámetro	Rango/Valor
Temperatura de destilación (variable)	75, 80, 85 °C
Fracción cabeza (descartada)	5–10% del destilado inicial
Temperatura de cabeza	65–78 °C
Fracción corazón (producto)	Etanol
Temperatura de corazón	75–85 °C
Fracción cola (descartada)	>85 °C

Nota. Adaptado de (Spaho et al., 2025b)

2.2.4. ETAPA 4: Análisis fisicoquímicos.

Se evaluaron cuatro parámetros fisicoquímicos en el destilado obtenido: contenido alcohólico, pH, acidez titulable y densidad. En la Tabla 9 se presentan las variables respuesta junto con los métodos de análisis empleados.

Tabla 10*Variables respuesta y métodos de análisis*

Variable respuesta	Indicador	Unidad	Método	Referencia
Contenido alcohólico	% vol	%	Destilación + densidad	AOAC (1995); Zvidzai et al. (2014)
pH	Unidades de pH	—	Potenciómetro	Álvarez et al. (2016)
Acidez titulable	% ácido láctico	%	Titulación con NaOH 0,1 N	Zvidzai et al. (2014)
Densidad	Masa/volumen	g/cm ³	Picnometría	Ramasami et al. (2005)

Los reactivos y soluciones utilizados para los análisis fisicoquímicos se detallan en la Tabla 12

Tabla 11*Reactivos y soluciones utilizadas en los análisis fisicoquímicos*

Reactivo/Solución	Concentración	Función
Hidróxido de sodio	0,1 N	Determinación de acidez
Fenolftaleína	1% en alcohol	Indicador en titulación
Soluciones buffer	pH 4, 7 y 10	Calibración del pHmetro
Agua destilada	—	Disolvente y limpieza

Fuente: Elaboración propia

Procedimientos de análisis

a) Contenido alcohólico (% vol):

Se determinó de acuerdo con los métodos propuestos por AOAC (1995) y Zvidzai et al. (2014). Para ello, se destilaron 100 mL de muestra y posteriormente se evaluó la densidad del destilado mediante un picnómetro a 20 °C. El porcentaje de alcohol se estimó utilizando tablas de conversión basadas en la gravedad específica.

b) pH:

La medición se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Alvarez et al. (2016), empleando un pHmetro digital previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4, 7 y 10, Las determinaciones se efectuaron por triplicado a temperatura ambiente.

c) Acidez titulable (% ácido láctico):

Se determinó según Zvidzai et al. (2014). Se tomaron 10 mL de muestra, los cuales fueron titulados con solución de NaOH 0,1 N, utilizando fenolftaleína como indicador hasta la aparición de una coloración rosada persistente durante 30 segundos. El cálculo se realizó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Acidez titulable (\% ácido láctico)} = \frac{\text{Volumen de NaOH utilizado} \times \text{Normalidad de NaOH} \times 0,9}{\text{Volumen de la muestra (ml)}} \times 100$$

d) Densidad (g/cm³):

La densidad se determinó mediante el método de picnometría descrito por Ramasami et al. (2005), utilizando un picnómetro de 25 mL a una temperatura de 20 °C. El valor se obtuvo a partir de la relación entre la masa y el volumen de la muestra.

2.2.5. ETAPA 5: Evaluación sensorial.

La evaluación sensorial del destilado se llevó a cabo mediante una prueba afectiva de tipo hedónica, siguiendo la metodología propuesta por Lawless y Heymann (2010), con la finalidad de determinar el grado de aceptación del producto por parte de los consumidores.

En la Tabla 13 se presenta la escala hedónica de 5 puntos empleada en la evaluación.

Tabla 12

Escala hedónica de 5 puntos para la evaluación sensorial

Descripción	Valor numérico
No me gusta	1
Me disgusta ligeramente	2
Me gusta	3
Me gusta mucho	4
Me gusta muchísimo	5

Fuente: (Lawless y Heymann, 2010)

Los atributos considerados en la evaluación sensorial se describen en la Tabla 13.

Tabla 13

Atributos sensoriales evaluados y su descripción

Atributo	Descripción para el panelista
Color	Evaluación de la intensidad y tonalidad del destilado (transparente, ámbar, entre otros)
Aroma	Percepción olfativa del producto (notas frutales, florales, a cacao, etc.)
Sabor	Percepción gustativa (dulce, ácido, amargo o alcohólico)
Aceptabilidad general	Evaluación global del agrado del producto

Fuente: (Lawless y Heymann, 2010)

Las características de los panelistas participantes se presentan en la Tabla 14,

Tabla 14 Perfil de los panelistas para la evaluación sensorial

Característica	Especificación
Número de panelistas	25
Tipo de panelistas	No entrenados (consumidores)
Edad	18 – 60 años
Consumo de bebidas alcohólicas	Sí
Familiaridad con destilados	Preferible

Procedimiento:

Cada panelista recibió una ficha de evaluación, así como una muestra de cada uno de los 15 tratamientos, codificados mediante números de tres dígitos. Además, se proporcionó agua para el enjuague bucal entre muestras. Previamente a la evaluación, se realizó una sesión de inducción para explicar los atributos a evaluar y familiarizar a los participantes con el producto.

Justificación:

El rango de edad entre 18 y 60 años fue considerado debido a que incluye a la población autorizada legalmente para consumir bebidas alcohólicas en el Perú, es decir, personas mayores de edad, además de abarcar adultos con experiencia en el consumo de destilados, capaces de realizar una evaluación sensorial adecuada y confiable. De acuerdo con Harry T. Lawless y Hildegard Heymann (2010), los panelistas no entrenados deben ser consumidores frecuentes del producto evaluado, por lo que, en el caso de bebidas alcohólicas destiladas, resulta importante incluir grupos etarios representativos de los consumidores habituales.

La participación de 25 panelistas se considera adecuada para realizar pruebas afectivas utilizando escalas hedónicas, ya que Harry T. Lawless y Hildegard Heymann (2010) señalan que un grupo de entre 20 y 30 consumidores permite obtener resultados con confiabilidad estadística.

2.2.6. ETAPA 6: Análisis estadístico.

Los datos experimentales obtenidos fueron procesados y analizados mediante el software Statgraphics Centurion versión 19, En la Tabla 13 se detallan las herramientas estadísticas empleadas para la interpretación de los resultados.

Tabla 15

Herramientas estadísticas utilizadas

Herramienta	Propósito	Software
ANOVA	Identificar diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$)	Statgraphics Centurion V.19
Prueba F	Evaluar la significancia global del modelo	Statgraphics Centurion V.19
Coefficiente R^2	Determinar el grado de ajuste del modelo	Statgraphics Centurion V.19
Superficie de respuesta	Analizar la interacción entre variables y optimizar el proceso	Statgraphics Centurion V.19
Función de deseabilidad	Establecer las condiciones óptimas del sistema	Statgraphics Centurion V.19

Se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0.05$) porque el análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Tukey permite comparar todos los pares de tratamientos entre sí y controla el error tipo I (falsos positivos) cuando se hacen muchas comparaciones. Es la prueba más adecuada cuando se tienen más de dos tratamientos y se quiere saber exactamente qué tratamientos son diferentes entre sí (Montgomery, 2017).

✓ **Modelo matemático del diseño Box-Behnken**

El comportamiento de las variables respuesta se describió mediante un modelo de regresión polinomial de segundo orden, típico del diseño Box-Behnken. La ecuación general utilizada fue:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{33}X_3^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{23}X_1X_3 + a_{33}X_2X_3 \quad (1)$$

Dónde: a_0 , $a_1 - a_3$, $a_{11} - a_{33}$ y $a_{12} - a_{13}$ son los coeficientes de regresión de la ecuación para la intersección, lineal, cuadrática y el coeficiente de interacción, respectivamente; $X_1 - X_3$ son variables independientes codificadas.

Este modelo permitió evaluar tanto los efectos individuales como las interacciones entre las variables del proceso.

Análisis de varianza (ANOVA)

- ✓ El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA utilizando el software Statgraphics Centurion versión 19, con un nivel de significancia de 0,05,

Interpretación

- ✓ Se consideró que un factor o modelo es estadísticamente significativo cuando el valor de $p < 0,05$.
- ✓ La prueba F se utilizó para evaluar la validez global del modelo; valores altos de F indican mayor capacidad explicativa.
- ✓ El coeficiente de determinación (R^2) permitió medir el ajuste del modelo; valores cercanos a 1 indican mejor predicción.

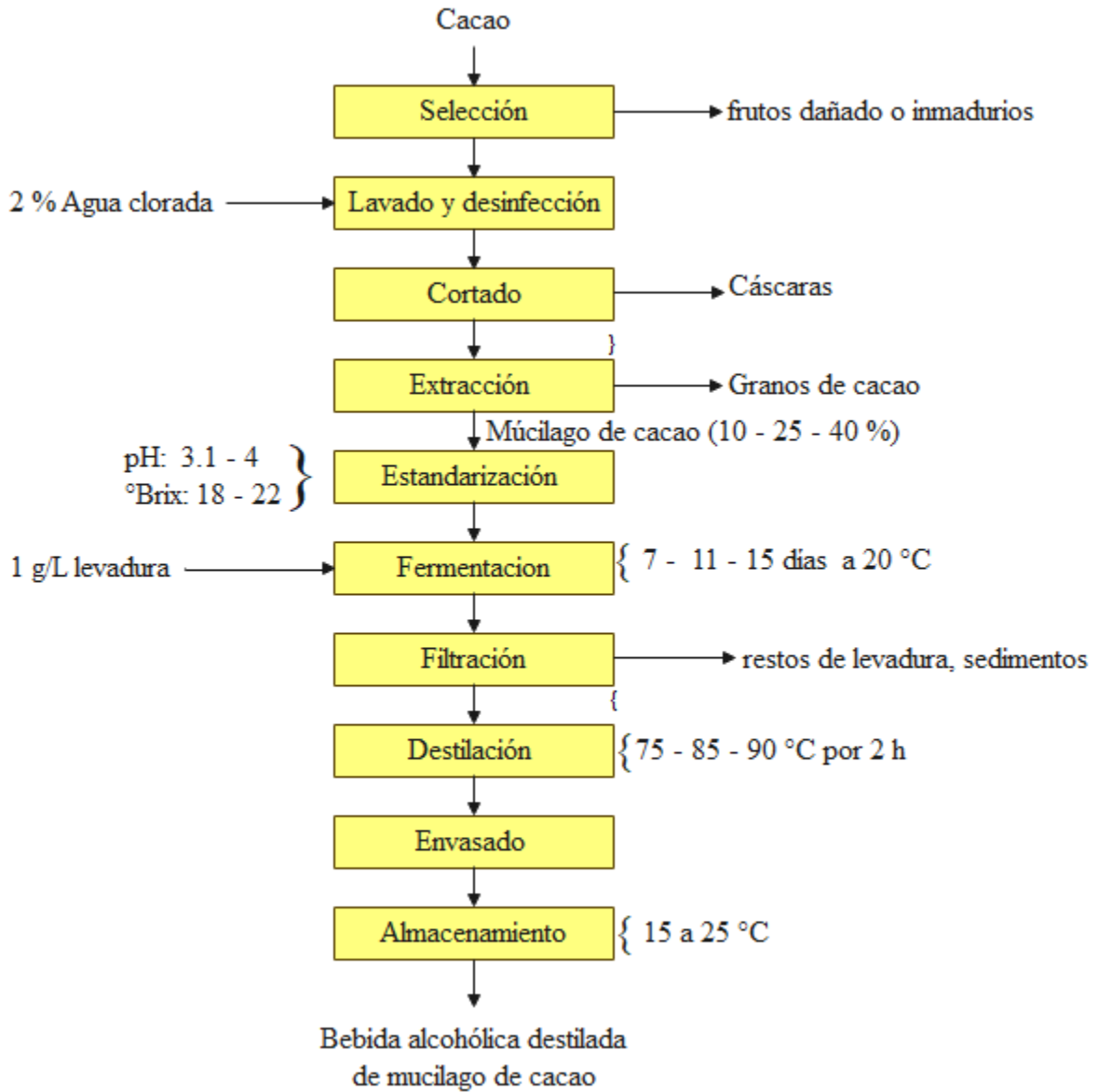
Optimización del proceso

Para determinar las condiciones óptimas del proceso, se empleó la metodología de superficie de respuesta, la cual permitió visualizar la interacción entre variables mediante gráficos tridimensionales.

Adicionalmente, se utilizó la función de deseabilidad, con el objetivo de encontrar la combinación de niveles de las variables independientes que maximicen o minimicen las variables respuesta, según los criterios establecidos.

Figura 6

Diagrama de flujo de la obtención de una bebida alcohólica destilada del mucílago de cacao



CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. CARACTERIZACION FISICOQUÍMICAS DEL MUCÍLAGO DE CACAO

Previo al proceso de fermentación, se caracterizó el mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad chuncho proveniente del distrito de Chungui, La Mar. Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 16

Propiedades fisicoquímicas del mucílago de cacao variedad chuncho

Parámetro	Valor	Unidad
pH	4,3	-
°Brix	13,0	°Brix

En la tabla 17 se muestra valores de pH de 4,3 y ° Brix 13 obtenidos del mucílago de cacao, presenta condiciones adecuadas para la fermentación alcohólica. Estos resultados son similares a los reportados por **Salvatierra et al. (2023)**, quienes encontraron 23 °Brix y pH 4,3 en mucílago de cacao criollo. Asimismo, se encuentran dentro de los rangos reportados por **Cardenas, (2015)** para los clones CCN-51 (15 °Brix, pH 3,08) e IMC-67 (17 °Brix, pH 3,01), La variedad de cacao chuncho presenta características fisicoquímicas favorables que la convierten en una materia prima apta para el proceso de fermentación y posterior destilación, permitiendo la obtención de bebidas alcohólicas con potencial de aprovechamiento agroindustrial.

3.2. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS LA BEBIDA ALCOHÓLICA DESTILADA

3.2.1. Determinación del Contenido alcohólico

En la Tabla 18 se muestran los coeficientes de regresión para el contenido alcohólico del destilado.

Tabla 17

Coefficientes de regresión del contenido alcohólico

	Coefficientes de regresión	Error estándar	T(5)	Valor p*
Media	21,0000	3,093676	6,78804	0,001056
X₁(L)	3,6250	3,788964	0,95673	0,382644
X₁(Q)	-3,6250	5,577204	-0,64997	0,544389
X₂(L)	16,3750	3,788964	4,32176	0,007558
X₂(Q)	1,3750	5,577204	0,24654	0,815067
X₃(L)	-10,0000	3,788964	-2,63924	0,046018
X₃(Q)	4,1250	5,577204	0,73962	0,492773
1Lx2L	10,2500	5,358405	1,91288	0,113964
1Lx3L	-7,5000	5,358405	-1,39967	0,220497
2Lx3L	-2,5000	5,358405	-0,46656	0,660439

X₁: Concentración de mucílago, X₂: Días de fermentación, X₃: Temperatura de destilación; L: término lineal, Q: término cuadrático.

** Valores estadísticamente significativos al 5% (p<0,05).*

Los coeficientes de regresión muestran que la media del diseño tiene significancia estadística (p=0,001056), lo que demuestra la aleatoriedad y reproducibilidad de los datos evaluados. La variable tiempo de fermentación (X₂) en su término lineal presentó significancia estadística (p=0,007558), al igual que la temperatura de destilación (X₃) en su término lineal (p=0,046018). En contraste, la concentración de mucílago no mostró significancia en ninguno de sus términos (p>0,05).

En la figura 6, muestra que el periodo de fermentación (efecto = +4,32) y la temperatura de destilación (efecto = -2,64) afectan significativamente (p < 0,05) el contenido alcohólico. La fermentación incrementa el grado alcohólico, mientras que temperaturas elevadas lo disminuyen. La interacción entre concentración de mucílago y fermentación

también resultó significativa (efecto = +1,91), indicando que ambos factores actúan de manera conjunta sobre esta respuesta.

Figura 7

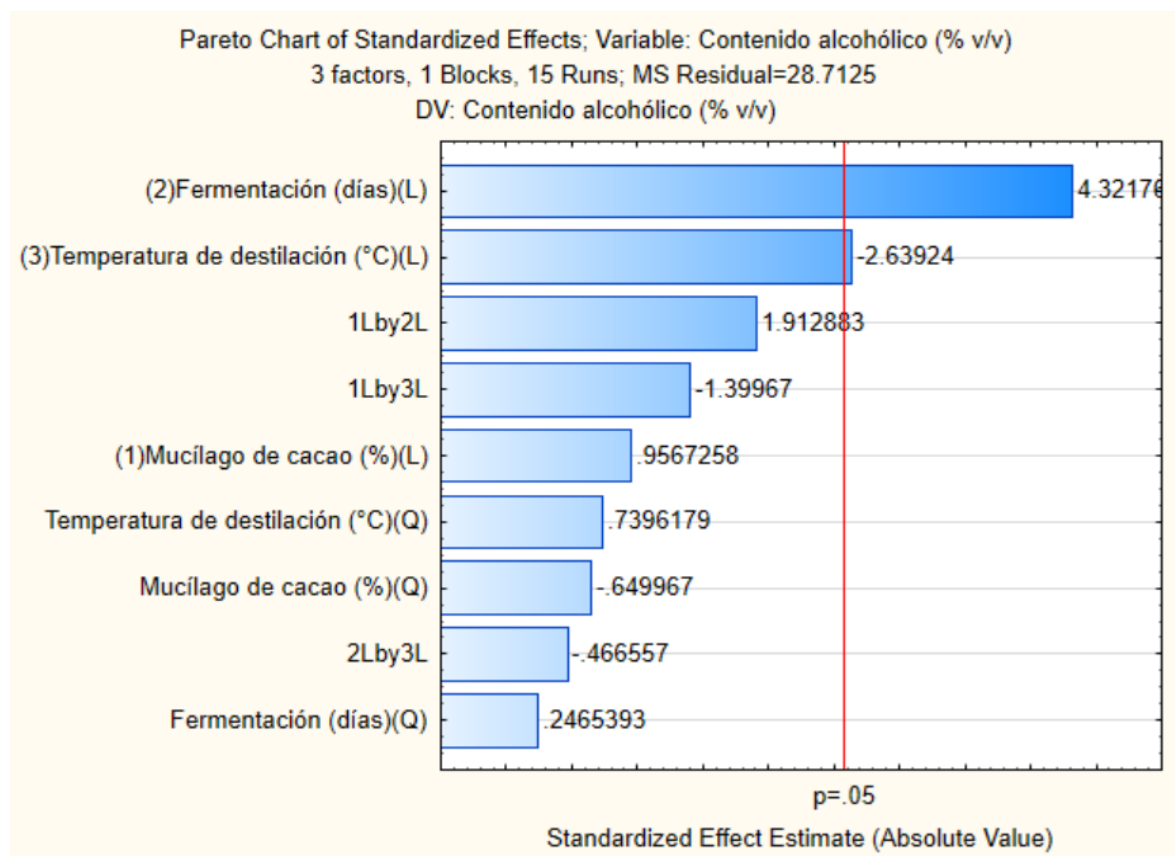


Diagrama de Pareto para el contenido alcohólico.

El análisis de varianza confirma que el tiempo de fermentación y la temperatura de destilación afectan significativamente ($p < 0,05$) el contenido alcohólico. El coeficiente de determinación ajustado fue de 63,64%. Los mejores promedios de contenido alcohólico se obtuvieron en los tratamientos T5 y T12,

Los resultados coinciden con lo reportado por Cuvi (2020), quien encontró que a mayor tiempo de fermentación (20 días) se obtenía mayor grado alcohólico (18°GL). Asimismo, Salvatierra et al. (2023) reportaron que fermentaciones de 15 días produjeron etanol con graduaciones entre 54% y 55% después de la destilación, mientras que en el presente estudio el contenido alcohólico promedio fue de 21%. Esta diferencia se atribuye a la dilución previa a la destilación y al tipo de materia prima utilizada.

Tabla 18*ANOVA para el contenido alcohólico del destilado*

Factor	SC	GL	CM	F	Valor p
MC (%) (L)	26,281	1	26,2813	0,91532	0,382644
MC (%) (Q)	12,130	1	12,1298	0,42246	0,544389
TF (días) (L)	536,281	1	536,2813	18,67762	0,007558
TF (días) (Q)	1,745	1	1,7452	0,06078	0,815067
TaD (°C) (L)	200,000	1	200,0000	6,96561	0,046018
TaD (°C) (Q)	15,707	1	15,7067	0,54703	0,492773
1L x 2L	105,062	1	105,0625	3,65912	0,113964
1L x 3L	56,250	1	56,2500	1,95908	0,220497
2L x 3L	6,250	1	6,2500	0,21768	0,660439
Error	143,562	5	28,7125		
Total SS	1105,500	14			

MC: Mucílago de cacao, TF: Tiempo de fermentación, TaD: Temperatura de destilación

3.2.2. Determinación de Acidez titulable

Tabla 19*Coefficientes de regresión de la acidez titulable*

	Coefficientes de regresión	Error estándar	T(5)	Valor p
Media	0,286667	0,060286	4,75508	0,005082
X₁(L)	-0,060000	0,073835	-0,81262	0,453375
X₁(Q)	-0,121667	0,108683	-1,11947	0,313816
X₂(L)	-0,045000	0,073835	-0,60946	0,568847
X₂(Q)	-0,051667	0,108683	-0,47539	0,654552
X₃(L)	0,060000	0,073835	0,81262	0,453375
X₃(Q)	-0,171667	0,108683	-1,57952	0,175052
1Lx2L	-0,150000	0,104419	-1,43652	0,210348
1Lx3L	0,020000	0,104419	0,19154	0,855641
2Lx3L	0,150000	0,104419	1,43652	0,210348

Las variables independientes mostró significancia estadística ($p > 0,05$) sobre la acidez titulable. El coeficiente de determinación ajustado fue de 30,03%.

Tabla 20*ANOVA para la acidez titulable del destilado*

Factor	SC	GL	Cuadrado medio	F	Valor p
MC (%) (L)	0,007200	1	0,007200	0,660349	0,453375
MC (%) (Q)	0,013664	1	0,013664	1,253204	0,313816
TF (días) (L)	0,004050	1	0,004050	0,371446	0,568847
TF (días) (Q)	0,002464	1	0,002464	0,225995	0,654552
TaD (°C) (L)	0,007200	1	0,007200	0,660349	0,453375
TaD (°C) (Q)	0,027203	1	0,027203	2,494885	0,175052
Error	0,054517	5	0,010903		
Total SS	0,157373	14			

Los valores de acidez titulable fueron estadísticamente similares en todos los tratamientos. Esto concuerda con Baquerizo (2013), quien reportó que el pH y la acidez durante la fermentación del mucílago tienden a estabilizarse después de cierto tiempo, alcanzando valores óptimos entre pH 4,24 y 4,42.

3.2.3. Determinación de la Densidad

Tabla 21*Coefficientes de regresión de la densidad.*

	Coefficientes de regresión	Error estándar	T(5)	Valor p
Media	0,978667	0,008725	112,1665	0,000000
X₁(L)	-0,000250	0,010686	-0,0234	0,982240
X₁(Q)	0,003333	0,015729	0,2119	0,840540
X₂(L)	-0,031500	0,010686	-2,9478	0,031968
X₂(Q)	-0,007167	0,015729	-0,4556	0,667766
X₃(L)	0,015750	0,010686	1,4739	0,200514
X₃(Q)	-0,009667	0,015729	-0,6146	0,565732
1L×2L	-0,018500	0,015112	-1,2242	0,275421
1L×3L	0,004000	0,015112	0,2647	0,801817
2L×3L	0,007500	0,015112	0,4963	0,640739

La variable tiempo de fermentación (X_2) en su término lineal mostró significancia estadística ($p=0,031968$). La concentración de mucílago y la temperatura no presentaron efectos significativos sobre la densidad.

En la Figura 7 se presenta el diagrama de Pareto para la densidad de la bebida alcohólica destilada. Se observa que el periodo de fermentación (efecto = -2,95) y la temperatura de destilación (efecto = +1,47) presentaron efectos significativos ($p < 0,05$). La fermentación mostró un efecto negativo, indicando que tiempos prolongados reducen la densidad del destilado. Por otro lado, la temperatura de destilación ejerció un efecto positivo, incrementando la densidad a mayores temperaturas. La concentración de mucílago de cacao, así como las interacciones entre variables y los términos cuadráticos, no resultaron significativos ($p > 0,05$), lo que sugiere que la densidad se comporta de manera lineal frente a las variables independientes dentro del rango estudiado.

Figura 8

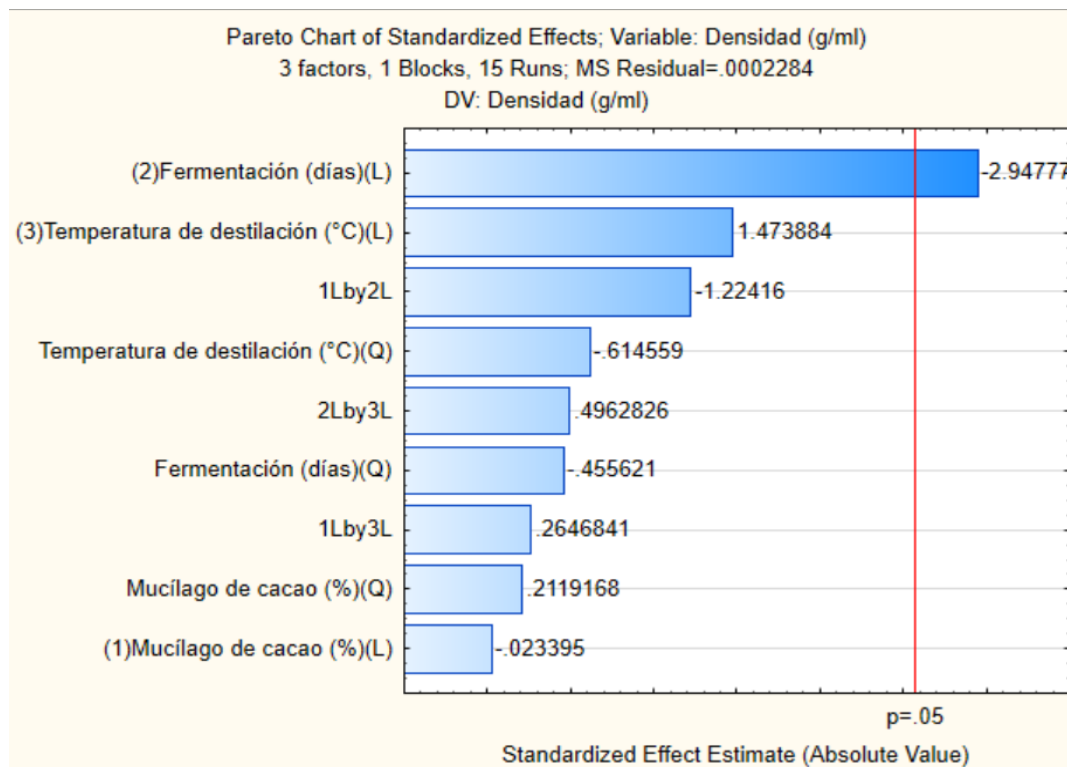


Diagrama de Pareto para la densidad

Tabla 22*ANOVA para la densidad del destilado*

Factor	SC	GL	Cuadrado medio	F	Valor p
MC (%) (L)	0,000000	1	0,000000	0,000547	0,982240
MC (%) (Q)	0,000010	1	0,000010	0,044909	0,840540
TF (días) (L)	0,001985	1	0,001985	8,689338	0,031968
TF (días) (Q)	0,000047	1	0,000047	0,207591	0,667766
TaD (°C) (L)	0,000496	1	0,000496	2,172335	0,200514
TaD (°C) (Q)	0,000086	1	0,000086	0,377683	0,565732
Error	0,001142	5	0,000228		
Total SS	0,004181	14			

Los mejores promedios de densidad se obtuvieron en los tratamientos T3 y T10, con valores de 0,995 g/mL. La densidad de las bebidas alcohólicas está influenciada por el contenido de etanol y los sólidos solubles remanentes. Según Wahaibi y Grattoni (2007), el etanol puro tiene una densidad de 0,789 g/cm³ a 20°C, mientras que la adición de agua y otros componentes aumenta la densidad. Los valores obtenidos (~0,978-0,995 g/mL) son típicos de destilados con graduaciones alcohólicas medias.

3.2.4. Determinación del PH

Tabla 23

Coefficientes de regresión del pH

	Coefficientes de regresión	Error estándar	T(5)	Valor p
Media	4,83333	0,307318	15,72746	0,000019
X₁(L)	-0,25000	0,376386	-0,66421	0,535954
X₁(Q)	-0,20833	0,554026	-0,37604	0,722318
X₂(L)	0,50000	0,376386	1,32842	0,241440
X₂(Q)	-0,20833	0,554026	-0,37604	0,722318
X₃(L)	0,00000	0,376386	0,00000	1,000000
X₃(Q)	-0,20833	0,554026	-0,37604	0,722318
1Lx2L	-0,25000	0,532291	-0,46967	0,658362
1Lx3L	1,25000	0,532291	2,34834	0,065695
2Lx3L	-1,25000	0,532291	-2,34834	0,065695

Tabla 24

ANOVA para el pH del destilado

Factor	SC	GL	Cuadrado medio	F	Valor p
MC (%) (L)	0,125000	1	0,125000	0,441176	0,535954
MC (%) (Q)	0,040064	1	0,040064	0,141403	0,722318
TF (días) (L)	0,500000	1	0,500000	1,764706	0,241440
TF (días) (Q)	0,040064	1	0,040064	0,141403	0,722318
TaD (°C) (L)	0,000000	1	0,000000	0,000000	1,000000
TaD (°C) (Q)	0,040064	1	0,040064	0,141403	0,722318
1Lx2L	0,062500	1	0,062500	0,220588	0,658362
1Lx3L	1,562500	1	1,562500	5,514706	0,065695
2Lx3L	1,562500	1	1,562500	5,514706	0,065695
Error	1,416667	5	0,283333		
Total SS	5,333333	14			

Ninguna variable mostró significancia estadística sobre el pH ($p > 0,05$). Los valores de pH del destilado fueron estadísticamente similares en todos los tratamientos. Los valores de pH obtenidos (promedio de 4,83) se encuentran dentro del rango reportado por Mabohang (2025) para bebidas destiladas (pH 3,6 a 4,5) y por Furtado et al. (2010), quienes indican que factores como el tipo de fruta y los procesos de fermentación contribuyen a variaciones en los niveles de acidez y pH.

3.3. CARACTERÍSTICAS SENSORIALES LA BEBIDA ALCOHÓLICA DESTILADA

A continuación, se presenta los valores promedio y el error estándar para cada atributo (color, aroma, sabor y aceptabilidad general) estos resultados corresponden a la evaluación de una bebida alcohólica destilada sometida a 15 variantes de tratamiento durante el proceso de destilación.

3.3.1. Para el atributo de color

En la tabla 26 indica que existen diferencias estadísticamente significativas en la percepción del color entre los distintos tratamientos de la bebida destilada de mucílago de cacao. Para los panelistas no hubo diferencias significativas en los criterios de calificación de los jueces; es decir, se evaluó de manera homogénea y consistente.

Tabla 25*Análisis de varianza para color de la bebida alcohólica destilada*

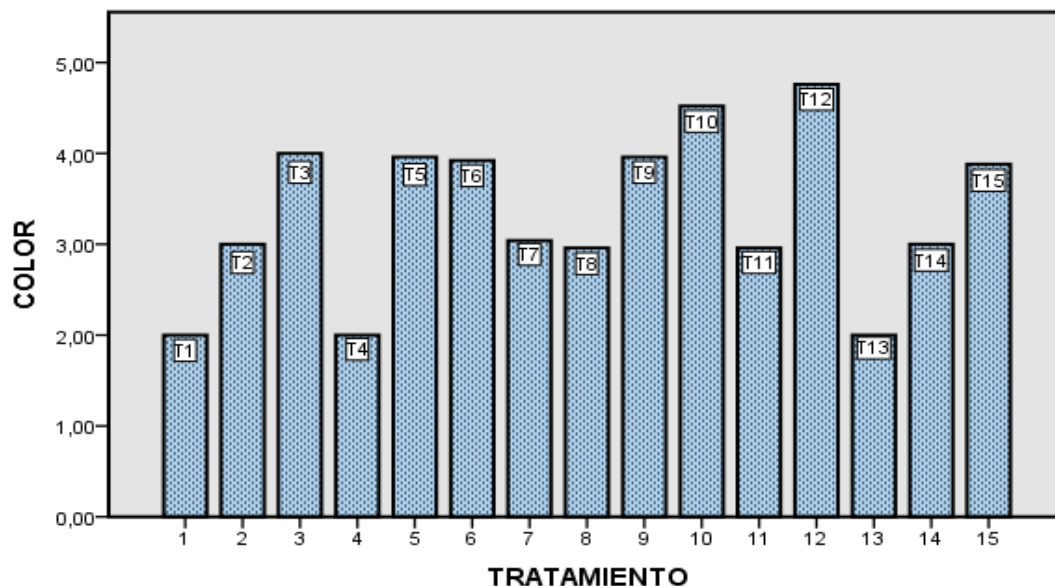
Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
Panelistas	24	19,531	0,814	1,274	0,178
Tratamiento	14	280,917	20,066	31,424	0,000
Error	336	214,549	0,639		
Total	375	4675,000			

Tabla 26 *Comparación de Tukey para el color de la bebida alcohólica destilada*

TRATAMIENTO	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
1	25	2,0000 ^d			
13	25	2,0000 ^d			
4	25	2,0000 ^d			
8	25		2,9600 ^c		
11	25		2,9600 ^c		
2	25		3,0000 ^c		
14	25		3,0000 ^c		
7	25		3,0400 ^c		
15	25			3,8800 ^b	
6	25			3,9200 ^b	
9	25			3,9600 ^b	
5	25			3,9600 ^b	
3	25			4,0000 ^b	4,0000 ^a
10	25			4,5200 ^b	4,5200 ^a
12	25				4,7600 ^a
Sig.		1,000	1,000	0,235	0,059

El ANOVA mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) para el atributo color. La prueba de Tukey identificó cuatro subconjuntos homogéneos, siendo los tratamientos T10 (4,52) y T12 (4,76) los que presentaron la mayor aceptación del color, mientras que T1, T4 y T13 obtuvieron los puntajes más bajos (2,00). El efecto de panelistas no fue significativo ($p = 0,178$), indicando consistencia en las evaluaciones.

Figura 9



Comparación para el atributo del color

En la figura 8, se observa que los tratamientos T10 y T12 presentaron los puntajes más altos, mientras que T1, T4 y T13 obtuvieron los valores más bajos. Estos resultados son consistentes con la prueba de Tukey (Tabla 24), que agrupó los tratamientos en cuatro subconjuntos homogéneos diferenciados. Los resultados del color muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), coincidiendo con **Arciniega y Espinoza, (2020)** quienes reportaron que la concentración de mucílago influye en la aceptación del color. Los tratamientos T10 y T12 (mayor fermentación y temperaturas intermedias) obtuvieron los mejores puntajes (4,52-4,76), mientras que T1, T4 y T13 los más bajos (2,00). La ausencia de significancia en el efecto panelista ($p = 0,178$) respalda la consistencia de las evaluaciones **Lawless y Heymann, (2010b)**. En comparación con **Rojas et al.,(2018)** (7,5/9), los puntajes obtenidos son moderados, lo que podría atribuirse al proceso de destilación, que introduce compuestos que afectan la percepción visual.

Tabla 27*Análisis de varianza para aroma de la bebida alcohólica destilada*

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
Panelistas	19,963	24	,832	1,096	0,346
Tratamiento	216,149	14	15,439	20,350	,000
Error	254,917	336	,759		
Total	3476,000	375			

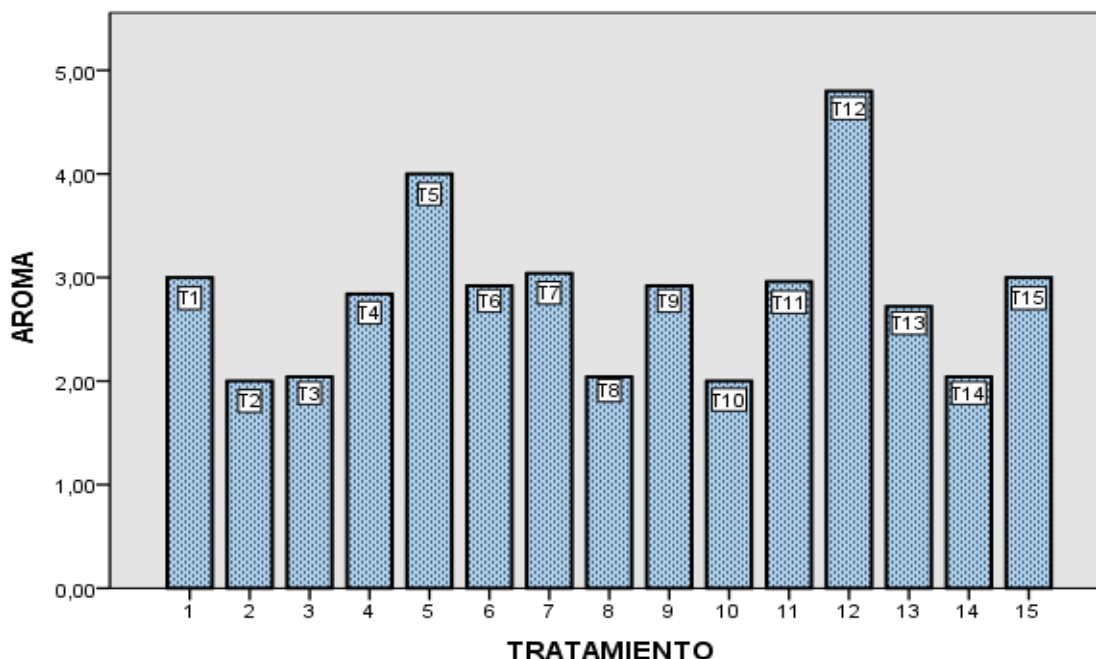
El ANOVA muestra diferencias significativas entre tratamientos para el atributo aroma ($p < 0,05$). El efecto de panelistas no fue significativo ($p = 0,346$), indicando consistencia en las evaluaciones. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,481$) indica que el modelo explica el 48,1 % de la variabilidad total.

Tabla 28*Comparación de Tukey para el aroma de la bebida alcohólica destilada*

TRATAMIENTO	N	Subconjunto		
		1	2	3
2	25	2,0000 ^c		
10	25	2,0000 ^c		
3	25	2,0400 ^c		
14	25	2,0400 ^c		
8	25	2,0400 ^c		
13	25	2,7200 ^c	2,7200 ^b	
4	25	2,8400 ^c	2,8400 ^b	
6	25		2,9200 ^b	
9	25		2,9200 ^b	
11	25		2,9600 ^b	
1	25		3,0000 ^b	
15	25		3,0000 ^b	
7	25		3,0400 ^b	
5	25			4,0000 ^a
12	25			4,8000 ^a
Sig.		0,051	0,994	0,083

La prueba de Tukey (Tabla 26) identificó tres subconjuntos homogéneos para el atributo aroma. Los tratamientos T5 (4,00) y T12 (4,80) presentaron los puntajes más altos, mientras que T2, T10, T3, T14 y T8 obtuvieron los valores más bajos (2,00 – 2,04). Los tratamientos restantes se ubicaron en un nivel intermedio (2,72 – 3,04).

Figura 10



Comparación para el atributo de la aroma

En la Figura 9 se presentan los puntajes para el atributo aroma. El tratamiento T12 y T5 obtuvo la mayor aceptación. Por el contrario, los tratamientos T10, T2 y T8 presentaron los valores más bajos. Se mostró diferencias significativas entre tratamientos para el aroma ($p < 0,05$), Esto sugiere que otros compuestos volátiles no controlados (ésteres, aldehídos, alcoholes superiores) también influyen en la percepción aromática (Balák et al., 2024; Hatta et al., 2024). La prueba de Tukey y la gráfica identificaron a T12 y T5 como los tratamientos de mayor aceptación, mientras que T10, T2 y T8 obtuvieron los puntajes más bajos. Estos resultados coinciden con Salvatierra et al. (2023) y Cuvi (2020), quienes reportaron alta aceptación aromática en bebidas de mucílago de cacao con fermentaciones prolongadas. Spaho et al. (2025) señalan que los cortes de destilación determinan la calidad aromática, lo que explicaría las diferencias entre tratamientos. Asimismo, Ickes y Cadwallader (2017) indican que el contenido alcohólico modula la percepción del aroma.

3.3.2. Para el atributo de sabor

Tabla 29

Análisis de varianza para color de la bebida alcohólica destilada

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
Panelistas	13,504	24	,563	,951	0,532
Tratamiento	254,784	14	18,199	30,756	,000
Error	198,816	336	,592		
Total	2971,000	375			

En la tabla 30 muestra diferencias significativas entre tratamientos para el atributo sabor ($p < 0,05$). El efecto de panelistas no fue significativo ($p = 0,532$), indicando consistencia en las evaluaciones. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,574$) indica que el modelo explica el 57,4 % de la variabilidad total.

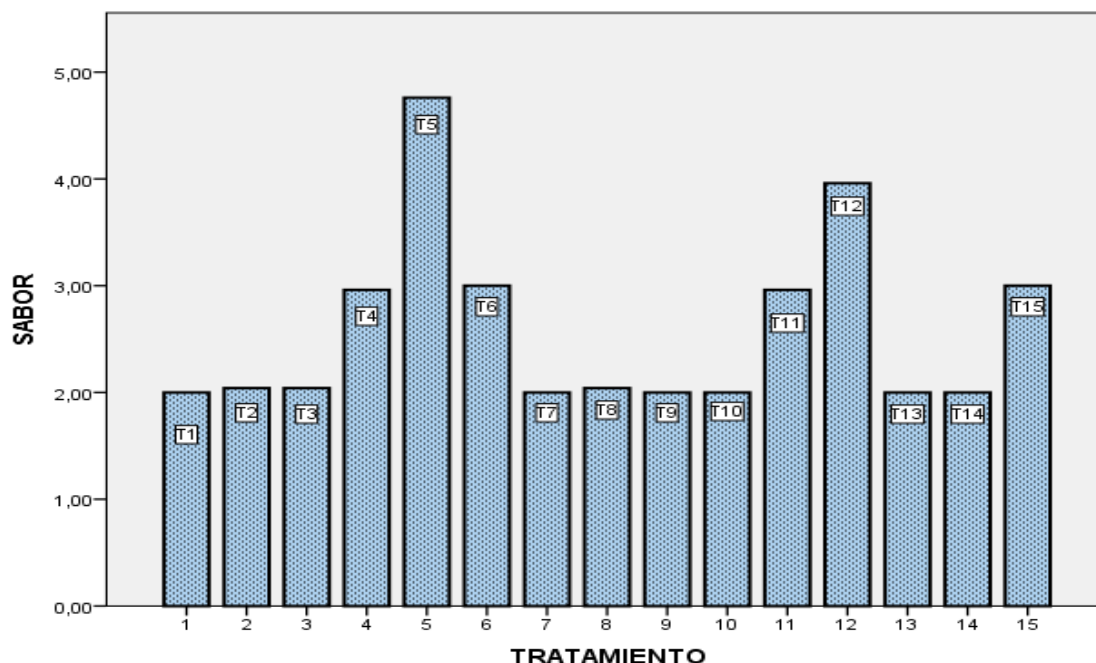
Tabla 30

Comparación de Tukey para el sabor de la bebida alcohólica destilada

TRATAMIENTO	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
1	25	2,0000 ^d			
7	25	2,0000 ^d			
9	25	2,0000 ^d			
10	25	2,0000 ^d			
13	25	2,0000 ^d			
14	25	2,0000 ^d			
3	25	2,0400 ^d			
8	25	2,0400 ^d			
2	25	2,0400 ^d			
4	25		2,9600 ^c		
11	25		2,9600 ^c		
6	25		3,0000 ^c		
15	25		3,0000 ^c		
12	25			3,9600 ^b	
5	25				4,7600 ^a
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Tabla 31 identificó cuatro subconjuntos homogéneos para el atributo sabor. El tratamiento T5 (4,76) presentó la mayor aceptación, seguido del tratamiento T12 (3,96). Los tratamientos T1, T7, T9, T10, T13, T14, T3, T8 y T2 obtuvieron los puntajes más bajos (2,00 – 2,04), mientras que T4 y T11 (2,96) y T6 y T15 (3,00) se ubicaron en niveles intermedios.

Figura 11



Comparación para el atributo del sabor

La prueba de Tukey y la gráfica identificaron a T5 (4,80) y T12 (4,00) como los tratamientos de mayor aceptación, mientras que T1, T7, T8, T9, T10, T13 y T14 (2,00) obtuvieron los puntajes más bajos. Estos resultados coinciden con Salvatierra et al. (2023), quienes reportaron un sabor "fuerte y ligeramente dulce" en aguardiente de mucílago de cacao con alta aceptación. Asimismo, **Cuvi (2020)** encontró que fermentaciones de 20 días (T3) alcanzaron la mejor evaluación sensorial. **Arciniega y Espinoza (2020)** demostraron que la concentración de mucílago influye significativamente en el sabor. **Spaho et al. (2025)** señalan que los cortes de destilación afectan el perfil de sabor, explicando las diferencias entre tratamientos. **Ickes y Cadwallader (2017)** indican que el contenido alcohólico modula la percepción del sabor. Finalmente, el sabor es influenciado significativamente por las condiciones de fermentación y destilación, siendo T5 y T12 los tratamientos óptimos.

3.3.3. Aceptabilidad general

Tabla 31

Análisis de varianza para color de la bebida alcohólica destilada

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
Panelistas	30,683	24	1,278	2,049	,003
Tratamiento	241,029	14	17,216	27,594	,000
Error	209,637	336	,624		
Total	3638,000	375			

En la tabla 32, muestra diferencias significativas entre tratamientos para la aceptabilidad general ($p < 0,05$). A diferencia de los atributos anteriores, el efecto de panelistas resultó significativo ($p = 0,003$), indicando que existe variabilidad en la percepción global del producto entre los evaluadores.

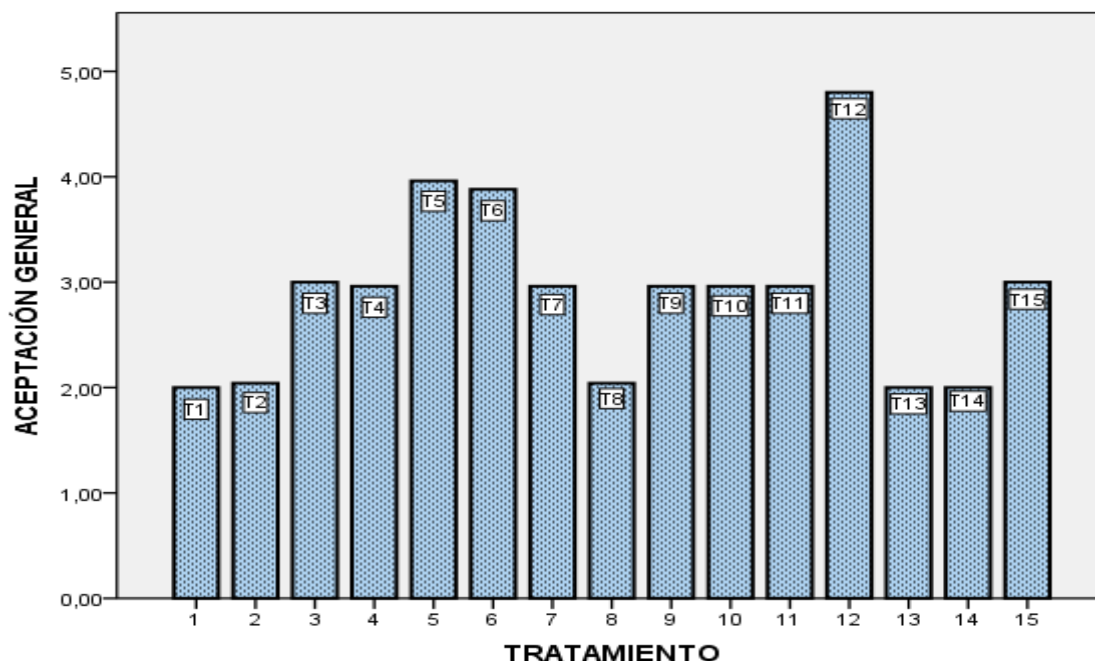
Tabla 32

Comparación de Tukey para la aceptación general de la bebida alcohólica destilada

TRATAMIENTO	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
1	25	2,0000 ^d			
13	25	2,0000 ^d			
14	25	2,0000 ^d			
8	25	2,0400 ^d			
2	25	2,0400 ^d			
9	25		2,9600 ^c		
4	25		2,9600 ^c		
7	25		2,9600 ^c		
10	25		2,9600 ^c		
11	25		2,9600 ^c		
3	25		3,0000 ^c		
15	25		3,0000 ^c		
6	25			3,8800 ^b	
5	25			3,9600 ^b	
12	25				4,8000 ^a
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

La prueba de Tukey (Tabla 33) identificó cuatro subconjuntos homogéneos para la aceptabilidad general. El tratamiento T12 (4,80) presentó la mayor puntuación, seguido por T5 (3,96) y T6 (3,88) en el subconjunto 3, Los tratamientos T1, T13 y T14 (2,00) obtuvieron los valores más bajos.

Figura 12



Comparación para el atributo de la aceptabilidad general.

En la Figura 11 se presentan los puntajes promedio de aceptabilidad general para los 15 tratamientos. El tratamiento T12 (4,80) obtuvo la mayor aceptación, seguido por T5 (4,00) y T6 (3,90). Los tratamientos T1, T2, T8, T13 y T14 presentaron los valores más bajos (2,00). Estos resultados son consistentes con la prueba de Tukey (Tabla 30).

El ANOVA mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) para la aceptabilidad general, con un $R^2 = 0,564$. A diferencia del color, aroma y sabor, el efecto de panelistas resultó significativo ($p = 0,003$), lo que indica que la percepción global del producto es más subjetiva y varía entre consumidores (Lawless y Heymann, 2010).

La prueba de Tukey y la gráfica identificaron a T12 (4,80) como el tratamiento de mayor aceptación, seguido por T5 (4,00) y T6 (3,90). Los tratamientos T1, T2, T8, T13 y T14 (2,00) obtuvieron los puntajes más bajos. Estos resultados coinciden con Cuvi (2020), cuyo mejor tratamiento alcanzó 4,49 en escala hedónica, y con Salvatierra et al. (2023), quienes reportaron 100 % de aceptación en aguardiente de mucílago de cacao. Sin embargo, son inferiores a Rojas Sosa y Rojas Manayay (2018) (7,5/9), lo que sugiere que el proceso de destilación introduce desafíos sensoriales adicionales frente a bebidas no alcohólicas. Finalmente, la bebida alcohólica destilada de mucílago de cacao variedad Chunchu es sensorialmente aceptable, siendo T12 la condición óptima, con potencial de mejora mediante ajustes en fermentación y destilación.

3.4. OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PROCESO

Con base en los resultados fisicoquímicos y sensoriales, el tratamiento 12 se identificó como el óptimo. Las condiciones experimentales de este tratamiento fueron:

- Concentración de mucílago: 25% (valor medio)
- Tiempo de fermentación: 15 días (valor alto)
- Temperatura de destilación: 75°C (valor medio)

Tabla 33

Características del tratamiento óptimo (T12)

Parámetro	Valor
Contenido alcohólico	35% vol.
Acidez titulable	0,08%
Densidad	0,945 g/mL
pH	5
Color	4,76/5
Aroma	4,80/5
Sabor	3,96/5
Aceptabilidad general	4,80/5

3.5. DISCUSION GENERAL

Los resultados obtenidos demuestran que el mucílago de cacao variedad chuncho es una materia prima viable para la producción de bebidas alcohólicas destiladas. La fermentación durante 15 días permitió alcanzar un contenido alcohólico adecuado (35% vol.), con una aceptabilidad sensorial calificada como "me gusta mucho" por los panelistas.

Estos hallazgos coinciden con Salvatierra et al. (2023), quienes reportaron que fermentaciones de 15 días produjeron aguardiente con 30-55% de alcohol y 100% de aceptación. Asimismo, Cuvi (2020) encontró que el tratamiento con 20 días de fermentación fue el mejor evaluado sensorialmente (media 4,49/5).

El contenido de 13 °Brix del mucílago chuncho esta dentro de los paramtros reportado por Cardenas y Leandro (2015) para clones CCN-51 (15 °Brix) e IMC-67 (17 °Brix), lo que representa una ventaja competitiva para la producción de etanol.

La temperatura de destilación de 75-80°C permitió obtener un destilado con características fisicoquímicas adecuadas, dentro del rango recomendado por Spaho et al. (2025), quienes indican que la fracción corazón del destilado (etanol puro) se recoge entre 75-85°C.

CONCLUSIONES

1. El mucílago de *Theobroma cacao* variedad Chunchu presentó 13 °Brix y pH de 4,3, evidenciando condiciones adecuadas para su aprovechamiento en procesos de fermentación alcohólica.
2. Entre las variables evaluadas, el período de fermentación mostró una influencia significativa ($p < 0,05$) sobre el contenido alcohólico y la densidad, obteniéndose mejores resultados a los 15 días de fermentación.
3. La temperatura de destilación influyó significativamente en la calidad del destilado ($p < 0,05$), siendo el rango de 75 a 80 °C el más favorable para conservar las características fisicoquímicas del producto.
4. El análisis sensorial permitió identificar al Tratamiento 12 (25 % de mucílago, 15 días de fermentación y 75 °C de destilación) como la condición óptima, obteniendo 35 % de alcohol, densidad de 0,945 g/mL, pH 5,0, acidez de 0,08 % y alta aceptación por parte de los evaluadores.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios del perfil de compuestos volátiles (ésteres, alcoholes superiores) en la bebida alcohólica destilada.
2. Evaluar el rendimiento de producción a escala piloto para determinar la viabilidad comercial.
3. Realizar estudios de vida útil de la bebida alcohólica en diferentes tipos de envases.
4. Determinar la presencia de metanol en el destilado para asegurar la inocuidad del producto.
5. Evaluar el uso de diferentes cepas de levadura nativas para mejorar el rendimiento alcohólico y las características sensoriales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Afoakwa, E. O. (2014). *Cocoa Production and Processing Technology*. CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/b16546>
- Álvarez, C., Pérez, E., & Lares, M. (2002a). Morfología de los frutos y características físico-químicas del Mucílago del cacao de tres zonas del Estado Aragua. *Agronomía Tropical*, 52(4), 497-506,
- Álvarez, C., Pérez, E., & Lares, M. (2002b). Morfología de los frutos y características físico-químicas del Mucílago del cacao de tres zonas del Estado Aragua. *Agronomía Tropical*, 52(4), 497-506,
- Al-Wahaibi, Y. M., & Grattoni, C. A. (2007). Physical Properties (Density, Viscosity, Surface Tension, Interfacial Tension, and Contact Angle) of the System Isopropyl Alcohol + Cyclohexene + Water. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 52(2), 548-552, <https://doi.org/10.1021/je060442b>
- Anjos, O., Frazão, D., & Caldeira, I. (2017). Physicochemical and Sensorial Characterization of Honey Spirits. *Foods*, 6(8), Article 8, <https://doi.org/10.3390/foods6080058>
- Apenten, R. O., & Vieira, E. (2023). Quality and Sensory Evaluation of Food. En R. Owusu-Apenten & E. R. Vieira (Eds.), *Elementary Food Science* (pp. 113-125). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65433-7_5
- Arciniega, A. A., & Espinoza, L. A. (2020). Optimización de una bebida a base del Mucílago del Cacao (*Theobroma cacao*), como aprovechamiento de uno de sus subproductos. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 310-326, <https://doi.org/10.23857/dc.v6i3,1286>
- Asaad, S. M., Inayat, A., Ghenai, C., & Shanableh, A. (2024). Response Surface Methodology in Biodiesel Production and Engine Performance Assessment.

- International Journal of Thermofluids*, 21, 100551,
<https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100551>
- Balák, J., Drábová, L., Ilko, V., Maršík, D., & Jarošová Kolouchová, I. (2024a). Preliminary Investigation of Fruit Mash Inoculation with Pure Yeast Cultures: A Case of Volatile Profile of Industrial-Scale Plum Distillates. *Foods*, 13(12), Article 12,
<https://doi.org/10.3390/foods13121955>
- Balák, J., Drábová, L., Ilko, V., Maršík, D., & Jarošová Kolouchová, I. (2024b). Preliminary Investigation of Fruit Mash Inoculation with Pure Yeast Cultures: A Case of Volatile Profile of Industrial-Scale Plum Distillates. *Foods*, 13(12), 1955,
<https://doi.org/10.3390/foods13121955>
- Balladares, C., Chóez-Guaranda, I., García, J., Sosa, D., Pérez, S., González, J. E., Viter, R., Barragán, A., Quijano-Avilés, M., & Manzano, P. (2016). Physicochemical characterization of Theobroma cacao L. mucilage, in Ecuadorian coast. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 741-745, <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-02-187>
- Baquerizo, M. J. G. (2013). *Obtención de una bebida alcohólica a partir de mucílago de cacao, mediante fermentación anaerobia en diferentes tiempos de inoculación*.
<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/336>
- Beckett, S. T. (2019). *The Science of Chocolate*. Royal Society of Chemistry.
- Cardenas, H. Y. C. (2015). *Rendimiento de alcohol de mucílago de Cacao (Theobroma cacao L.) de los clones CCN-51 e IMC-67 con el uso de levadura comercial (Saccharomyces cerevisiae meyen ex e.c. Hansen)*.
- Carley, K., Kamneva, N., & Reminga, J. (2004). *Response Surface Methodology*. 32,
- Chandrasekaran, M. (2012). *Valorization of Food Processing By-Products*. CRC Press.
- Chang, J. F. V., Vásquez, L. H., Vásquez, K. E. A., León, E. C. C., Barcia, C. S. R., Flor, F. G. I., Rivadeneira, A. D., & Hurtado, F. P. O. (2023). Caracterización de la miel

- obtenida del mucílago de tres grupos genéticos de cacao (*Theobroma cacao* L.).
Revista Bases de la Ciencia. ISSN 2588-0764, 8(2), Article 2,
<https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v8i2.5728>
- Coello Durand, M. R. (2021). *Medios de vida de los productores de la cadena de valor del cacao fino de aroma Chuncho-Echarati, La Convención Cusco* [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/19422>
- Condori, D., Espichan, F., Macassi, A. L. S., Carbajal, L., & Rojas, R. (2024). Study of the post-harvest processes of the peruvian chuncho cocoa using multivariate and multi-block analysis. *Food Chemistry*, 431, 137123,
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137123>
- Cortes, T. R., Cuervo-Parra, J. A., Robles-Olvera, V. J., Cortes, E. R., & Pérez, P. A. L. (2018). Experimental and Kinetic Production of Ethanol Using Mucilage Juice Residues from Cocoa Processing. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 16(11). <https://doi.org/10.1515/ijcre-2017-0262>
- Delgado, J. N., Bernal, T., Soler, J., & Peña, J. Á. (2021). Kinetic modeling of batch bioethanol production from CCN-51 Cocoa Mucilage. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 128, 169-175,
<https://doi.org/10.1016/j.jtice.2021.08.040>
- Delzo-Salomé, A., Huari-Vila, O., Salazar-Mercado, J., Delzo-Salomé, A., Huari-Vila, O., & Salazar-Mercado, J. (2021). Diseño Box—Behnken para optimizar el rendimiento de un pico sistema solar fotovoltaico. *Tecnia*, 31(2), 97-101,
<https://doi.org/10.21754/tecnica.v21i2.1018>
- Endrayani, V., Ludescher, R. D., Di, R., & Karwe, M. V. (2017). Total Phenolics and Antioxidant Capacity of Cocoa Pulp: Processing and Storage Study. *Journal of*

Food Processing and Preservation, 41(4), e13029,

<https://doi.org/10.1111/jfpp.13029>

Fellows, P. J. (2022). Evaporation and distillation. En P. J. Fellows (Ed.), *Food Processing Technology (Fifth Edition)* (pp. 389-413). Woodhead Publishing.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85737-6,00016-9>

Furtado, J. R., Freire, V. C., Messias, D. C. F., & Turssi, C. P. (2010a). Aspectos físico-químicos relacionados ao potencial erosivo de bebidas ácidas. *RFO UPF*, 15(3), 323-328,

Furtado, J. R., Freire, V. C., Messias, D. C. F., & Turssi, C. P. (2010b). Aspectos físico-químicos relacionados ao potencial erosivo de bebidas ácidas. *RFO UPF*.

<http://files.bvs.br/upload/S/1413-4012/2010/v15n3/a1865.pdf>

García, M. I., Tigre, A., Dominguez, V., Barragán, U. V., Guamán, J., Ramón, R., Segura, J., & Bayas, F. M. (2018). Elaboration Of An Alcoholic Drink From The Aerobic Fermentation Of Mucilage Of Cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*.

https://www.researchgate.net/publication/326266094_Elaboration_Of_An_Alcoholic_Drink_From_The_Aerobic_Fermentation_Of_Mucilage_Of_Cocoa_Theobroma_cacao_L

Guzmán, T. M. A., Guerra, L. S., Ruales, J., & Ramos, L. G. (2025). Ecuadorian Cacao Mucilage as a Novel Culture Medium Ingredient: Unveiling Its Potential for

Microbial Growth and Biotechnological Applications. *Foods*, 14(2), Article 2,

<https://doi.org/10.3390/foods14020261>

Hamdouche, Y., Meile, J. C., Lebrun, M., Guehi, T., Boulanger, R., Teyssier, C., & Montet, D. (2019). Impact of turning, pod storage and fermentation time on microbial

- ecology and volatile composition of cocoa beans. *Food Research International*, 119, 477-491, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.001>
- Hatta, B. S., Guevara, A. P., & Morales, E. S. (2024). Evolution of Acetaldehyde, Methanol, and Furfural in Pisco Distillation. *ACS Food Science & Technology*, 4(4), 889-894, <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.3c00627>
- Ickes, C. M., & Cadwallader, K. R. (2017). Effects of Ethanol on Flavor Perception in Alcoholic Beverages. *Chemosensory Perception*, 10(4), 119-134, <https://doi.org/10.1007/s12078-017-9238-2>
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010a). *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5>
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010b). *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. Springer Science & Business Media.
- Leite, P. B., Machado, W. M., Guimarães, A. G., Carvalho, G. B. M. de, Teixeira Magalhães-Guedes, K., & Izabel Druzian, J. (2019). Cocoa's Residual Honey: Physicochemical Characterization and Potential as a Fermentative Substrate by *Saccharomyces cerevisiae* AWRI726, *The Scientific World Journal*, 2019(1), 5698089, <https://doi.org/10.1155/2019/5698089>
- Li, Q., Xu, H., Yu, Y., & Zheng, Q. (2023). Why does distilled liquor has a soft and harmonious flavor after long-time ageing? A thermodynamic analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*, 123, 105609, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105609>
- Mabohang, R. (2025a). Production and Characterization of Traditionally Distilled Alcohol (Raksi). *International Water and Irrigation*, 44(2), Article 2, <https://doi.org/10.52783/iwi.v44i2.220>

- Mabohang, R. (2025b). Production and Characterization of Traditionally Distilled Alcohol (Raksi). *International Water and Irrigation*, 44(2), 397-419,
<https://doi.org/10,52783/iwi.v44i2,220>
- Mahadewi, A. A. S. M., Putra, G. P. G., & Wrasianti, N. L. P. (2014). Pemanfaatan limbah cairan pulpa hasil samping fermentasi biji kakao sebagai bahan dasar asam asetat dengan proses distilasi. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 2(2), Article 2,
- Mejía, A., Meza, G., Espichán, F., Mogrovejo, J., & Rojas, R. (2021). Chemical and sensory profiles of Peruvian native cocoas and chocolates from the Bagua and Quillabamba regions. *Food Science and Technology*, 41, 576-582,
<https://doi.org/10,1590/fst.08020>
- Motamayor, J. C., Lachenaud, P., Mota, J. W. da S. e, Loor, R., Kuhn, D. N., Brown, J. S., & Schnell, R. J. (2008). Geographic and Genetic Population Differentiation of the Amazonian Chocolate Tree (*Theobroma cacao* L). *PLOS ONE*, 3(10), e3311,
<https://doi.org/10,1371/journal.pone.0003311>
- NTP 210,001, (2012). *Normas Técnicas Peruanas*. INACAL portal.
<http://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas>
- Nunes, C. S. O., da Silva, M. L. C., Camilloto, G. P., Machado, B. A. S., Hodel, K. V. S., Koblitz, M. G. B., Carvalho, G. B. M., & Uetanabaro, A. P. T. (2020). Potential Applicability of Cocoa Pulp (*Theobroma cacao* L) as an Adjunct for Beer Production. *The Scientific World Journal*, 2020(1), 3192585,
<https://doi.org/10,1155/2020/3192585>
- Putra, I. G. G. S. A., Wartini, N. M., & Wrasianti, N. L. P. (2015). Pengaruh suhu dan lama distilasi terhadap rendemen dan karakteristik distilat alkohol dari cairan pulpa hasil

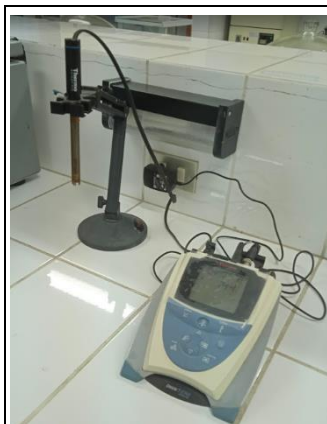
- sampling fermentasi biji kakao. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 3(3), Article 3,
- Rojas, R., Rodríguez, C., Ruiz, C., Portales, R., Neyra, E., Patel, K., Mogrovejo, J., Salazar, G., & Hurtado, J. (2018). *CACAO CHUNCHO DEL CUZCO*.
- Salvatierra, R. A. E., Ruiz Urroz, B. A., & Zeledón Salinas, J. A. (2023). *Aguardiente a partir del mucílago de cacao criollo (Theobroma cacao) como propuesta de utilidad de los subproductos en la Cooperativa "Jorge-Salazar", Departamento de Química, UNAN-Managua en el año 2022*, <https://agris.fao.org/search/en/providers/124713/records/66d9bb5cf995ef9c0425ad5f>
- Schwan, R. F., & Wheals, A. E. (2004). The Microbiology of Cocoa Fermentation and its Role in Chocolate Quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4), 205-221, <https://doi.org/10.1080/10408690490464104>
- Sharma, D., & Sharma, N. (2025). Optimization of fermentation of himalayan black tea beverage using response surface methodology. *LWT*, 229, 118107, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118107>
- Soares, T. F., & Oliveira, M. B. P. P. (2022a). Cocoa By-Products: Characterization of Bioactive Compounds and Beneficial Health Effects. *Molecules*, 27(5), 1625, <https://doi.org/10.3390/molecules27051625>
- Soares, T. F., & Oliveira, M. B. P. P. (2022b). Cocoa By-Products: Characterization of Bioactive Compounds and Beneficial Health Effects. *Molecules*, 27(5), 1625, <https://doi.org/10.3390/molecules27051625>
- Spaho, N., Urošević, I., Urošević, T., & Žulj, M. M. (2025a). Chapter Eight—Application of distillation in alcoholic beverage production. En S. M. Jafari & N. Malekjani (Eds.),

- Mass Transfer Operations in the Food Industry* (pp. 237-282). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819536-9,00007-2>
- Spaho, N., Urošević, I., Urošević, T., & Žulj, M. M. (2025b). Chapter Eight—Application of distillation in alcoholic beverage production. En S. M. Jafari & N. Malekjani (Eds.), *Mass Transfer Operations in the Food Industry* (pp. 237-282). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819536-9,00007-2>
- Takrama, J., Kumi, W. O., Otoo, G., Addo, K., & Camu, N. (2015). *Optimization of Cocoa Pulp Juice Fermentation with Yeast Starter Cultures of Cocoa Heap Fermentations*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Optimization-of-Cocoa-Pulp-Juice-Fermentation-with-Takrama-Kumi/d1b6bdf92397139f2cbba66041244e47d9d4954a>
- Torres, C. A. V., Ocampo, R. D., Rodriguez, W. M., Velasco, R. S., Chang, J. F. V., & Cedeño, C. B. (2016). Utilización del mucílago de cacao, tipo nacional y trinitario, en la obtención de jalea. *Revista ESPAMCIENCIA*, 7(1), 51-58,
- Valenzuela, T. Y. (2025). *Planta industrial de cacao en Quillabamba, en el distrito de Santa Ana, La Convención, Cusco* [Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/399f05f2-138d-4086-8045-141ff82ec9d2>
- Vásquez, Z. S., de Carvalho Neto, D. P., Pereira, G. V. M., Vandenberghe, L. P. S., de Oliveira, P. Z., Tiburcio, P. B., Rogez, H. L. G., Góes Neto, A., & Soccol, C. R. (2019). Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste Management*, 90, 72-83, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.030>
- Vera, J. E. L., Cedeño, N. B. P., & Mera, S. A. V. (2020). Elaboración de vinagre de vino a partir del mucílago y exudado de cacao criollo (theobroma cacao l.): Artículo de revisión bibliográfica. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249,, 3(6), Article 6,

- Villarroel, J. B., Badillo, W. A. M., & Briones, J. B. (2022). Sustainability of the Cocoa Industry: Cocoa Waste Mucilage Use to Produce Fermented Beverages. Case Study in Los Ríos Province | IIEETA. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 17(4), 1147-1152, <https://doi.org/10.18280/ijstdp.170412>
- Vizuite, S. N. M., Valdez, J. A. C., Murillo, L. A. T., Reyes, R. A. R., & Larreta, F. S. G. (2025). Caracterización de los compuestos bioactivos en el mucílago de cacao y sus usos. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo*, 6(14), Article 14, <https://doi.org/10.56519/qcqhkh84>
- Wahaibi, Y. M. A., & Grattoni, C. A. (2007). Physical Properties (Density, Viscosity, Surface Tension, Interfacial Tension, and Contact Angle) of the System Isopropyl Alcohol + Cyclohexene + Water. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 52(2), 548-552, <https://doi.org/10.1021/je060442b>
- Zambare, V., Jacob, S., Din, M. F. M., & Ponraj, M. (2023). Box–Behnken Design-Based Optimization of the Saccharification of Primary Paper-Mill Sludge as a Renewable Raw Material for Bioethanol Production. *Sustainability*, 15(13), 10740, <https://doi.org/10.3390/su151310740>
- Zhunio, B. J. R. (2020). *Evaluación de la actividad antioxidante en el mucílago de cacao (Theobroma cacao L.) Variedades: CCN-51 y nacional.* <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/5931>

ANEXOS

ANEXO 1 Materiales e insumos



ANEXO 2 *Obtención del mucilago (cacao chuncho).*



Anexo 3 *Elaboración de bebida alcohólica destilada del mucilago de cacao*



ANEXO 4 Determinación de destilación de mucilago



Anexo 5 Caracterización fisicoquímica del mucílago de cacao variedad Chuncho



Anexo 6 *Determinación de análisis sensorial por los panelistas*



Anexo 7 Ficha de evaluación sensorial



FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL



Evaluación sensorial de una bebida alcohólica a partir del mucilago de cacao
variedad chuncho (al 10%, 25% y 40% de concentración)

Prueba de aceptación

Fecha: ___ / ___ / ___

Instrucciones:

Estimado(a) evaluador(a):

Por favor, deguste las muestras de la bebida alcohólica destilada a partir de mucilago de cacao.

Antes de iniciar la evaluación, se solicita limpiar su paladar tomando un sorbo de agua.

Evalúe cada muestra considerando los atributos: color, aroma, sabor y aceptabilidad general.

Utilice la siguiente escala hedónica:

1 = No me gusta | 2 = Me disgusta ligeramente | 3 = Me gusta | 4 = Me gusta mucho | 5 = Me gusta muchísimo.

Atributos a evaluar:

Muestra	Color	Aroma	Sabor	Apariencia general
Tratamiento 1				
Tratamiento 2				
Tratamiento 3				
Tratamiento 4				
Tratamiento 5				
Tratamiento 6				
Tratamiento 7				
Tratamiento 8				
Tratamiento 9				
Tratamiento 10				
Tratamiento 11				
Tratamiento 12				
Tratamiento 13				
Tratamiento 14				
Tratamiento 15				

Observaciones adicionales del evaluador:

¡MUCHAS GRACIAS!

ANEXO 8 Resultados obtenidos durante la etapa experimental de la investigación.

Tratamiento	X1 (% mucilago)	X2 (días ferm.)	X3 (°C dest.)	Cont. alcohol (%v)	Acidez titulable (% ác. láctico)	Densidad (g/cm ³)	pH	Sabor (1-5)	Aroma (1-5)	Color (1-5)	Acept. general (1-5)
1	25	11	80	20	0,4	0,977	4,5	2	3	2	2
2	10	7	80	10	0,2	0,995	4	3	2	2	2
3	40	7	80	9,5	0,3	0,994	4	4	2	2	3
4	10	15	80	20	0,25	0,978	5,5	2	3	3	3
5	40	15	80	40	0,05	0,94	5	4	4	5	4
6	10	11	75	25	0,15	0,96	5,5	4	3	3	4
7	40	11	75	30	0,06	0,975	4	3	3	2	3
8	25	11	80	25	0,35	0,966	5	3	2	2	2
9	10	11	85	20	0,2	0,972	4	4	3	2	3
10	40	11	85	10	0,15	0,995	5	5	2	2	3
11	25	7	75	20	0,22	0,98	4	3	3	3	3
12	25	15	75	35	0,08	0,945	5	5	5	4	5
13	25	7	85	15	0,12	0,988	5,5	2	3	2	2
14	25	15	85	25	0,28	0,968	4	3	2	2	2
15	25	11	80	18	0,11	0,993	5	4	3	3	3

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA****ACTA DE SUSTENCIÓN DE LA TESIS:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Optimización de las características fisicoquímicas y sensoriales de la bebida alcohólica destilada obtenida del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad chuncho**Expositor: Javier Abilio Cuadros Palomino****Bachiller en Ingeniería Agroindustrial**

Expediente N° 2660867 Resolución Decanal N° 066-2026-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 20-05-2026

En la Sala de Conferencia "Pedro Villena Hidalgo" de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las once de la mañana con cinco minutos del día viernes veintidós de mayo del año dos mil veintiséis, se reunieron el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **Javier Abilio Cuadros Palomino**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE, Mg. Leidy Diana MEDINA QUIQUIN (Miembros) y Dr. Saul Ricardo CHUQUI DIESTRA (Miembro-Asesor), bajo la Presidencia del Dr. Juan Carlos PONCE RAMIREZ (Presidente encargado con Memorando N° 193-2026-UNSCH-FIQM/D), el Mg. José Alberto CUEVA VARGAS (Secretario-Docente (e)).

Acto seguido, el Presidente (e) del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Optimización de las características fisicoquímicas y sensoriales de la bebida alcohólica destilada obtenida del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad chuncho**, presentado por el Bachiller **Javier Abilio Cuadros Palomino**. A continuación, el Secretario-Docente (e) procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 066-2026-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente (e) del Jurado invitó al Bachiller **Javier Abilio Cuadros Palomino**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de treinta y cinco minutos.

Finalizado la exposición del Bachiller, el presidente (e) invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Dr. Saul Ricardo CHUQUI DIESTRA (Miembro-Asesor), Mg. Leidy Diana MEDINA QUIQUIN y Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE (Miembros).

A continuación, el presidente (e) del jurado invito a la sustentante y al público para que se sirva abandonar la sala de conferencia con la finalidad de permitir al jurado de sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADO POR UNANIMIDAD PROMEDIO DIECISEIS (16)**.


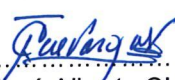
**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA****ACTA DE SUSTENCIÓN DE LA TESIS:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Optimización de las características fisicoquímicas y sensoriales de la bebida alcohólica destilada obtenida del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad chuncho**Expositor: Javier Abilio Cuadros Palomino
Bachiller en Ingeniería Agroindustrial****Expediente N° 2660867 Resolución Decanal N° 066-2026-UNSCH-FIQM/D****Fecha: 20-05-2026**

Finalmente, el Presidente (e) del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la sala de conferencias y anunció que, el Bachiller **Javier Abilio Cuadros Palomino**, ha resultado **APROBADO POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con un flamante **INGENIERO AGROINDUSTRIAL** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las doce del medio día con treinta minutos se dio por finalizado este acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:


.....
Dr. Juan Carlos PONCE RAMIREZ
Presidente (e)
.....
Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE
Miembro
.....
Mg. Leidy Diana MEDINA QUIQUIN
Miembro
.....
Dr. Saul Ricardo CHUQUI DIESTRA
(Miembro-Asesor)
.....
Mg. José Alberto CUEVA VARGAS
(Secretario Docente (e))



UNSCH

FACULTAD DE
**INGENIERIA QUÍMICA
Y METALURGIA**

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

La Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, emite la siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Que, el egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial ha remitido, con el aval y por intermedio de su asesor de la Tesis Dr. Saul Ricardo CHUQUI DIESTRA, se procedió a la evaluación de originalidad del archivo adjunto con el TURNITIN - UNSCH, **de acuerdo a los criterios establecidos en el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**; cuyos resultados son:

Tesis Optimización de las características fisicoquímicas y sensoriales de la bebida alcohólica destilada obtenida del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad chuncho

Nombre y Apellido : Bach. **JAVIER ABILIO CUADROS PALOMINO**
Identificador de entrega : 2985043564
Fecha : 17-jun-2026 11:55a.m. (UTC-0500)
Archivo : TESIS_DE_MUSCILAGO_EPIA.pdf (3.56M)

Se expide la presente constancia de originalidad, con reporte del 6 % de ÍNDICE DE SIMILITUD realizado con Depósito de trabajos estándar, a fin de proseguir con los trámites pertinentes; cabe señalar que los documentos del procedimiento se archivan en el repositorio documental de la Escuela.

Ayacucho, 18 de junio del 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL
DE HUAMANGA
E.P. INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

Ing. Percy Fermín Velásquez Ccosi
DIRECTOR

C.c.
Const. N°005-2026
Archivo

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
Av. Independencia S/N - Ayacucho
Telf. 066-303496
Correo: ep.agroindustrial@unsch.edu.pe

Optimización de las características fisicoquímicas y sensoriales de la bebida alcohólica destilada obtenida del mucílago de cacao (Theobroma cacao L.) variedad chuncho

por Javier Abilio Cuadros Palomino

Fecha de entrega: 17-jun-2026 11:55a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2985043564

Nombre del archivo: TESIS_DE_MUSCILAGO_EPIA.pdf (3.56M)

Total de palabras: 15612

Total de caracteres: 87486

Optimización de las características fisicoquímicas y sensoriales de la bebida alcohólica destilada obtenida del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad chuncho

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
2	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unemi.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	digibuo.uniovi.es Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.upct.es Fuente de Internet	<1%

9

dspace.ups.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

10

repositorio.unas.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

11

dehesa.unex.es

Fuente de Internet

<1 %

12

repositorio.unu.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

13

bdigital.unal.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo