



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

PROYECTO DE TITULACIÓN:

“DESARROLLO DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA TIPO AGUARDIENTE UTILIZANDO MUCÍLAGO DE CACAO Y JUGO DE CAÑA COMO MEZCLAS DE SUSTRATOS ALTERNATIVOS EN LA FERMENTACIÓN”

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del
Título de Ingeniero Agroindustrial

Autores:

Catota Chango Neris Israel
Yugsi Yugsi Digson Daniel

Tutor:

Tanya Negrete Ontaneda


**LA MANÁ-ECUADOR
MARZO-2026**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Catota Chango Neris Israel, con cédula de ciudadanía No. 0503762320, Yugsi Yugsi Digson Daniel, con cédula de ciudadanía No. 0504386947 declaramos ser autores del presente **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: “DESARROLLO DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA TIPO AGUARDIENTE UTILIZANDO MUCÍLAGO DE CACAO Y JUGO DE CAÑA COMO MEZCLAS DE SUSTRATOS ALTERNATIVOS EN LA FERMENTACIÓN”**, siendo Ing. Tanya Negrete Ontaneda MSc, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

La Maná, marzo 12 del 2026



Catota Chango Neris Israel

C.C: 0503762320



Yugsi Yugsi Digson Daniel

C.C: 0504386947

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CATOTA CHANGO NERIS ISRAEL**, identificado con cédula de ciudadanía No. **0503762320** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará, **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“DESARROLLO DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA TIPO AGUARDIENTE UTILIZANDO MUCÍLAGO DE CACAO Y JUGO DE CAÑA COMO MEZCLAS DE SUSTRATOS ALTERNATIVOS EN LA FERMENTACIÓN”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2022 – Agosto 2022

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Aprobación en Consejo Directivo: 16 de marzo del 2026

Tutor: Ing. Tanya Negrete Ontaneda, MSc.

Tema: **“DESARROLLO DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA TIPO AGUARDIENTE UTILIZANDO MUCÍLAGO DE CACAO Y JUGO DE CAÑA COMO MEZCLAS DE SUSTRATOS ALTERNATIVOS EN LA FERMENTACIÓN”**

CLÁUSULA SEGUNDA. – **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por la ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. – Por el presente contrato **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. – OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación de trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias de trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. – El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. – El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. -CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. – Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá casual de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra parte que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de la Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de las tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 30 días del mes de marzo del 2026.



Catota Chango Neris Israel

EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

LA CESIONARIA

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **YUGSI YUGSI DIGSON DANIEL**, identificado con cédula de ciudadanía No. **0504386947** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará, **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“DESARROLLO DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA TIPO AGUARDIENTE UTILIZANDO MUCÍLAGO DE CACAO Y JUGO DE CAÑA COMO MEZCLAS DE SUSTRATOS ALTERNATIVOS EN LA FERMENTACIÓN”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2022 – Agosto 2022

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Aprobación en Consejo Directivo: 17 de marzo del 2026

Tutor: Ing. Tanya Negrete Ontaneda, MSc.

Tema: **“DESARROLLO DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA TIPO AGUARDIENTE UTILIZANDO MUCÍLAGO DE CACAO Y JUGO DE CAÑA COMO MEZCLAS DE SUSTRATOS ALTERNATIVOS EN LA FERMENTACIÓN”**

CLÁUSULA SEGUNDA. – **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por la ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. – Por el presente contrato **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la

República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. – OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación de trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias de trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. – El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. – El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. -CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. – Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá casual de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial,

a la otra parte que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de la Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de las tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 30 días del mes de marzo del 2026.



Yugsi Yugsi Digson Daniel

EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

“DESARROLLO DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA TIPO AGUARDIENTE UTILIZANDO MUCÍLAGO DE CACAO Y JUGO DE CAÑA COMO MEZCLAS DE SUSTRATOS ALTERNATIVOS EN LA FERMENTACIÓN” de Catota Chango Neris Israel; Yugsi Yugsi Digson Daniel de la carrera de Agroindustria, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

La Maná, 12 de marzo del 2026



Tanya Negrete Ontaneda

C.C: 1719264945

TUTORA

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente informe de Investigación de acuerdo a las diapositivas reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Extensión La Maná, Carrera de Agroindustria; por cuanto los postulantes: Catota Chango Neris Israel; Yugsi Yugsi Digson Daniel, con título de Proyecto de Investigación: “**DESARROLLO DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA TIPO AGUARDIENTE UTILIZANDO MUCÍLAGO DE CACAO Y JUGO DE CAÑA COMO MEZCLAS DE SUSTRATOS ALTERNATIVOS EN LA FERMENTACIÓN** ” ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

La Maná, 16 de marzo del 2026

Para consistencia firman:

Rivera Toapanta Evelyn Andrea

C.C: 1717656209

LECTOR 1 (PRESIDENTA)

Casco Topanta Marjorie Gissela

C.C: 0502877525

LECTOR 2 (SECRETARIO)

Guzmán Acán Fabricio Armando

C.C: 0603684788

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profundo agradecimiento a mi tutora de tesis, Tanya Negrete, y a la directora de la carrera de Agroindustria, Tatiana Gavilánez, por su constante acompañamiento, orientación y compromiso a lo largo de este proceso investigativo. Su guía profesional, paciencia y exigencia académica fueron determinantes para el desarrollo y culminación exitosa de este trabajo.

Asimismo, agradezco a los docentes que participaron en mi formación, quienes con entrega y vocación compartieron sus conocimientos y experiencias, contribuyendo de manera significativa a mi crecimiento académico y personal. De igual manera, extiendo mi gratitud a la institución que me acogió durante estos años, por proporcionarme las herramientas, los espacios y las oportunidades necesarias para fortalecer mis competencias y consolidar mi formación profesional. Todo este apoyo ha sido fundamental en la construcción de mi camino académico, el cual llevaré siempre con orgullo en representación de esta casa de estudios.

Neris Catota

Digson Yugsi

DEDICATORIA

Agradezco en primer lugar a Dios por concederme salud, entendimiento y la capacidad necesaria para alcanzar esta meta. Asimismo, expreso mi gratitud a mis padres, cuyo apoyo incondicional hizo posible la consecución de este importante logro en mi vida. De igual manera, agradezco a mis docentes, quienes compartieron sus conocimientos con compromiso y vocación en el aula.

Dedico este logro, en primer lugar, a mis padres, Mélida y José, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida. De manera especial, a mi madre, por su amor incondicional, sus constantes sacrificios y su apoyo inquebrantable durante todo mi proceso de formación académica. A ustedes, gracias por confiar en mis capacidades, incluso en aquellos momentos en los que yo mismo dudé, y por inculcarme el valor del esfuerzo, la perseverancia y la responsabilidad.

Asimismo, expreso mi gratitud a mis hermanos, por su compañía permanente, palabras de aliento y respaldo emocional en cada etapa de este camino. De igual manera, incluyo en esta dedicatoria a mi novia, quien ha representado un apoyo significativo a nivel personal y emocional, brindándome motivación, comprensión y fortaleza en los momentos de mayor exigencia académica.

Finalmente, dedico este logro a mis amistades, quienes contribuyeron de manera positiva con su confianza y mensajes de ánimo, impulsándome a mantener la constancia y el compromiso. Este éxito no es únicamente mío, sino también de todos ustedes, que formaron parte, y mi principal fuente de motivación y moral para no rendirme.

Neris Catota

DEDICATORIA

A mi madre, Lupe, por ser el pilar fundamental de mi vida, por su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos y el apoyo constante brindado a lo largo de todo mi camino académico. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por enseñarme el valor del esfuerzo y por darme siempre lo necesario para alcanzar este objetivo.

A mis hermanos, abuelitos y a todas las personas que hicieron parte de mi vida y ya no están, porque de alguna u otra manera, también me impulsaron a luchar por todo aquello que quería lograr, gracias por que en su momento creyeron en mí.

Digson Yugsi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

TÍTULO: “DESARROLLO DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA TIPO AGUARDIENTE UTILIZANDO MUCÍLAGO DE CACAO Y JUGO DE CAÑA COMO MEZCLAS DE SUSTRATO ALTERNATIVOS EN LA FERMENTACIÓN”

Autores:

Catota Chango Neris Israel

Yugsi Yugsi Digson Daniel

RESUMEN

La presente investigación tuvo con objetivo evaluar el uso del mucílago de cacao (*Theobroma cacao CCN-51*) y el jugo de caña de azúcar como sustratos fermentativos alternativos para la producción de una bebida alcohólica tipo aguardiente el estudio se desarrolló bajo un diseño experimental por mezclas, considerando cinco tratamientos con diferentes proporciones de mucílago y jugo de caña, cada uno con tres repeticiones. La fermentación se realizó mediante el uso de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), monitoreando parámetros fisicoquímicos como pH, °Brix, acidez y grados alcohólicos, durante siete días evaluados, para un posterior proceso de destilación. Los resultados evidenciaron una disminución progresiva de los °Brix y un incremento significativo de los grados alcohólicos, alcanzando valores cercanos al 18%, lo que confirma una fermentación eficiente. Asimismo, se observó diferencias significativas en la acidez y en la concentración de alcoholes superiores, especialmente metanol y acetaldehído, en función de la proporción del mucílago empleada. Se concluye que la combinación 50% de mucílago de cacao y 50% jugo de caña representa una alternativa viable y sostenible para valorización de subproductos agroindustriales porque es la combinación que tanto en rendimiento v/v y °GL la que mejor resultados se obtuvo, con potencial aplicación en la industria de bebidas destiladas.

Palabras claves: concentración, alcoholes superiores, destilación, rendimiento

Technical University of Cotopaxi

EXTENSION LA MANÁ

THEME: "DEVELOPMENT OF AN ALCOHOLIC BEVERAGE TYPE AGUARDIENTE USING COCOA MUCILAGE AND CANE JUICE AS ALTERNATIVE SUBSTRATE MIXTURES IN FERMENTATION"

Authors:

Catota Chango Neris Israel

Yugsi Yugsi Digson Daniel

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the use of cocoa mucilage (*Theobroma cacao*CC-51) and sugarcane juice as alternative fermentative substrates for the production of an aguardiente-type alcoholic beverage. The study was conducted under a completely randomized experimental design by mixtures, considering five treatments with different proportions of cocoa mucilage and sugarcane juice, each with three replicates. Fermentation was carried out using *Saccharomyces cerevisiae*, during which physicochemical parameters such as pH, °Brix, acidity, and alcoholic strength were monitored over a seven-day period, followed by distillation process. The results showed a progressive decrease in °Brix values and a significant increase in alcohol content, reaching levels close to 18%, confirming an efficient fermentation process. Likewise, significant differences were observed in acidity and in the concentration of higher alcohols, particularly methanol and acetaldehyde, depending on the proportion of mucilage and 50% cocoa mucilage and 50% sugarcane juice represents a viable and sustainable alternative for the valorization of agroindustrial by-products, with potential application in the distilled beverages industry.

Keywords: cocoa mucilage, higher alcohols, distillation, yield.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	ix
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	x
AGRADECIMIENTO	xi
DEDICATORIA	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	3
4.1. Beneficiarios Directos.....	3
4.2. Beneficiarios Indirectos	3
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
6. OBJETIVOS.....	5
6.1. Objetivo general.....	5
6.2. Objetivos específicos	5
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS CON RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
8. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
8.1. Generalidades del cacao.....	7
8.1.1. Origen y distribución geográfica	7
8.1.2. Importancia económica y social.....	7

8.1.3.	Tipos de cacao.....	8
8.1.4.	Composición física y química del cacao.....	8
8.1.5.	Cosecha del cacao.....	9
8.1.6.	Coproductos del cacao.....	10
8.2.	Tipos de endulzantes.....	11
8.2.1.	Azúcar blanca.....	11
8.3.	Caña de azúcar.....	11
8.3.1.	Jugo de caña.....	11
8.4.	Levaduras11	
8.4.1.	Saccharomyces cerevisiae.....	12
8.5.	Fermentación alcohólica.....	12
8.6.	Bebida alcohólica.....	12
8.7.	Aguardiente.....	12
8.8.	Biorreactor13	
8.9.	Análisis fisicoquímicos.....	13
9.	HIPÓTESIS.....	13
9.1.	Hipótesis nula.....	13
9.2.	Hipótesis alternativa.....	13
10.	METODOLOGÍA.....	13
10.1.	Ubicación y duración del proyecto.....	13
10.2.	Tipo de investigación.....	14
10.2.1.	Estudio experimental.....	14
10.2.2.	Investigación descriptiva.....	14
10.3.	Diseño experimental.....	15
10.4.	Procedimiento.....	15

10.4.1.	Origen de materia prima	15
10.5.	Materiales y equipos	16
10.6.	Formulación de los tratamientos.....	16
10.6.1.	Levadura añadida (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	17
10.6.2.	Azúcar añadida.....	17
10.6.3.	Rendimiento.....	18
10.7.	Procesos de elaboración para obtención de aguardiente de mucílago de cacao y jugo de cacao	18
10.9.	Análisis fisicoquímicos realizados a la materia prima.....	21
10.9.1.	Determinación del pH.....	21
10.9.2.	Medición de °Brix.....	21
10.9.3.	Medición de grados alcohólicos.....	21
10.9.4.	Medición de acidez por titulación.....	21
10.10.	Análisis fisicoquímicos durante el proceso de fermentación de los tratamientos	21
10.10.1.	°Brix.....	21
10.10.2.	pH.....	22
10.10.3.	Grados alcohólicos.....	22
10.11.	Análisis realizados después de la destilación.....	22
10.11.1.	Grados alcohólicos.....	22
10.11.2.	Determinación alcohol superiores.....	22
10.12.	Análisis estadístico.....	23
11.	RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	24
11.1.	Análisis fisicoquímicos de la materia prima durante la fermentación.....	24
11.1.1.	°Brix.....	25
11.1.2.	pH.....	29

11.1.3.	Grados alcohólicos.....	33
11.1.4.	Acidez.....	36
11.2.	Análisis de los alcoholes superiores después del destilado	40
11.2.1.	Acetaldehído	40
11.2.2.	Metanol.....	44
11.2.3.	I-isopropanol.....	48
11.2.4.	N-propanol	53
11.2.5.	Acetato	56
11.2.6.	I-butanol.....	61
11.2.7.	Iso-amílico	65
11.2.8.	Furfural	69
11.3.	Rendimiento.....	73
11.4.	Impactos (sociales, ambientales, técnicos y económicos)	77
11.4.1.	Social.....	77
11.4.2.	Ambiental.....	77
11.4.3.	Técnico.....	77
11.4.4.	Económicos.....	77
11.5.	Presupuesto77	
12.	CONCLUSIONES	79
13.	RECOMENDACIONES.....	81
14.	REFERENCIAS.....	82
15.	ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas relacionados a los objetivos.	6
Tabla 2: Madurez fisiológica del cacao CCN-51.....	9
Tabla 3: Estructura experimental de la investigación.....	15
Tabla 4: Materias primas, materiales y equipos mediante la obtención de aguardiente.....	16
Tabla 5: Composición de las mezclas de sustratos para cada tratamiento experimental.....	17
Tabla 6: Estructura del análisis de varianza (ANOVA) para el diseño de mezclas.....	23
Tabla 7: Efectos estimados de modelo completo para °Brix	25
Tabla 8: Resultados del modelo completo de °Brix.	25
Tabla 9: ANOVA de °Brix.	26
Tabla 10: Resultados del ajuste del modelo lineal para °Brix.	26
Tabla 11: Efectos estimados de modelo completo para pH.....	29
Tabla 12: Resultados del modelo completo del pH	29
Tabla 13: ANOVA de pH.	30
Tabla 14: Resultados del ajuste del modelo lineal para pH.....	30
Tabla 15: Efectos estimados de modelo completo para °GL.....	33
Tabla 16: Resultados del modelo completo °Gl.	33
Tabla 17: ANOVA de °GL.....	34
Tabla 18: Resultados del ajuste del modelo lineal para °GL.....	34
Tabla 19: Efectos estimados de modelo completo para Acidez.	36

Tabla 20: Resultados del modelo completo.....	37
Tabla 21: ANOVA de Acidez.....	37
Tabla 22: Resultados del ajuste del modelo lineal para Acidez.....	38
Tabla 23: Efectos estimados de modelo completo para Acetaldehído.	40
Tabla 24: Resultados del modelo completo para acetaldehído.....	41
Tabla 25: ANOVA de Acetaldehído.....	41
Tabla 26: Resultados del ajuste del modelo lineal para Acetaldehído.....	42
Tabla 27: Efectos estimados de modelo completo para Metanol.	44
Tabla 28: Resultados del modelo completo.....	45
Tabla 29: ANOVA de Metanol.....	45
Tabla 30: Resultados del ajuste del modelo lineal para Metanol.....	46
Tabla 31: Efectos estimados de modelo completo para I-isopropanol.	49
Tabla 32: Resultados del modelo completo I-isopropanol.	49
Tabla 33: ANOVA de I-isopropanol.....	50
Tabla 34: Resultados del ajuste del modelo lineal para I-isopropanol	50
Tabla 35: Efectos estimados de modelo completo para N-propanol.	53
Tabla 36: Resultados del modelo completo.....	53
Tabla 37: ANOVA de N-propanol.....	54
Tabla 38: Resultados del ajuste del modelo lineal para N-propanol	54
Tabla 39: Efectos estimados de modelo completo para Acetato	57

Tabla 40: Resultados del modelo completo de acetato.....	57
Tabla 41: ANOVA de Acetato.....	57
Tabla 42: Resultados del ajuste del modelo lineal para Acetato	58
Tabla 43: Efectos estimados de modelo completo para I-butanol.....	61
Tabla 44: Resultados del modelo completo.....	61
Tabla 45: ANOVA de I-butanol	62
Tabla 46: Resultados del ajuste del modelo lineal para I-butanol	62
Tabla 47: Efectos estimados de modelo completo para Iso-amílico.....	65
Tabla 48: Resultados del modelo completo de iso-amílico.....	65
Tabla 49: ANOVA de Iso-amílico.....	65
Tabla 50: Resultados del ajuste del modelo lineal para Iso-amílico.....	66
Tabla 51: Efectos estimados de modelo completo para furfural.....	69
Tabla 52: Resultados del modelo completo.....	69
Tabla 53: ANOVA de Furfural.....	70
Tabla 54: Resultados del ajuste del modelo lineal para Furfural.....	70
Tabla 55: Coeficientes estimados del modelo completo para la variable rendimiento.....	73
Tabla 56: Resultados para el modelo completo.....	73
Tabla 57: ANOVA de Rendimiento	74
Tabla 58: Parámetros estimados del modelo lineal para la variable rendimiento.....	74
Tabla 59: Presupuesto para la elaboración del aguardiente.....	78

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Composición física del fruto de cacao.	9
Figura 2: Ubicación geográfica de la Asociación ASOPROCANAM y Guayacán.	15
Figura 3: Elaboración del aguardiente con mucílago de cacao y jugo de caña.	20
Figura 4: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).	27
Figura 5: Grafica de trazas para °Brix.	28
Figura 6: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).	31
Figura 7: Grafica de trazas para pH.	32
Figura 8: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).	35
Figura 9: Grafica de trazas para °GL.	36
Figura 10: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).	38
Figura 11: Grafica de trazas para Acidez.	40
Figura 12: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).	42
Figura 13: Grafica de trazas para Acetaldehído.	43
Figura 14: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).	46
Figura 15: Grafica de trazas para Metanol.	48

Figura 16: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).....	51
Figura 17: Grafica de trazas para I-isopropanol.	52
Figura 18: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).....	55
Figura 19: Grafica de trazas para N-propanol.....	56
Figura 20: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).....	59
Figura 21: Grafica de trazas para Acetato.....	60
Figura 22: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).....	63
Figura 23: Grafica de trazas para I-butanol.	64
Figura 24: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).....	67
Figura 25: Grafica de trazas para Iso-amílico.....	68
Figura 26: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).....	71
Figura 27: Grafica de trazas para Furfural.....	72
Figura 28: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).....	75
Figura 29: Grafica de trazas para Rendimiento.	76

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1: Evidencia fotográfica de la investigación del proyecto. **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 2: Normativa..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 3: Resultados de los análisis de alcoholes superiores. **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 4: Análisis estadístico de los parámetros..... **¡Error! Marcador no definido.**

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto

“Valorización del mucílago de cacao y jugo de caña como sustratos fermentativos para la producción de aguardiente”

Fecha de inicio:	Octubre 2025
Fecha de finalización:	Marzo 2026
Lugar de ejecución:	Laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi
Facultad que auspicia:	Extensión - La Maná
Carrera que auspicia:	Ingeniería Agroindustrial
Proyecto de investigación	“Innovación y sostenibilidad en la industria alimentaria”
Equipo de trabajo:	Catota Chango Neris Israel Yugsi Yugsi Digson Daniel Ing. Tanya Negrete Ontaneda MSc Tutora del proyecto
Área de conocimiento:	Ingeniería, industria y construcción
Línea de investigación:	Procesos tecnológicos, bioquímica, biomateriales, desarrollo y seguridad alimentaria.
Sublínea de investigación:	Biotecnología agroindustrial y fermentativa

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Actualmente, impulsar soluciones sustentables dentro del campo de la agroindustria se ha convertido en interés principal, particularmente en naciones cacaoteras como Ecuador, donde la utilización de los subproductos constituye un desafío. El mucílago de cacao, tradicionalmente considerado como un residuo de baja valorización, ha demostrado tener características relevantes como la presencia de azúcares fermentables, compuestos bioactivos y ácidos orgánicos (Gamez Proaño, 2025).

En relación con los objetivos planteados por ODS (2022), la elaboración del aguardiente a partir del mucílago de cacao no solo permite mitigar el impacto ambiental a consecuencia del desperdicio generado en las fincas cacaoteras, lo cual fomentaría la diversificación de la oferta productiva dentro del sector agroindustrial ecuatoriano. Este tipo de iniciativas genera un valor agregado, y una sostenibilidad ambiental y económica.

A pesar de su potencial, son escasas las investigaciones que han abordado el uso del mucílago de cacao como ingrediente principal para las fermentaciones combinadas con sustratos como el jugo de caña. Por ello se justifica por la innovación tecnológica en el sector agroindustrial, y además al aprovechamiento de subproductos agroindustriales y su contribución científica que presenta a la caracterización del aguardiente. Los datos generados se perfilan como punto de partida para nuevos estudios y abrir nuevas posibilidades de aplicación comercial dentro de la industria alimentaria y bebidas destiladas.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En el panorama actual, pensar en estrategias de economía circular ya no es una opción, sino una necesidad en países como Ecuador, donde la producción del cacao y caña de azúcar es parte esencial de la economía, aún existe una gran dificultad para aprovechar completamente todos los recursos que estos cultivos que generan (Callebaut, 2025). El mucílago de cacao, un subproducto que normalmente se descarta sin considerar su verdadero potencial, a pesar de contener una notable cantidad de azúcares que pueden ser utilizados en procesos de fermentación. De igual manera, el jugo de caña es un sustrato natural abundante que puede complementar estos procesos de forma eficiente y económica (Abonia Cabezas, 2024).

Darle un aprovechamiento a estos subproductos que muchas veces terminan convertidos en desechos y transformarlos en aguardiente a través de la fermentación alcohólica, la cual representa una oportunidad valiosa para producir y reducir impactos ambientales y al mismo tiempo generar productos con valor agregado este enfoque está completamente alineado con los principios de la economía circular ya que promueve el aprovechamiento máximo de cada recurso y disminuye la contaminación generada por la agroindustria (Chesme Rios, 2023).

Además, este proyecto tiene un fuerte impacto social y económico con el fin de aprovechar recursos que hoy en día se desperdicia. Los agricultores y pequeños productores de la Guasaganda podrían contar con nuevas alternativas de ingreso cambiar sus actividades y fortalecer sus emprendimientos locales esto contribuye directamente al desarrollo de sus comunidades y fomenta prácticas de producción más responsables y sostenibles.

En conjunto esta investigación se justifica porque ayuda a reducir el desperdicio agroindustrial e impulsa la innovación tecnológica generando nuevas oportunidades económicas y promoviendo el uso racional y ambiental responsable de los recursos locales.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

4.1. Beneficiarios Directos

Dentro de los beneficiarios directos se incluyen alrededor de 150 estudiantes de la carrera Agroindustria de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná, en conjunto con 6 docentes (cuatro mujeres y dos hombres) relacionados con el área de investigación y desarrollo de alimentos. En el marco de este proyecto se fortalecieron aprendizajes relacionados con los análisis fisicoquímicos y la valorización de subproductos agroindustriales, las cuales fueron aplicados en el desarrollo de un aguardiente elaborado a partir del mucílago de cacao (*Theobroma cacao*), este trabajo permitió que estudiantes y docentes integraran a la teoría y práctica mediante la transformación de residuos en productos con valor agregado fomentando procesos de sostenibilidad dentro del territorio.

4.2. Beneficiarios Indirectos

Los beneficiarios indirectos son 40 pequeños productores de cacao provenientes de la parroquia

Guasaganda, cantón La Maná (23 hombres y 17 mujeres), aquellos se dedican al cultivo de cacao en propiedades familiares con rendimientos variables y poco competitivos en el mercado local, situación que limita sus ingresos económicos y reduce las oportunidades para innovar o diversificar sus actividades productivas.

La investigación ofrece una alternativa viable al proponer la valorización del mucílago de cacao, un subproducto que generalmente se desperdicia, se puede transformar en aguardiente u otros productos con valor agregado. Esta propuesta podría convertirse en una fuente complementaria de ingresos para los productores. Además de promover prácticas sostenibles dentro de sus fincas. De forma indirecta el proyecto también alcanza a las familias de los productores y otros autores de la comunidad que buscan impulsar iniciativas rurales sostenibles, promoviendo el aprovechamiento completo y responsable del subproducto del cacao.

5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A nivel mundial, el cultivo de cacao se lleva a cabo por unos 5 - 6 millones de agricultores, la gran mayoría son pequeños agricultores, superando las 4.368 toneladas anuales, con un rendimiento de 0.4 toneladas por hectárea y unos 11.9 millones de hectárea (Daymond et al., 2022). En América Latina, especialmente Ecuador y Brasil, el cultivo de cacao atraviesa un proceso de expansión impulsado por las proyecciones del incremento de producción mundial, la cual se estimó que la oferta regional aumentaría significativamente durante la temporada 2023 y 2024, con aportes aproximados de 410.000 y 220.000 toneladas, respectivamente a medida que los altos precios internacionales fomentan nuevas plantaciones, este panorama evidencia la necesidad de fortalecer la capacidad agroindustrial de la región para aprovechar de manera sostenible los subproductos del cacao (V. H. Sánchez et al., 2019).

El cacao se posiciona como uno de los cultivos estratégicos dentro de la agricultura con mayor relevancia económica y sociocultural para el Ecuador. En el 2024, el país alcanzó 471.157 toneladas aproximadamente consolidando entre los líderes mundiales en exportación mundial. (Ramón Guanuche et al., 2024).

Sin embargo, Anoraga et al. (2024) menciona que existe un reto persistente dentro de su cadena productiva que es el bajo aprovechamiento del fruto, únicamente el 32% corresponde a la pepa útil

para la industria, mientras que cerca 68% durante las labores de postcosecha, son generados coproductos como la cáscara, la piel blanca de cacao y la placenta, que equivalen a cerca del 52%, 12%, 4% del peso fresco del fruto, respectivamente.

En la parroquia Guasaganda la escasa asistencia técnica y las limitadas oportunidades para acceder a una herramienta de innovación, dificulta que los agricultores puedan aprovechar plenamente los subproductos del cacao y convertir en alternativas de mayor valor comercial (Sánchez Enríquez & Villagómez Masapanta, 2023). Donde la investigación desarrollada busca atender la carencia mediante el diseño y la evaluación global del aguardiente producido a partir del mucílago de cacao, aprovechando su contenido de azúcares fermentables para transformarlos en una bebida destilada de calidad. Con esta propuesta se pretende generar conocimiento aplicable que contribuya al uso sostenible de los coproductos del cacao, promoviendo impactos positivos en lo ambiental, económicos, académico para la zona de Guasaganda - La Maná.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general

- Desarrollar de una bebida alcohólica tipo aguardiente utilizando mucílago de cacao y jugo de caña como mezclas de sustratos alternativos en la fermentación.

6.2. Objetivos específicos

- Formular mezclas de mucílago de cacao y jugo de caña en diferentes proporciones para la fermentación.
- Determinar el rendimiento alcohólico obtenido a partir de cada mezcla fermentada.
- Analizar los parámetros fisicoquímicos del mosto antes y después de la fermentación (pH, °Brix, acidez, alcohol).
- Identificar la proporción óptima del mucílago y jugo de caña para maximizar la calidad y el rendimiento.
- Analizar alcoholes superiores después del destilado.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS CON RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas relacionados a los objetivos.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS	VERIFICACIÓN
<p>Formular mezclas de mucílago de cacao y jugo de caña en diferentes proporciones para la fermentación.</p> <p>Determinar el rendimiento alcohólico obtenido a partir de cada mezcla fermentada.</p> <p>Analizar los parámetros fisicoquímicos del mosto antes y después de la fermentación (pH, °Brix, acidez, alcohol).</p> <p>Identificar la proporción óptima del mucílago y el jugo de caña para maximizar la cantidad y el rendimiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Preparación de la materia prima: mucílago de cacao y jugo de caña. • Adición de endulzantes. • Medición de grados alcohólicos al inicio y al final de la fermentación. • Medición de cada parámetro fisicoquímico. • Comparación de los valores obtenidos entre tratamientos. • Selección de la formulación con mayor rendimiento y grados alcohólicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento con distintos porcentajes de mucílago y jugo de caña. • Rendimiento alcohólico diferente. • Valores cuantitativos de los principales parámetros. • Mezcla con mejor desempeño fermentativo, destacándose por su mayor conversión de azúcares en alcohol. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fotografía • Formulación. • Hojas de control de grados alcohólicos medidos al inicio y al final de la fermentación. • Registro del proceso fermentativo. • Matriz comparativa de rendimientos entre tratamientos.

Elaborado por: Catota & Yugsi (2025)

8. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

8.1. Generalidades del cacao

8.1.1. Origen y distribución geográfica

La palabra cacao tiene origen del término maya “kakawa”, cuyo significado es “alimento de los dioses”; en la actualidad este producto es ampliamente consumido a escala mundial gracias a sus propiedades nutricionales, beneficios para la salud y alto valor energético (Anecacao, 2023). Se considera que el cacao tuvo origen en la región amazónica hace 4.000 años, abarcando territorios que actualmente corresponde a Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil. A través de la migración indígena se expandió desde Sudamérica hasta México (FEN, 2024).

En condiciones naturales, las especies del género *Theobroma* se desarrolla en los niveles inferiores de las selvas húmedas de América tropical y se desarrollan de manera mejor entre los 18° N y 15° S del Ecuador a altitudes inferiores de 1,250 msnm (González-Ruíz, 2019). La mayor concentración de la producción de cacao en Ecuador se localiza en sus 24 provincias, especialmente en las provincias del Litoral (Los ríos, Guayas, Manabí, Esmeraldas y El Oro), además se produce como “cultivo solo” (CEPAL, 2015).

Mediante un proyecto desarrollado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca impulsó la reactivación del cacao fino de aroma para impulsar la economía campesina de los pequeños agricultores en la provincia de Cotopaxi especialmente en el cantón La Maná (MAGAP, 2017).

8.1.2. Importancia económica y social

En la historia de la economía nacional del Ecuador el cacao es el tercer producto agrícola más importante, después de la floricultura y cultivo de banana, representa la base de la economía familiar campesina y de las estribaciones de la Cordillera de los Andes (Vargas Mendoza et al., 2020).

8.1.3. Tipos de cacao

- **Criollo o nativo:** Fue bautizado por los españoles al llegar a México, es cultivada en Perú, Venezuela, Honduras, Colombia, Ecuador Nicaragua, entre otras (FEN, 2024). Es reconocido como de gran calidad es dulce y de aroma intenso, empleado en la producción de chocolates de calidad superior. Sin embargo, es de escaso rendimiento y mayor susceptible a plagas y enfermedades. La producción representa el 10% a nivel mundial (Vargas Mendoza et al., 2020)
- **Forastero o campesino:** En originario del Amazona, Brasil produce cacao amargo y de color morado, además representa 80% de la producción mundial (World Relief, 2013).
- **Trinitario o híbrido:** Se originó en la Isla de Trinidad, surge del cruce del cacao criollo y forastero (Callebaut, 2025).

Ecuador se caracteriza por producir dos variedades de cacao: Cacao arriba / fino de aroma valorada por su calidad única y CCN-51 presenta mayor rendimiento y resistencia, estos han sido modificadas genéticamente (Agrocalidad, 2021).

8.1.4. Composición física y química del cacao

Fruto del cacao

El fruto del cacao, llamado también mazorca o baya, proviene del árbol *Theobroma cacao*. se trata de una estructura carnosa y comestible que alberga en su interior las semillas de cacao, las cuales constituyen la materia prima fundamental para elaborar chocolate y diversos productos derivados (Acosta Acosta, 2023)

Partes del fruto de cacao

- **Exocarpio:** Corresponde a la capa más extrema y resistente de la vaina, cuya superficie irregular o nudosa actúa como barrera protectora de la totalidad del fruto (Torres, 2023).
- **Mesocarpio:** Esta ubicado en la parte inferior del exocarpio con una textura fuerte que soporta a la vaina (Tonato Chica, 2017).

- **Endocarpio:** Constituye la capa más interna del pericarpio, situada inmediatamente después del mesocarpio, y representa la última envoltura que envuelve directamente a los granos de cacao y la pulpa (Rosero Laguna & Toapanta Chancusig, 2008).
- **Pulpa:** Es una capa de consistencia mucilaginosa y color blanquecino, formada por tejido parenquimatoso, que cubre los granos y se elimina únicamente después de la fermentación. (Álava Zambrano, 2020) (Ver Figura 1).

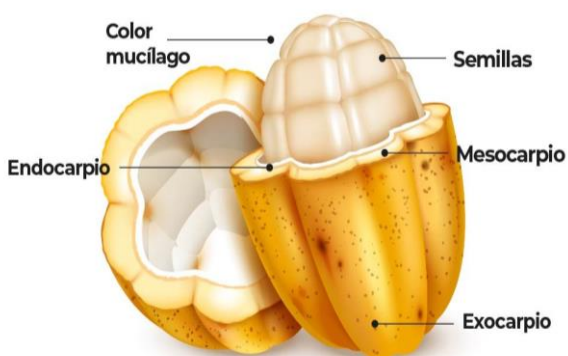







Figura 1: Composición física del fruto de cacao.

Fuente: (Vega-González et al., 2024)

8.1.5. Cosecha del cacao

Tabla 2: Madurez fisiológica del cacao CCN-51.

Estado	Edad del fruto (ddf)	Escala de color visual
 Verde	90-140	Verde inmenso, firme completamente inmaduro
 Verde amarillo	120-140	Verde suave, aún inmaduro

	140-150	Mezcla de amarillo/naranja
Pintón		
	150-170	Rojo inmenso o amarillo profundo (según su variedad)
Maduro		
	170 + más días	Rojo oscuro, marón rojizo o amarillo opaco, comienza reblandecimiento.
Semimaduro		

Fuente: (Heredia-Gómez et al., 2020).

8.1.6. Coproductos del cacao

Durante el procesamiento del cacao se generan coproductos, los cuales corresponden a materiales adicionales obtenidos simultáneamente con el producto principal. El mucílago de cacao es una masa viscosa el tono blanco a amarillento que cubre las semillas de *Theobroma cacao*. Asimismo, presenta un contenido de humedad muy elevado entre 80-90 lo que le da una textura fluida y facilita su separación durante el proceso de extracción (Baño Baño, 2025).

Sin embargo, los recientes avances de en la investigación agroindustrial han proporcionado al mucílago de cacao como un coproducto con gran potencial para la elaboración de alimentos fermentados este material ha colaborado de gran relevancia gracias a la presencia natural del potasio y calcio además ácidos orgánicos y pectinas en conjunto estos elementos se otorgan un perfil nutricional y funcional destacando que lo convierte en un recurso valioso (Buenaño Suárez et al., 2025).

8.2. Tipos de endulzantes

8.2.1. Azúcar blanca

Dentro de los edulcorantes más utilizados, el azúcar blanca o sacarosa es un disacárido formado por glucosa y fructosa, obtenido principalmente de la caña de azúcar y de la remolacha azucarera. Para su consumo, el azúcar refinada tiene que pasar por un proceso de purificación mecánica usualmente por centrifugación, con la finalidad de eliminar impurezas y melaza lo que le da su característico color blanco y un alto grado de pureza, su composición es prácticamente hidratos de carbono simples aportando energía rápida al organismo aunque carece de vitaminas minerales y otros nutrientes por su capacidad de endulzar su disponibilidad durante todo el año, el azúcar blanca es ampliamente utilizada en la cocina y la industria alimentaria (EFSA, 2010).

8.3. Caña de azúcar

Entre los cultivos azucareros más importante se encuentra la caña de azúcar, una planta herbácea tropical del género *Saccharum*, reconocida por sus tallos altos fibrosos y ricos en jugo azucarado, es una de las principales especies empleadas en la producción de azúcar etanol, panela y otros derivados, su elevado contenido de sacarosa y su adaptación a climas cálidos (OCDE/FAO, 2025).

8.3.1. Jugo de caña

El jugo de caña es un líquido dulce extraído mecánicamente del tallo de caña de azúcar, este jugo es distinguida por el elevado contenido de sacarosa, minerales, vitaminas y compuestos aromáticos que otorgan su sabor característico. Además, esta materia prima es utilizado como bebida natural, panela, miel; así también para productos fermentados y destilados (Britcham, 2024).

8.4. Levaduras

Las levaduras son microorganismos unicelulares pertenecientes al grupo de los hongos y por lo general se multiplican de forma asexual mediante gemación. Sus células presentan una forma ovalada con una dimensión aproximado de 4 a 5 μm . En estas células contienen proteínas glicoproteínas polisacáridos lípidos y ácidos nucleicos. Las levaduras del género *Saccharomyces*, desempeñan un papel esencial en la fermentación alcohólica ya que producen enzimas que catalizan la transformación de los azúcares presentes en etanol y CO_2 (NTN 03008-13, 2013).

8.4.1. *Saccharomyces cerevisiae*

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es ampliamente utilizada en procesos de fermentación anaeróbica, gracias a su eficiencia para generar enzimas (α -galactosidasa), que permite transformar los azúcares en etanol y CO₂, esta especie posee un genoma relativamente compacto, distribuido en 16 cromosomas que reúnen alrededor de 6.000 genes o marcos de la lectura abierta (ORFs). tanto que el carbono como el nitrógeno son esenciales para el desarrollo de organismos unicelulares, y esta levadura puede utilizar diferentes compuestos como fuente de nitrógeno. Entre ellos algunos resultan más favorables como la glutamina y la asparagina (Ortega Franco, 2024).

8.5. Fermentación alcohólica

Se trata de un mecanismo que desarrolla sin presencia de oxígeno y que es ejecutada por diversos microorganismos *Saccharomyces cerevisiae* los cuales convierten los azúcares simples en etanol y gas carboxílico (Campoverde, 2017).

8.6. Bebida alcohólica

Según Shipman (2025) define que una bebida alcohólica es un producto adecuado para la ingesta humana, lo cual posee un porcentaje de alcohol entre 2,4 grados y carece de propiedades curativas o medicinales.

8.7. Aguardiente

El licor es un tipo de bebida alcohólica que se produce mediante un proceso de fermentación y posteriormente la destilación, lo que concentra compuesto de responsables para el aroma y el sabor característico (NTE INEN 362-5, 2014).

Según Calle Alvarado (2017) el término aguardiente abarca todas las bebidas destiladas que contiene entre el 29 y 40 grado de alcohol y que pueden consumirse puras añejadas aromatizadas o combinadas con otros ingredientes. Estas bebidas se producen destilando vinos o materias primas como cereales frutas o semillas. Su nombre proviene de latín *aqua ardens*, utilizada para referirse al alcohol obtención mediante la destilación.

8.8. Biorreactor

Un biorreactor también llamado fermentador es un recipiente diseñado para cultivar microorganismos en condiciones controladas su estructura permite realizar una mezcla uniforme, con un ambiente adecuado para el desarrollo microbiano beneficiando la obtención del compuesto deseado (Moreira Mata, 2019).

8.9. Análisis fisicoquímicos

El análisis físico químico constituye una herramienta integral que cambia fundamentos de la física y la química para caracterizar el detalle las propiedades de una sustancia. En el ámbito agroalimentario estos análisis adquieren gran relevancia, debido a que permiten determinar la composición molecular de los productos y obtener información esencial para el control y evaluación. Su capacidad para describir con precisión los componentes y comportamientos de un alimento los convierte en un elemento clave para la gestión de la calidad y la seguridad sanitaria de los alimentos a lo largo de toda la cadena productiva (CTSA, 2023).

9. HIPÓTESIS

9.1. Hipótesis nula

La combinación entre el subproducto de cacao (mucílago) y jugo de caña con distintas concentraciones, no afecta significativamente las propiedades fisicoquímicas de la bebida fermentada destilada.

9.2. Hipótesis alternativa

La combinación entre el subproducto de cacao (mucílago) y jugo de caña con distintas formulaciones, afecta significativamente las propiedades fisicoquímicas de la bebida fermentada destilada.

10. METODOLOGÍA

10.1. Ubicación y duración del proyecto

El desarrollo metodológico se contempló en dos fases, la primera se efectuó con la recolección del

subproducto de cacao (mucílago de cacao) y jugo de caña. Este procedimiento tuvo lugar en las plantaciones cacaoteras (CCN-51) de ASOPROCANAM ubicada en la parroquia Guasaganda, cantón La Maná, y en la parroquia El tingo la esperanza, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi. En la segunda fase se llevó a cabo el proceso de desarrollo y fermentación de las combinaciones de manera artesanal. En el transcurso de la fermentación se llevó a cabo un monitoreo de la evolución de los parámetros fisicoquímicos y el comportamiento del ciclo de fermentación, una vez culminado el proceso fermentativo se procedió al proceso de destilado, las actividades se llevaron a cabo en el laboratorio de Agroindustria de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná. Además, se determinaron alcoholes superiores mediante cromatografía de gases en las instalaciones de Compañía Azucarera Valdez S.A. El proyecto de investigación tuvo una duración de cuatro meses (Octubre 2025 - Marzo 2026), comprendiendo la totalidad del proceso, desde la recolección y recepción de los sustratos fermentativos hasta el análisis del producto final.

10.2. Tipo de investigación

10.2.1. Estudio experimental

El análisis experimental se caracteriza en la manipulación de uno o más factores independientes para medir los impactos que se generan durante el transcurso del proyecto.

Este estudio consistió en el de una bebida fermentada tipo aguardiente a partir del subproducto de cacao (mucilago de cacao) y jugo de caña. Para ello, se manipularon variables fundamentales del proceso fermentativo como el tiempo, la cantidad y viabilidad de la levadura y las concentraciones de las mezclas. De esta manera permite evaluar de manera directa cómo cada factor influye en la producción del alcohol, la eficiencia fermentativa y la calidad del destilado obtenido.

10.2.2. Investigación descriptiva

Este método de investigación busca describir sistemática las características que se obtuvieron en el proyecto. Bajo estas condiciones, la investigación descriptiva busca registrar las características fisicoquímicas (°Brix, pH, % acidez y % alcohol) y tecnológicas (tipo de alcohol) que se presentaron durante la fermentación y el destilado.

10.3. Diseño experimental

En el estudio para optimizar los factores determinados se realizó un diseño experimental de mezclas binarias con 2 componentes (mucílago de cacao y jugo de caña) y 5 formulaciones experimentales con componentes y mezclas puros. Se establecieron los siguientes tratamientos:

Tabla 3: Estructura experimental de la investigación.

Tratamiento	Componente 1	Componente 2
1	0 % Mucílago de cacao	100 % Jugo de caña
2	100 % Mucílago de cacao	0 % Jugo de caña
3	75 % Mucílago de cacao	25 % Jugo de caña
4	50 % Mucílago de cacao	50 % Jugo de caña
5	25 % Mucílago de cacao	75 % Jugo de caña

Donde: T: Tratamientos (T₁-T₅); T₁: (100% mucílago de cacao); T₂: (100% jugo de caña); T₃: (75% jugo de caña + 25% de mucílago de cacao); T₄: (50% jugo de caña + 50% mucílago de cacao); T₅: (25% de jugo de caña + 75% mucílago de cacao).

Elaborado por: Catota & Yugsi (2025)

10.4. Procedimiento

10.4.1. Origen de materia prima

El mucílago de cacao CCN-51 se obtuvo de la Asociación ASOPROCANAM ubicada en la provincia de Cotopaxi, cantón La Maná, parroquia Guasaganda, recinto El Copal.



Figura 2: Ubicación geográfica de la Asociación ASOPROCANAM y Guayacán.

Fuente: (Google Maps, 2025)

El jugo de caña se obtuvo del predio de Don Wilo Jacome localizada en la provincia de Cotopaxi, cantón Pujilí, parroquia Tingo la Esperanza, recinto Guayacán.

10.5. Materiales y equipos

Como nos detalla en la tabla 4 se puede identificar los equipos, materiales y materia prima utilizados para la obtención de aguardiente a partir de mucílago de cacao y jugo de caña.

Tabla 4: Materias primas, materiales y equipos mediante la obtención de aguardiente.

Materia prima	Materiales	Equipos
Mucílago de cacao	Recipientes de 4 L con llave	Balanza
Jugo de caña	Mangueras	Refractómetro de brix
Azúcar blanca	Botellas de plástico	Refractómetro de alcohólicos
Agua potable	Vaso de precipitación de 1000 mL	Potenciometro
Levadura	Jarras plásticas de 4 L	

Elaborado por: Catota & Yugsi (2025)

10.6. Formulación de los tratamientos

Para el estudio se emplearon 15 biorreactores fabricados a partir de envases plásticos de 4000 ml los cuales contaban con llaves de drenaje en la parte intermedia del recipiente. Con el objetivo de mantener un ambiente anaeróbico controlado, cada biorreactor fue sellado herméticamente y acoplado a una trampa de agua realizada de forma casero, dicho mecanismo compuesto por una manguera flexible en una botella con agua, permitiendo la evacuación del dióxido de carbono generado durante el experimento fermentativo lo cual se previno el aumento de presión del interior del biorreactor.

Para la elaboración y previa obtención de aguardiente se utilizó:

- **Mucílago de cacao:** Es una capa mucilaginososa, rica en azúcares y pectinas que recubren las semillas frescas, fundamental para iniciar la fermentación y servir como sustrato a los microorganismos fermentadores, principalmente para levaduras y bacterias (Sarabia-Guevara et al., 2025).

- **Jugo de caña:** Líquido azucarado obtenido al prensar al tallo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), compuesto principalmente por sacarosa, utilizado como materia prima para obtención de azúcar y biocombustibles (Salgado-García et al., 2016).

Tabla 5: Composición de las mezclas de sustratos para cada tratamiento experimental.

T	Materia prima	Codificación	Cantidad de mucílago de cacao (mL)	Cantidad de jugo de caña (mL)
T ₁	Mucílago de cacao	999	3000	0
T ₂	Jugo de caña	100	0	3000
T ₃	Mucílago de cacao + jugo de caña	752	2250	750
T ₄	Mucílago de cacao + jugo de caña	505	1500	1500
T ₅	Mucílago de cacao + jugo de caña	257	750	2250

Donde: T: Tratamientos (T₁-T₅); 999: (100% mucílago de cacao); 100: (100% jugo de caña); 752: (75% jugo de caña + 25% mucílago de cacao); 505: (50% jugo de caña + 50% mucílago de cacao); 257: (25% caña de azúcar + 75% mucílago de cacao).

Elaborado por: Catota & Yugsi (2025)

10.6.1. Levadura añadida (*Saccharomyces cerevisiae*)

Cantidad determinada en base a investigaciones realizadas recomiendan en uso de 0.04% por cada 1000 mL de solución o mezcla. Para los 3000 mL de mezcla empleada por tratamiento, se aplicó la siguiente conversión: $1000 \text{ mL} * 0,04\% = 0,4 \text{ gramos}$ (Zambrano Rosado, 2021).

- $3000 \text{ mL} * 0,04\% = 1,2 \text{ gramos}$

10.6.2. Azúcar añadida

Para tener una fermentación correcta se debe igualar los grados brix al mismo porcentaje en todos los tratamientos.

$$\text{Azúcar añadida} = \frac{\text{Mj}(\text{Bd} - \text{Ba})}{100 - \text{Bd}}$$

(Solís et al., 2021)

Donde:

- **Mj:** Medida del jugo.
- **Bd:** °Brix deseados.
- **Ba:** °Brix actuales.

10.6.3. Rendimiento

El rendimiento indica cuanto se aprovechó realmente de lo que se esperaba obtener en un proceso:

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{\text{Materia que sale}}{\text{Materia que entra}} * 100$$

(Cáceres Novillo, 2022)

10.7. Procesos de elaboración para obtención de aguardiente de mucílago de cacao y jugo de cacao

• **Recepción de materia prima**

En primer lugar, se llevó a cabo la recolección y recepción de las materias primas; mucílago de cacao y jugo de caña, luego fueron trasladados al laboratorio en donde se colocó en las mesas de trabajo para sus posteriores procesos.

• **Filtrado**

Se realiza el filtrado de la materia prima; mucílago de cacao, jugo de caña a través de un tamiz con la finalidad de eliminar toda impureza presente.

- **Formulación**

Realizado los cálculos correspondientes se procede a las dosificaciones para realizar la formulación de los tratamientos.

- **Fermentación**

La fermentación se realizó en una temperatura constante con temperatura que oscila entre 20-21 °C. En lo cual se observó una disminución de °Brix y una elevación en los grados alcohólicos.

- **Destilación**

Se procede a realizar la destilación cuando tenemos estabilidad en los parámetros fisicoquímicos que se midieron durante la fermentación.

- **Envasado**

Después del respectivo destilado se realizó el embotellado en botellas de vidrio previamente esterilizadas para mantener sus condiciones organolépticas.

- **Almacenamiento**

Se almacena en un lugar fresco y seco para después realizar sus respectivos análisis fisicoquímicos.

10.8. Diagrama de elaboración para la obtención de aguardiente a base de mucílago de cacao y jugo de caña

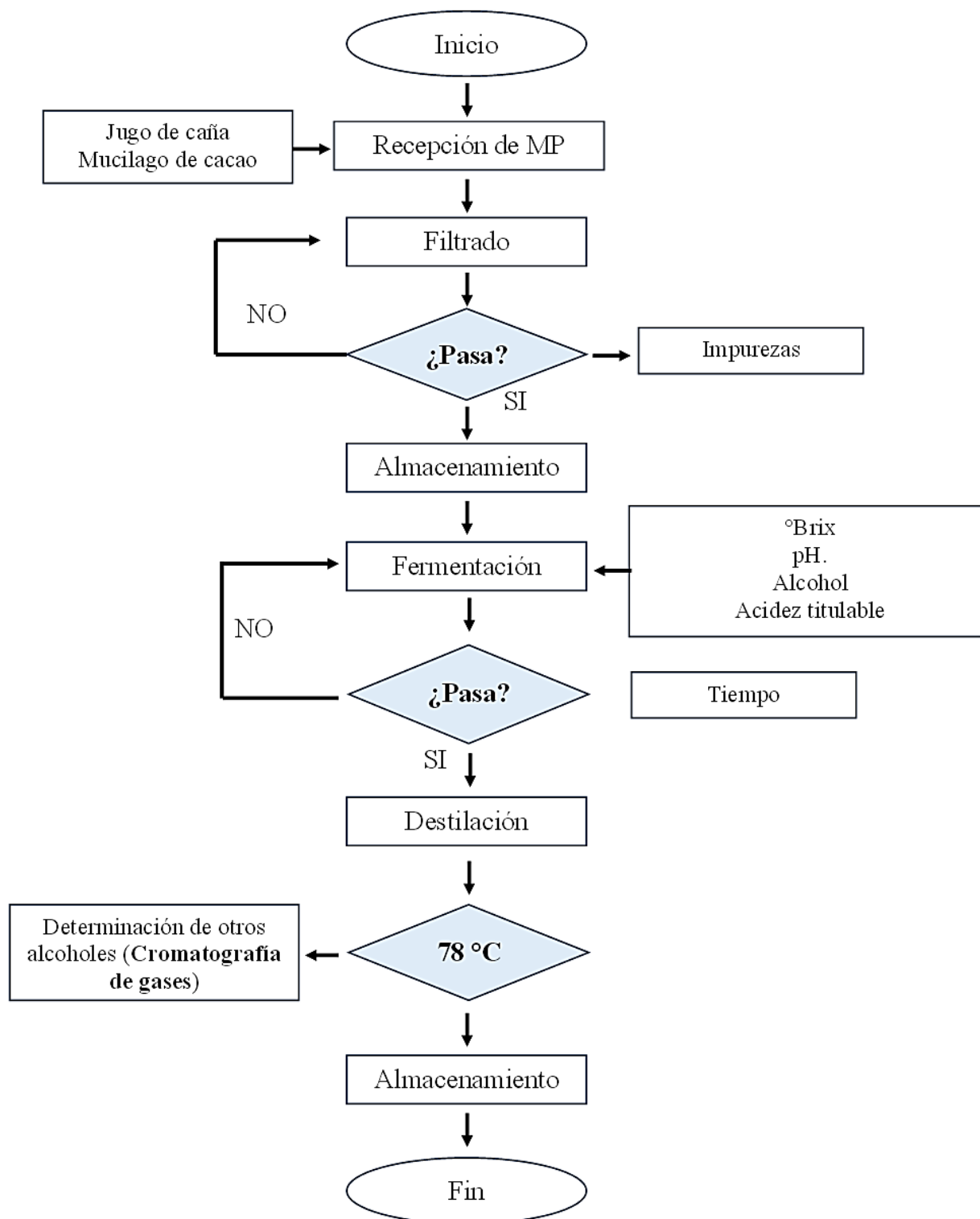


Figura 3: Elaboración del aguardiente con mucílago de cacao y jugo de caña.
Elaborado por: Catota & Yugsi (2025)

10.9. Análisis fisicoquímicos realizados a la materia prima

10.9.1. Determinación del pH

Para la determinación del pH se llevó a cabo utilizando un multiparámetro el cual fue calibrado previamente con soluciones buffer para garantizar la precisión y confiabilidad en los datos obtenidos (Álava Zambrano, 2020).

10.9.2. Medición de °Brix

El contenido de los sólidos solubles (°Brix) fue determinado utilizando un refractómetro (ATC±0,5%). Para el análisis, se colocó una gota del sustrato sobre el prisma del equipo que fue previamente calibrado con agua destilada, expresando los resultados en °Brix (Toledo, 2025).

10.9.3. Medición de grados alcohólicos

La determinación del contenido de alcohol en los sustratos se realizó mediante un refractómetro de alcohol (ATC±0,5%). Se depositó una gota del sustrato sobre el prisma del equipo previamente calibrado con agua destilada, y los resultados se expresaron en grados alcohólicos (Goya Baquerizo, 2013).

10.9.4. Medición de acidez por titulación

La medida de acidez se realizó mediante el método de titulación ácido-base, utilizando una solución de sustrato con hidróxido de sodio como titulante y fenolftaleína como indicador visual del punto de equilibrio (Goya Baquerizo, 2013).

10.10. Análisis fisicoquímicos durante el proceso de fermentación de los tratamientos

10.10.1. °Brix

Los grados Brix (°Brix) representan la concentración de azúcares presentes en la mezcla de los sustratos. Esta determinación se realizó mediante un refractómetro (ATC±0,5%), expresando los resultados en porcentajes (%), la cual permite estimar la cantidad de azúcares disueltos en el medio, un aspecto clave para el proceso de fermentación alcohólica (Paguay Cuvi, 2022).

10.10.2. pH

La medición del pH durante la fermentación para obtención de aguardiente se llevó a cabo mediante un multiparámetro (STIRRER, PL-700PC), la cual se encuentra equipado con un electrodo potenciométrico de vidrio, previamente calibrado. Las muestras se tomaron directamente del medio de fermentación y se analizaron por triplicado (Paguay Cuvi, 2022).

10.10.3. Grados alcohólicos

La determinación del contenido de alcohol durante la fermentación de los sustratos para la obtención de aguardiente se realizó con un refractómetro de alcohol (ATC) en el cual se dosifico una gota de la muestra en el prisma el cual nos da los resultados en % de alcohol (López et al., 2013).

10.11. Análisis realizados después de la destilación

10.11.1. Grados alcohólicos

La determinación del contenido de alcohol después de la destilación de los tratamientos se realizó en un densímetro (DMA 4500 M) el cual nos determina grados de alcohol exactos y nos da los resultados en % de alcohol (NTE INEN 340, 2014).

10.11.2. Determinación alcohol superiores

La determinación cuantitativa de los alcoholes superiores presentes en las muestras, en los cuales resaltan: acetaldehído, metanol, isopropanol, n-propanol, acetato de etilo, isobutanol, isoamílico y furfural; se llevó a cabo utilizando el método de cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID). Este método es considerado una referencia internacional para la caracterización de compuestos volátiles en bebidas alcohólicas debido a su elevada sensibilidad, precisión y capacidad de separación.

Para realizar este análisis se utilizó un sistema cromatográfico Agilent Technologies 789BGC System en el cual previamente al análisis se efectuó la preparación de las muestras en probetas de 40 mL a cada probeta se le adiciono 1 mL de patrón interno 1-butanol, sustancia que no permite desviaciones instrumentales mejorando la exactitud, se transfiere 1,5 mL de volumen hacia los

viales cromatográficos los cuales se colocan en el automuestrador del cromatógrafo, lo cual permitió registrar picos altamente definidos a través de curvas de calibración preparados con estándares certificados, los resultados se expresan en mg/100 mL de cada muestra analizada (Ceballos Magaña, 2007).

10.12. Análisis estadístico

Los datos experimentales fueron realizados estadísticamente con el software Statgraphics Centurión, aplicando un análisis de varianza dentro de un diseño de mezclas, lo que permitió analizar el comportamiento de los factores evaluados y su efecto sobre la variable respuesta. Se ajustaron los modelos de regresión (lineal, cuadrático y cúbico) y se evaluó su significancia estadística mediante análisis de varianza (ANOVA) para cada componente del modelo, permitiendo identificar si las variaciones observadas son atribuibles de manera significativa a los efectos lineales, cuadráticos o cúbicos de los factores.

Bajo un nivel de significancia de $\alpha=0,05$ ($p<0,05$) se llevó a cabo el análisis estadístico. Así mismo antes de la aplicación del modelo estadístico se evaluaron los supuestos de normalidad de residuos y homogeneidad de varianzas asegurando así la validez de los resultados obtenidos. Cuando el ANOVA evidencio diferencias estadísticamente significativas, en los componentes del modelo, se procedió interpretar los coeficientes estimados y la superficie de respuesta.

Tabla 6: Estructura del análisis de varianza (ANOVA) para el diseño de mezclas.

Fuente de variación		Grado de libertad
Modelo lineal	M	1
Modelo cuadrático	M	1
Modelo cúbico	M	1
Error experimental	N- (N.M)	11
Total	N-1	14

Donde: N: número total de observaciones experimentales; r: 3 repeticiones; c: 5 componentes; N: ($c \times r$); N: (5×3); N:15; M: modelo; M= (1)

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

10.12.1. Significación estadística

Desde el punto de vista estadístico, el coeficiente de variación (CV) expresa la magnitud de la variabilidad de los datos en relación con su media permitiendo evaluar la precisión del experimento, el cual, en la mayoría de los casos, no debería superar el 20%. Debe ser mucho menor (alrededor del 5%) cuando se está ensayando bajo condiciones controladas, como en laboratorios o invernaderos y alrededor del máximo aceptable cuando se está experimentando con animales u otras unidades experimentales de mayor variabilidad intrínseca y en el campo valores altos de coeficiente de variación (resultado de una variabilidad de los datos) esto no estaría sustentando un análisis genuino de los tratamientos ni, en consecuencia, la fiabilidad de los hallazgos del experimento en su conjunto.

$$CV = \frac{\sqrt{CM_{\text{ERROR}}}}{\bar{X}} \times 100$$

(Sánchez, 2018)

- CM_{ERROR} = Cuadro de medio Intra grupos (error)
- \bar{X} = Media general

11. RESULTADO Y DISCUSIÓN

11.1. Análisis fisicoquímicos de la materia prima durante la fermentación.

El análisis estadístico fue obtenido mediante ANOVA (análisis de mezcla) al 95%, donde reveló que los factores de tratamiento y tiempo presentaron efectos significativos ($p < 0,05$) sobre los °Brix, pH, grados alcohólicos y acidez; obtenidos durante diferentes días (1 – 13 días) de fermentación, las muestras fueron tomadas en diferentes tiempos.

A continuación, se presenta y discuten los resultados fisicoquímicos del tipo aguardiente:

11.1.1. °Brix

Tabla 7: Efectos estimados de modelo completo para °Brix

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Media	8148,81	1	8148,81		
Bloques	2309,52	6	384,921	195,79	*
Lineal	73,219	1	73,219	59,46	*
Cuadrático	28,7891	1	28,7891	30,49	*
Cúbico	4,87619	1	4,87619	5,40	*
Error	85,7823	95	0,902972		
Total	10651,0	105			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la

Tabla 7 se presenta el análisis de varianza para el modelo completo de °Brix. Los resultados muestran que todos los efectos evaluados son estadísticamente significativos, los bloques demuestran un efecto altamente significativo ($F=195,79$; $p<0,05$) indicando una variabilidad importante entre ellos. Asimismo, los componentes polinomiales resultaron significativos: lineal ($F=59,46$; $p<0,05$), cuadrático ($F=30,49$; $p<0,05$) y cúbico ($F=5,40$ y $p<0,05$), lo que evidencia una relación compleja y no lineal entre la variable independiente y los °Brix. Por otro lado, el error experimental es bajo ($SC=85,78$) confirmando un adecuado ajuste del modelo a los datos observados.

Tabla 8: Resultados del modelo completo de °Brix.

Modelo	Error estándar (SE)	R-cuadrado	R-cuadrado ajustado
Lineal	1,10969	95,23	94,88
Cuadrático	0,971782	96,38	96,07
Cúbico	0,950248	96,57	96,25

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Tabla 8 se puede observar los indicadores de bondad de ajuste para los medios lineal, cuadrático y cúbico aplicados a los °Brix. En donde los resultados presentan una mejora progresiva en el ajuste a medida que aumenta su complejidad. El error estándar (SE) disminuye de 1,10969

en el modelo lineal a 0,950248 en el cúbico, mientras que el R^2 ajustado se incrementa de 94,88 % a 96,25 %. Aunque el modelo cuadrático ya explica un alto porcentaje de variabilidad (R^2 ajustado de 96,07 %), el modelo cúbico presenta el mejor ajuste, menor error estándar y mayor coeficiente de determinación, confirmando que la inclusión del término cúbico mejora ligeramente la capacidad predictiva del modelo para describir el comportamiento de los °Brix.

Tabla 9: ANOVA de °Brix.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo lineal	2382,74	7	340,392	276,42	*
Total, error	119,448	97	1,23142		
Total (corr.)	2502,19	104			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

*(existe confianza al 95 %) NS (no existe significancia)

Coefficiente de variación (CV)=1%

En la Tabla 9 los resultados se puede observar el análisis de (ANOVA) para la cambiante °Brix. Los resultados revelan que el modelo lineal aplicado es altamente significativo ($F=267,42$; $p<0,05$), lo que indica que al menos uno de los factores evaluados ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre los °Brix. Por otra parte, el desglose de la suma de cuadrados revela que el modelo explica la mayor proporción de la variabilidad la variabilidad total (2382,74 de 2502,19) es explicada por el modelo, mientras que el error experimental es mínimo (119,45) lo cual confirma un adecuado ajuste del modelo a los datos experimentales. Además, el coeficiente de variación (CV=1%) demuestra una baja variabilidad experimental y alta precisión en las mediciones realizadas, según Cáceres Novillo (2022) un CV debe ser menor al 20% (alrededor de 5%) cuando se está ensayando bajo condiciones controladas como un laboratorio, lo que avala una evaluación componentes y otorga una credibilidad a los resultados globales del experimento.

Tabla 10: Resultados del ajuste del modelo lineal para °Brix.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
A: Jugo de caña	9,99048	0,187572		
B: Mucílago de cacao	7,62857	0,187572		

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

Ecuación del modelo ajustado para °Brix = $9,99048 \cdot \text{Jugo de caña} + 7,62857 \cdot \text{Mucílago de cacao}$

cacao.

En la Tabla 10 presenta las estimaciones de los parámetros del modelo lineal ajustado para los °Brix, correspondiente al jugo de caña y mucílago de cacao, los valores estimados son 9,99 y 7,63 respectivamente, con un error estándar idéntico de 0,1876, lo que refleja precisión similar en las estimaciones de ambos componentes. Estos coeficientes representan el efecto promedio de cada tratamiento sobre la variable respuesta, indicando que el jugo de caña contribuye en mayor medida al contenido de sólidos solubles en comparación con el mucílago de cacao. La igualdad de los errores estándar sugiere que se asume varianza constante en el modelo, permitiendo comparaciones directas entre los tratamientos evaluados.

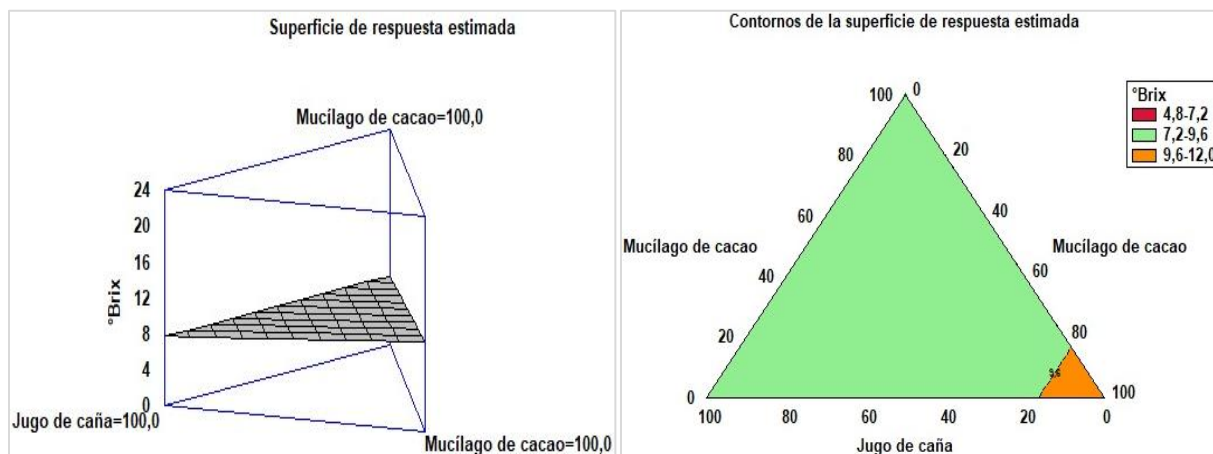


Figura 4: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 4 A. ilustra la superficie de respuesta estimada para los Brix en función de las cantidades de jugo de caña y mucílago de cacao incorporadas. En esta representación gráfica ya sea mediante una malla tridimensional o a través de la línea de nivel se observa la variación de sólidos solubles en un intervalo comprendido entre 0 y 24 °Brix, representado mediante líneas de nivel o una malla tridimensional, la superficie muestra una tendencia creciente a medida que aumentan ambos componentes, evidenciando regiones de máxima respuesta cerca de los puntos donde los factores alcanzan su nivel superior (100), esta representación gráfica complementa los resultados del modelo cúbico, permitiendo visualizar la interacción y el efecto combinado de las variables sobre la variable respuesta.

B. La gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada para los °Brix, complementando la visualización tridimensional anterior, en esta proyección bidimensional se observa como los

rangos de °Brix (representados por las bandas de color 4.8-7.2, 7.2-9.6 y 9.6-12.0), se distribuyen en función de las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, las curvas de nivel, que incluyen valores superiores hasta 24 °Brix, revelan una tendencia creciente de la variable respuesta a medida que ambos componentes aumentan, con la zona de máxima respuesta localizada en la región donde ambos factores se aproximan a su nivel superior, esta representación permite identificar visualmente las combinaciones de factores que optimizan los °Brix, evidenciando además que el efecto conjunto de ambos componentes siguen un patrón consistente con el modelo cúbico ajustado previamente, el jugo de caña, debido a su elevado contenido de sólidos solubles y azúcares, es el principal responsable del incremento de °Brix la mezcla con mucílago de cacao rico en compuestos solubles y rico en azúcares contribuye al incremento de °Brix. Según (Marshall & Mejía, 2011) el jugo de caña, gracias a su alto nivel de compuestos solubles presentes, y el mucílago de cacao, gracias a su riqueza en azúcares, contribuyen de manera igualitaria en el incremento del % de °Brix en la mezcla.

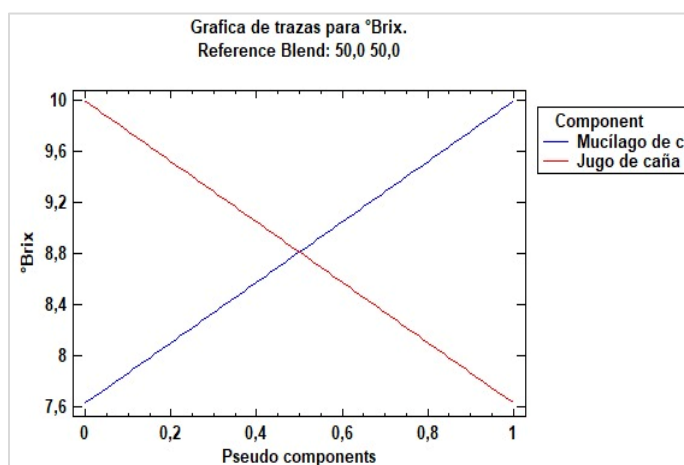


Figura 5: Gráfica de trazas para °Brix.
Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 5 muestra las trazas para los °Brix construido a partir del modelo de mezclas ajustado, con una mezcla de referencia de 50% jugo de caña y 50% mucílago de cacao, muestra como varía la respuesta al desplazar la composición a lo largo de cada eje de componente, manteniendo constante la proporción relativa de los demás, las curvas indican que ambos componentes ejercen un efecto positivo sobre los °Brix, aunque con pendientes diferenciadas que reflejan su contribución individual, en el cual podemos visualizar el impacto de cada ingrediente sobre la variable respuesta y confirmar las tendencias observadas en las superficies y contornos previos.

11.1.2. pH

Tabla 11: Efectos estimados de modelo completo para pH.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Media	1130,68	1	1130,68		
Bloques	0,500983	6	0,0834971	0,47	0,8273
Lineal	5,33767	1	5,33767	43,22	0,0000
Cuadrático	0,320034	1	0,320034	2,63	0,1078
Cúbico	0,134267	1	0,134267	1,11	0,2955
Error	11,5262	95	0,121328		
Total	1148,5	105			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La

Tabla 11 presenta el análisis de varianza del modelo completo de pH, la cual revela que el efecto lineal es significativo ($F=43,22$; $p<0,05$) indicando una influencia directa sobre el pH. En contraste los efectos de bloques ($p=0.8273$), cuadrático ($p=0.1078$) y cúbico ($p=0.2955$) no presentaron significancia estadística ($p>0,05$), determinando así que la variación del pH se explica principalmente mediante un comportamiento lineal. Así también, el error experimental de los cuadrados medios es bajo ($CM=0,1213$), lo que confirma un buen ajuste del modelo, estos resultados demuestran que la relación entre la variable independiente y el pH es fundamentalmente lineal, sin evidencias de curvatura o efectos de orden superior.

Tabla 12: Resultados del modelo completo del pH

Modelo	Error estándar (SE)	R-cuadrado	R-cuadrado ajustado
Lineal	0,35144	32,77	27,91
Cuadrático	0,348516	34,56	29,11
Cúbico	0,348322	35,32	29,19

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 12 presenta los indicadores de bondad de ajuste para los modelos lineal, cuadrático y cúbico aplicados al pH. Se observa que los tres modelos presentan coeficientes de determinación

(R²) relativamente bajos, con valores entre 32,77 % y 35,32 %, lo que indica que solo una fracción moderada de variabilidad total del pH es explicada por los factores estudiados. Los R² ajustados que penalizan la inclusión de términos innecesarios, oscilan entre 27,91% y 29,19%, confirmando que la adición de componentes cuadrático y cúbico no mejora sustancialmente la capacidad predictiva del modelo. Asimismo, el error estándar se mantiene prácticamente constante alrededor de 0,35 en todos los casos, estos resultados en concordancia con el ANOVA previo donde únicamente el modelo lineal resulta significativo ($p < 0,05$), indican que el modelo lineal es el más adecuado para identificar el comportamiento del pH con una capacidad explicativa limitada.

Tabla 13: ANOVA de pH.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo lineal	5,83865	7	0,834093	6,75	*
Total, error	11,9805	97	0,12351		
Total (corr.)	17,8192	104			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

*(existe confianza al 95 %) NS (no existe significancia)

Coefficiente de variación (CV)=2,93%

La Tabla 13 presentan el análisis de varianza (ANOVA) para la variable pH, en la cual el modelo lineal es estadísticamente significativo ($F=6,75$; $p < 0,05$), revelando que los factores evaluados ejercen un efecto significativo sobre el pH. La descomposición de las sumas de cuadrados muestra que una parte de la variabilidad total (5,83 - 17,81) es explicada por el modelo, mientras que el error aleatorio (11,98) representa la mayor proporción, esto indica que, aunque el modelo es significativo, existe una considerable variabilidad no explicada por los factores considerados. Además, el coeficiente de variación $CV = 2,93\%$ evidencia baja variabilidad experimental y buena precisión en los datos obtenidos. Según Sánchez (2018), un coeficiente de variación inferior al 20% en estudios experimentales sugiere buen control de las condiciones del ensayo, reducida variabilidad experimental y confiabilidad en los resultados obtenidos.

Tabla 14: Resultados del ajuste del modelo lineal para pH.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
A: Jugo de caña	2,96267	0,0594043		
B: Mucílago de cacao	3,60038	0,0594043		

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

Ecuación del modelo ajustado para °pH = 2,96267*Jugo de caña + 3,60038*Mucílago de cacao.

La Tabla 14 demuestra los resultados del ajuste del modelo de regresión lineal para la variable respuesta pH, en donde se identifica las estimaciones de los parámetros junto con sus errores estándar, la estimación para el factor A (Jugo de caña) es de 2,96267, mientras que para el factor B (Mucílago de cacao) es de 3,60038, ambos con un error estándar idéntico de 0,0594043, lo que indica un diseño experimental balanceado y varianza constante.

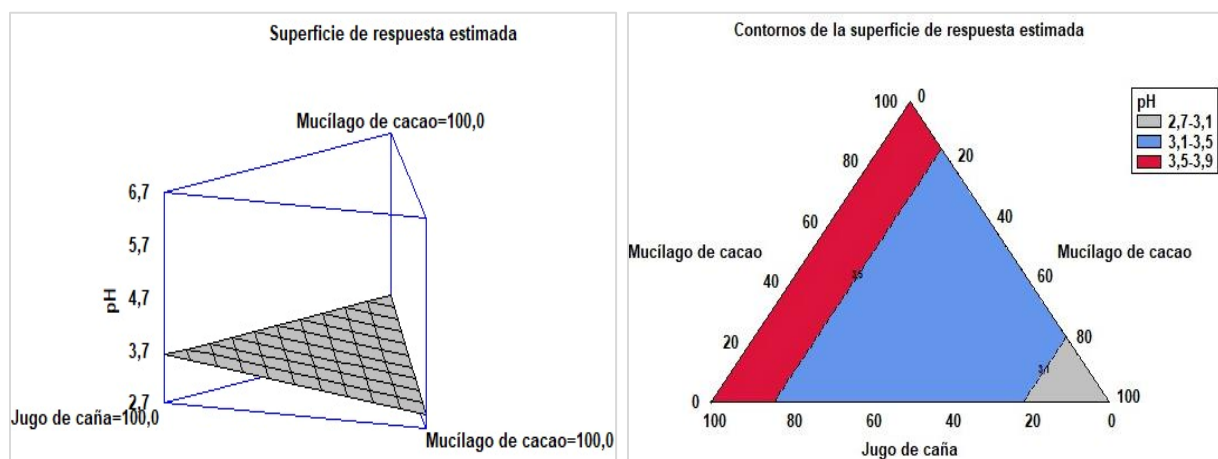


Figura 6: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Figura 6 A. Se presenta la superficie de respuesta estimada para el pH en función de las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, en el grafico tridimensional, el pH varia en rango aproximado de 2,7 a 6,7, observándose un plano con pendiente moderado pero sin curvatura pronunciada, esta forma plana y ligeramente inclinada es coherente con la significancia estadística del término lineal($p < 0,05$) y la significancia de los términos cuadrático y cubico reportados en el ANOVA, confirmando que la relación entre los factores y el pH es fundamentalmente lineal.

B. La superficie nos permite visualizar que el pH aumenta a medida que se modifican las proporciones de la mezcla con una variabilidad limitada y contornos de la superficie de respuesta estimada presenta el mapa de curvas de nivel para el pH en función de las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, los contornos delimitan regiones con rangos específicos de pH: 2,7-3,1; 3,1-3,5; 3,5-3,9, se observa que las líneas son aproximadamente rectas y paralelas con pendiente suave que refleja un incremento gradual del pH a medida que aumentan ambos

componentes, esta configuración lineal de los contornos es coherente con la significancia del término lineal ($p < 0,05$) y la ausencia de efectos cuadráticos o cúbicos significativos en el análisis de varianza confirmando que la relación entre mezcla y el pH sigue un patrón fundamental lineal, en consecuencia que el jugo de caña tiene un pH mayor (menos ácido), el mucílago de cacao con un pH rodeando los 4 (más ácido) al momento de realizar una mezcla alcanza un pH (7).

Según Schorn-García et al. (2023) al mezclar jugo de caña con mucílago de cacao se obtiene valores de alrededor 7 pH debido al mayor pH que proporciona el jugo de caña y el pH bajo por parte del mucílago de cacao. Escobar-Osorio et al. (2019) quienes analizaron la fermentación del jugo de mucílago de cacao y registraron un pH final de $3,6 \pm 0,4$, se observa que ambos que ambos estudios presentan valores en rangos similares característicos de fermentaciones de sustratos ricos en azúcares. Valores cercanos a 3,00 favorecen en el control de microorganismos indeseados y garantiza una actividad eficiente de las levaduras, lo que contribuye a la estabilidad del proceso (Erazo Gavilánez, 2019).

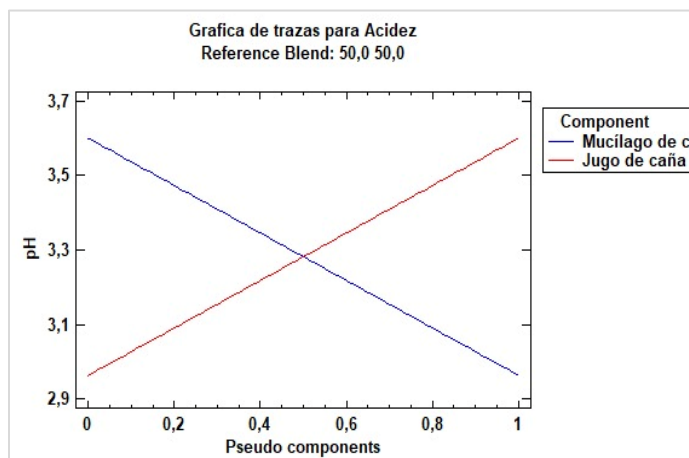


Figura 7: Gráfica de trazas para pH.
Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 7 presenta el gráfico de trazas para el pH construido a partir del modelo de mezclas ajustado con mezcla de referencia de 50% jugo de caña y 50 % mucílago de cacao, las curvas muestran como varía el pH al desplazar la composición a lo largo de cada componente en el espacio de pseudocomponentes, manteniendo constante la proporción relativa al otro, se observa que ambos componentes ejercen un efecto sobre el pH, aunque con pendientes relativamente suaves y de tendencia lineal, sin curvaturas pronunciadas, donde solo el término lineal resultó significativo ($p < 0,05$), confirmando que la respuesta del pH sigue en un patrón fundamentalmente lineal ante

cambios en la composición de la mezcla.

11.1.3. Grados alcohólicos

Tabla 15: Efectos estimados de modelo completo para °GL.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Media	16008,7	1	16008,7		
Bloques	4379,8	6	729,966	239,84	0,0000
Lineal	152,576	1	152,576	101,58	0,0000
Cuadrático	49,7993	1	49,7993	49,86	0,0000
Cúbico	3,47143	1	3,47143	3,57	0,0619
Error	92,4197	95	0,972839		
Total	20686,8	105			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 15 contiene el desglose del análisis de varianza para el modelo ajustado durante el estudio, para la variable de respuesta de grados alcohólicos (°GL), en donde se observa que los componentes lineales ($F=101,58$; $p<0,05$) y cuadrático ($F49,86$; $p<0,05$) son altamente significativos sobre el °GL. En contraste, el componente cúbico no es estadísticamente significativo ($p=0,0619$), lo que sugiere que un modelo de segundo es suficiente para describir el comportamiento de los datos. Además, el efecto de bloques resultó significativo ($p<0,05$), indicando una variabilidad sistemática entre bloques que fue necesario considerar en el modelo.

Tabla 16: Resultados del modelo completo °Gl.

Modelo	Error estándar (SE)	R-cuadrado	R-cuadrado ajustado
Lineal	1,22555	96,89	96,66
Cuadrático	0,999433	97,95	97,78
Cúbico	0,986326	98,02	97,84

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 16 Presenta los estadísticos con respecto a la calidad del ajuste de los modelos lineal, cuadrático y cubico evaluados en que aumenta la complejidad del modelo, el error estándar de la

estimación disminuye progresivamente, pasando de 1,22555 en el modelo lineal a 0,986326 en el cúbico, de manera consistente, tanto el coeficiente de determinación (R^2) como el R^2 ajustado incrementan su valor con la inclusión de términos de mayor orden, alcanzando el modelo cúbico los valores más altos (98,02% y 97,84%, respectivamente), aunque el modelo cúbico presenta el mejor ajuste global, la mejora marginal con respecto al modelo cuadrático (R^2 de 97,95% vs. 98,02%) es mínima, lo que sugiere que el modelo cuadrático podría ser una opción más parsimoniosa considerando los resultados de significancia, donde el término cúbico no resultó estadísticamente significativo.

Tabla 17: ANOVA de °GL.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo lineal	4532,37	7	647,482	431,09	*
Total, error	145,69	97	1,50196		
Total (corr.)	4678,06	104			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

* (existe confianza al 95 %) NS (no existe significancia)

Coefficiente de variación (CV)=1%

En la Tabla 17 se observa el análisis de varianza para °GL, el modelo lineal es estadísticamente significativo ($F=431,09$; $p<0,05$), esto indica que los factores evaluados explican una proporción muy significativa de la variabilidad total de los datos, resultando adecuado para explicar la relación entre los factores estudiados y variable la respuesta. El coeficiente de variación de este estudio es de 1%. Según Guamani & Casa (2024) un $CV \leq 7,4$ refleja una adecuada precisión experimental y menor variabilidad en los datos y confiabilidad en los resultados obtenidos.

Tabla 18: Resultados del ajuste del modelo lineal para °GL

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
A: Jugo de caña	14,0524	0,207155		
B: Mucílago de cacao	10,6429	0,207155		

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

Ecuación del modelo ajustado para °GL = $14,0524 * \text{Jugo de caña} + 10,6429 * \text{Mucílago de cacao}$.

En la Tabla 18 reporta los resultados del ajuste del modelo de regresión lineal para la variable respuesta °GL. Los coeficientes del modelo lineal muestran que el jugo de caña presenta mayor

estimación (14,05) en comparación con el mucílago de cacao (10,64) lo que indica una mayor contribución al °GL. Ambos parámetros presentan el mismo error estándar (0,207155), evidenciando un diseño experimental balanceado y homogéneo estimaciones del modelo.

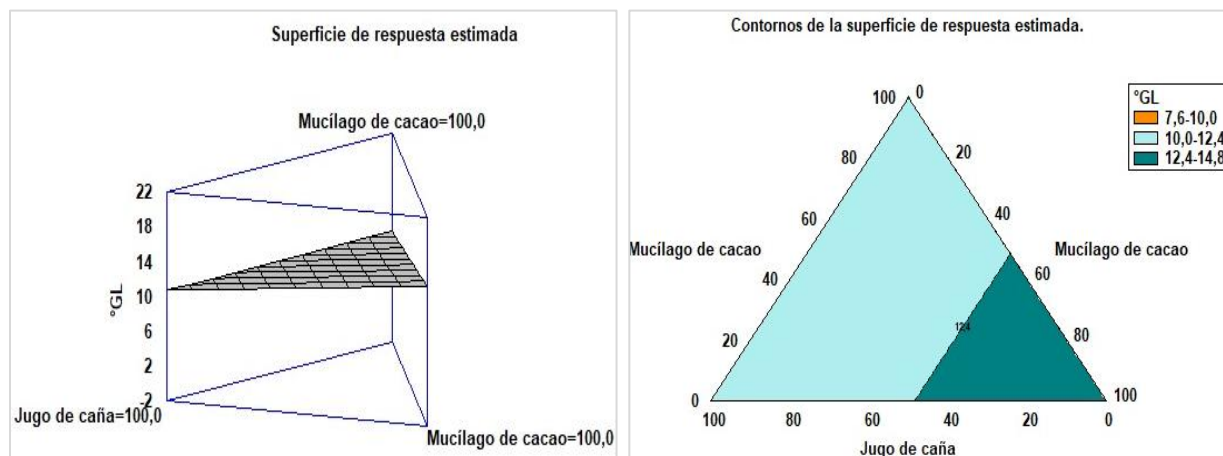


Figura 8: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).
Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 8 A. Demuestra la superficie de respuesta estimada para la variable de interés de °GL en función a las concentraciones de jugo de caña y mucílago en el grafico tridimensional se identifican los vértices correspondientes a las composiciones extremas (100 % de un componente y 0 % de otro componente) y presenta °GL desde (-2 a 22), la superficie muestra una tendencia de variación continua entre estos extremos en donde divisamos de manera cualitativa el comportamiento de la variable a lo largo del espacio de mezclas.

B. Exhibe el mapa de contornos de la superficie de respuesta estimada para el indicador °GL en función de las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, las curvas de nivel delimitan tres regiones de respuesta: 7,6–10,0; 10,0–12,4 y 12,4–14,8 °GL, mostrando un incremento progresivo a medida que aumentan ambos componentes, la disposición aproximadamente paralela y ligeramente curvada de las isolíneas sugiere una relación creciente y posiblemente no lineal entre la mezcla y la variable respuesta, debido al aporte de azúcar fermentables presentes tanto en el jugo de caña y mucílago de cacao, al momento de realizar una mezcla se tiene °Brix suficientemente altos para una fermentación eficiente y un destilado con concentración de °GL finales idóneos.

Al comparar estos resultados con los reportados por Cuvi Aparicio (2020), indica que la mezcla

de jugo de caña con mucílago de cacao, debido a los azúcares fermentables presentes en los dos sustratos, produce °Brix altos idóneos para tener una fermentación eficiente y una adecuada concentración final de °GL.

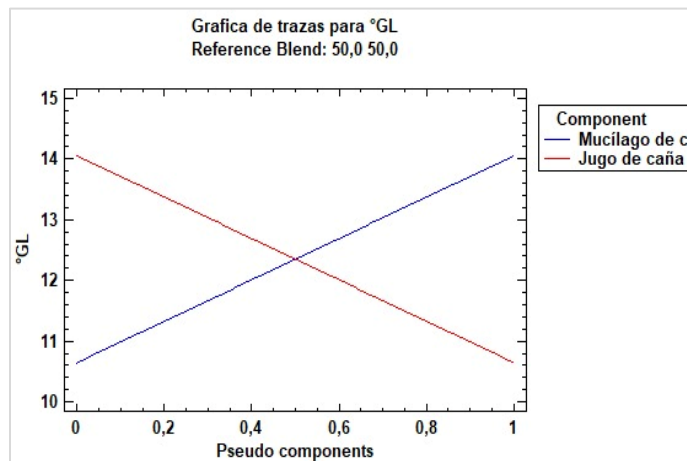


Figura 9: Grafica de trazas para °GL.
Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 9 presenta el grafico de trazas para °GL construido a partir del modelo de mezclas ajustado, tomando como referencia una mezcla base de 50 % de jugo de caña y 50 % de mucílago de cacao, las curvas muestran la variación predicha de °GL al desplazar la composición a lo largo de cada componente en el espacio de pseudocomponentes, despliegan un efecto positivo sobre la variable respuesta, aunque con trayectorias y pendientes diferenciadas que reflejan su contribución individual, nos permite visualizar el impacto específico de cada componente sobre °GL y complementa la información de las superficies y contornos previos, facilitando la interpretación del comportamiento de la mezcla en todo el dominio experimental.

11.1.4. Acidez

Tabla 19: Efectos estimados de modelo completo para Acidez.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Media	17,131	1	17,131		
Bloques	0,378563	1	0,378563	6,45	0,0169
Lineal	1,02966	1	1,02966	45,36	0,0000
Cuadrático	0,0640762	1	0,0640762	3,04	0,0933
Cúbico	0,124215	1	0,124215	7,31	0,0121

Error	0,424622	25	0,0169849
Total	19,1521	30	

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 19 muestra el análisis de varianza del modelo completo ajustado para la variable respuesta acidez, se observa que los efectos lineales ($F=45,36$; $p<0,05$) y cúbico ($F=7,31$; $p=0,0121$) son estadísticamente significativos sobre la acidez. A diferencia del efecto cuadrático no resulta significativo al 5% ($p=0,0933>0,05$), aunque podría considerarse marginalmente, significativo. Además, el efecto bloque es significativo ($p=0,0169$), lo que indica una variabilidad sistemática entre bloques que fue necesario considerar en el modelo, así también los resultados obtenidos indican que la relación entre los factores evaluados y la acidez presenta componentes lineales y cúbicos relevantes.

Tabla 20: Resultados del modelo completo para acidez.

Modelo	Error estándar (SE)	R-cuadrado	R-cuadrado ajustado
Lineal	0,150667	69,67	67,43
Cuadrático	0,14529	72,85	69,71
Cúbico	0,130326	78,99	75,63

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 20 se presenta los estadísticos de bondad de ajuste para los modelos lineal, cuadrático y cúbico evaluados en la variable respuesta acidez. De acuerdo con los resultados reportan una mejora gradual en el ajuste a medida que aumenta la complejidad del modelo. El error estándar de la estimación disminuye de 0,150667 en el modelo lineal a 0,130326 en el cúbico, de manera consistente, tanto el coeficiente de determinación (R^2) como el R^2 ajustado incrementan su valor con la inclusión de términos de mayor orden, alcanzando el modelo cúbico los valores más altos (78,99% y 75,63% respectivamente), esta tendencia es coherente con los resultados, donde se identificaron como significativos los componentes lineal y cúbico, mientras que el cuadrático no resultó significativo.

Tabla 21: ANOVA de Acidez.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo lineal	1,40822	2	0,704112	31,02	*

Total, error	0,612913	27	0,0227005
Total (corr.)	2,02114	29	

*(existe confianza al 95 %) NS (no existe significancia)

Coefficiente de variación (CV)=24,58%

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 21 presenta el análisis de varianza para el modelo lineal de la variable respuesta acidez, la cual muestra que el modelo en su conjunto es estadísticamente significativo ($F=31,02$; $p<0,05$), indicando que los factores evaluados influyen sobre la acidez. Mientras que el coeficiente de variación fue de 24,58% evidenciando una variabilidad moderada en los datos experimentales. Según Cáceres Novillo (2022), un CV debe ser mayor al 20% está asociado a diversos factores como la variabilidad experimental, características propias del sistema fermentativo, variaciones en el procedimiento y condiciones ambientales no controladas.

Tabla 22: Resultados del ajuste del modelo lineal para Acidez

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
A: Mucílago de cacao	0,493667	0,047645		
B: Jugo de caña	1,01767	0,047645		

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

Ecuación del modelo ajustado para acidez= $0,493667 \cdot \text{Mucílago de cacao} + 1,01767 \cdot \text{Jugo de caña}$.

En la Tabla 22 se reportan los resultados del ajuste del modelo de regresión lineal para la variable respuesta acidez, mostrando las estimaciones de los efectos de los factores evaluados, la estimación para el factor A (Mucílago de cacao) es de 0,493667, mientras que para el factor B (Jugo de caña) es de 1,01767, ambos con un error estándar idéntico (0,047645), lo que sugiere un diseño experimental balanceado y homogeneidad en la varianza de las estimaciones, los valores de las estimaciones indican la magnitud del efecto de cada factor sobre la acidez, observándose una contribución aproximadamente dos veces mayor el jugo de caña en comparación con el mucílago de cacao en las condiciones experimentales establecidas.

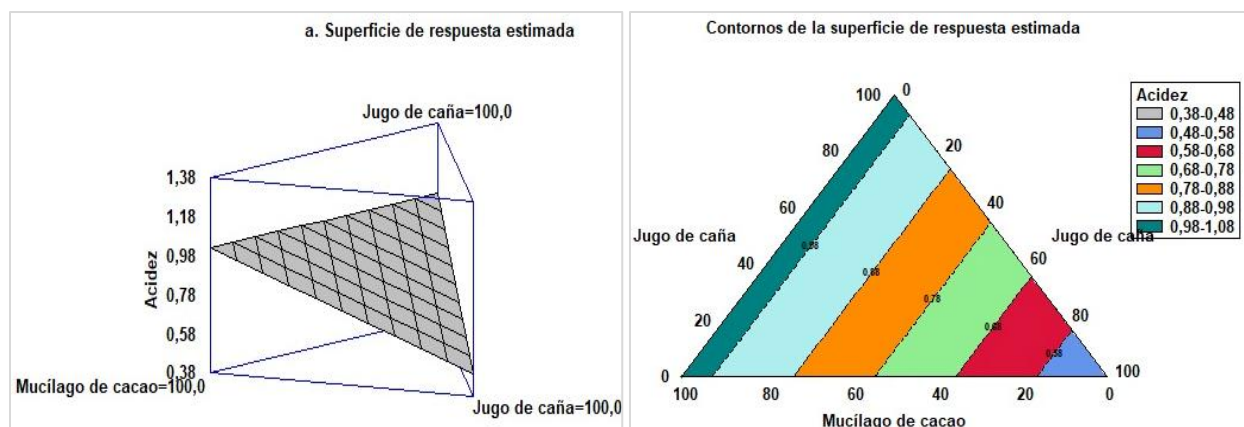


Figura 10: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).
Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 10 A. Se observa la superficie de respuesta estimada para la variable AUC (Área Bajo la Curva) en función de las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, mediante la gráfica tridimensional se determina que los valores de AUC oscilan entre 0,38 y 1,38, mostrando una tendencia creciente a medida que ambos componentes aumentan, la superficie presenta una pendiente pronunciada hacia la región de altas concentraciones de ambos componentes, lo que indica una interacción positiva y un posible efecto sobre la respuesta, esta representación nos permite visualizar la zona de máxima respuesta cerca del vértice donde ambos componentes alcanzan su nivel superior (100%), en donde facilita la identificación de regiones óptimas para la variable estudiada.

B. Presenta el mapa de contornos de la superficie de respuesta estimada para el parámetro (acidez) en función con las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, las curvas de nivel delimitan siete regiones de respuesta, con rangos que van desde 0,38-0,48 hasta 0,98-1,08, mostrando un incremento continuo a medida que aumentan ambos componentes, la disposición de isolíneas, que coinciden hacia el vértice donde ambos componentes alcanzan su nivel superior (100%), evidencia una tendencia de respuesta máxima en esa región, este gráfico contempla la superficie tridimensional permitiendo identificar con precisión las combinaciones de jugo de caña y mucílago de cacao que optimizan la variable respuesta, se visualiza las zonas de menor rendimiento en las regiones de bajas concentraciones de ambos componentes.

Según la investigación de Zapata Gómez (2023), donde menciona la acidez del jugo de caña se incrementa debido a la formación de ácidos orgánicos producidos por el proceso metabólico de las levaduras durante la conversión de azúcares, lo cual coinciden con los hallazgos de esta

investigación.

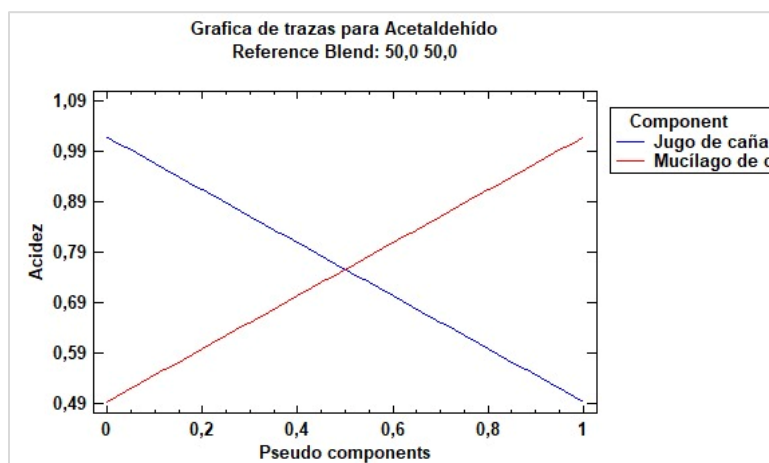


Figura 11: Gráfica de trazas para Acidez.
Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 11 presenta el gráfico de trazas para la acidez, construido a partir del modelo de mezclas ajustado, con mezcla de referencia de 50 % de jugo de caña y 50 % de mucílago de cacao, las líneas muestran la variación de la acidez al desplazar la composición a lo largo de cada componente en el espacio de pseudo componentes, manteniendo constante la proporción relativa al otro. En contraste, se establece que los dos componentes ejercen un efecto positivo sobre la respuesta, aunque con pendientes diferenciadas; el mucílago de cacao presenta una influencia ligeramente mayor en el incremento de la acidez en comparación con el jugo de caña, en el gráfico se visualiza el impacto individual de cada componente y complementa las superficies y contornos previos facilitando la identificación de la contribución relativa de los factores en el dominio experimental.

11.2. Análisis de los alcoholes superiores después del destilado

11.2.1. Acetaldehído

Tabla 23: Efectos estimados de modelo completo para Acetaldehído.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Media	512,987	1	512,987		
Lineal	72,9144	1	72,9144	3,21	0,0967
Cuadrático	257,276	1	257,276	80,26	0,0000
Cúbico	0,292053	1	0,292053	0,08	0,7771
Error	38,1749	11	3,47045		

Total	881,644	15
-------	---------	----

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Tabla 23 identifica el análisis de varianza del modelo completo ajustado para la variable respuesta acetaldehído, se observa que el componente cuadrático del modelo es altamente significativo ($F=80,26$; $p<0,05$), lo que indica una relación curvilínea relevante entre los factores evaluados y la concentración de acetaldehído, el componente lineal no resulta estadísticamente significativo al 5% ($p= 0,0967 > 0,05$), aunque podría considerarse marginalmente significativo dependiendo del nivel de confianza adoptado, el componente cúbico no es significativo ($p= 0,7771>0,05$), estos resultados sugiere que el modelo cuadrático es el más adecuado para describir el comportamiento del acetaldehído en las condiciones experimentales establecidas.

Tabla 24: Resultados del modelo completo para acetaldehído.

Modelo	Error estándar (SE)	R-cuadrado	R-cuadrado ajustado
Lineal	4,76964	19,78	13,61
Cuadrático	1,79041	89,57	87,83
Cúbico	1,86291	89,64	86,82

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 24 presenta los indicadores de ajuste para los modelos lineal, cuadrático y cúbico evaluados en la variable respuesta acetaldehído, se observa una mejora sustancial en el ajuste al pasar del modelo lineal al cuadrático. El error estándar de la estimación disminuye drásticamente de 4,76964 a 1,79041, mientras que el coeficiente de determinación (R^2) se incrementa de 19,78% a 89,57%, el modelo cúbico presenta un ajuste similar al cuadrático (R^2 de 89,64% y error estándar de 1,86291), con una mejora marginal prácticamente nula, estos resultados son coherentes, donde únicamente el componente cuadrático resultó altamente significativo.

Tabla 25: ANOVA de Acetaldehído

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo lineal	72,9144	1	72,9144	3,21	0,0967
Total, error	295,743	13	22,7495		
Total (corr.)	368,658	14			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

*(existe confianza al 95 %) NS (no existe significancia)

Coefficiente de variación (CV)=1,61%

En la Tabla 25 presenta el análisis de varianza (ANOVA) para el modelo lineal de la variable respuesta acetaldehído, el modelo, en su conjunto, no resulta estadísticamente significativo al 95% de confianza ($F=3,21$; $p=0,0967>0,05$), este resultado indica que el modelo lineal, por sí solo, no explica una proporción significativa de la variabilidad total de los datos de acetaldehído, lo que sugiere que la relación entre los factores evaluados y la respuesta no es lineal. El CV fue de 1,61% lo que evidencia una baja variabilidad experimental. Según, Espín (2017) $CV \leq 5 \%$ refleja una adecuada precisión experimental y menor variabilidad en los datos en este caso.

Tabla 26: Resultados del ajuste del modelo lineal para Acetaldehído

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
A: Mucílago de cacao	2,73	2,13305		
B: Jugo de caña	8,966	2,13305		

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

Ecuación del modelo ajustado para acetaldehído= $2,73 * \text{Mucílago de cacao} + 8,966 * \text{Jugo de caña}$.

La Tabla 26 presenta los resultados del ajuste del modelo lineal para acetaldehído, detallando las estimaciones de los parámetros con sus respectivos errores estándar. El parámetro A que corresponde a mucílago de cacao muestra una estimación 2,73 con un error estándar de 2,13305, mientras que el parámetro B correspondiente a jugo de caña tiene una estimación de 8,966 con el mismo error estándar. La tabla no incluye los valores estadísticos T y P correspondientes.

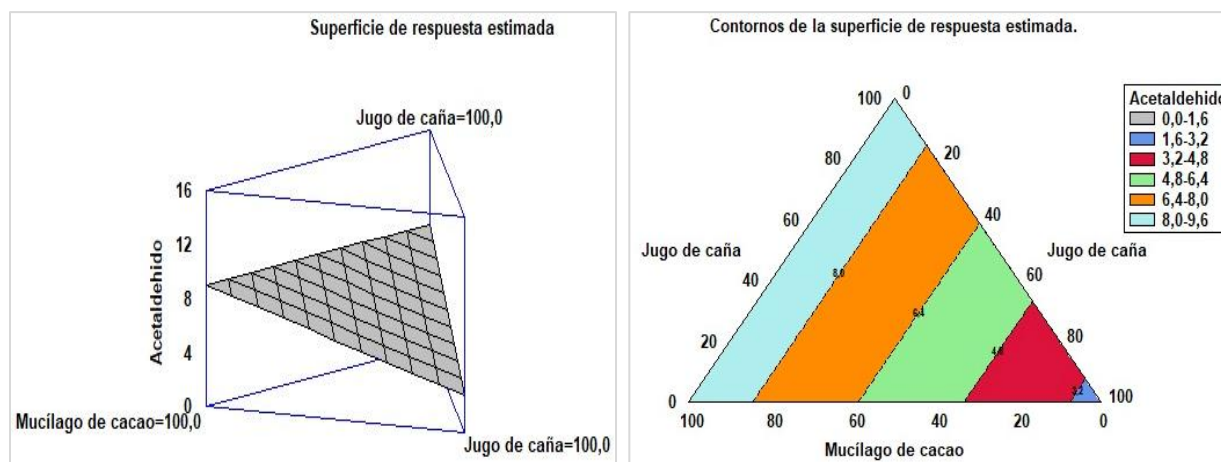


Figura 12: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Figura 12 A. Presenta el modelo de la superficie ajustada (acetaldehído) en función de las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, en el gráfico tridimensional se observa que los valores de acetaldehído oscilan entre 0 y 16 mostrando una tendencia creciente a medida que ambos componentes aumentan, la superficie presenta una pendiente pronunciada hacia la región de altas concentraciones de ambos componentes, lo que indica una interacción positiva sobre la respuesta, esta representación permite visualizar la zona de máxima respuesta cerca del vértice donde ambos componentes alcanzan su nivel superior (100%), facilitando la identificación de regiones óptimas para la variables estudiada (acetaldehído).

B. El gráfico diagrama de contornos de la superficie ajustada para la producción de acetaldehído según la dosis de jugo de caña y mucílago de cacao, los ejes representan los factores en un rango de 0 a 100 % mientras que las isóneas delimitan regiones de igual valor predicho para acetaldehído con intervalos que van desde 0,0-1,6 hasta 8,0-9,6, se observan que los valores más bajos de acetaldehído (0,0-1,6) se concentran en las zonas de bajas concentraciones de ambos componentes, mientras que los valores más altos (8,0-9,6) se localizan en la región donde ambos factores se aproximan a su máximo nivel (100%).

En el estudio realizado por Zapata Gómez (2023), donde se caracterizó por cromatografía de gases el alcohol obtenido del mucílago de cacao CCN-51, se registró un valor de 15.79 mg/100cm³, equivale a un nivel superior dentro del rango observado en la presente investigación, lo que indica las fermentaciones basadas en mucílago de cacao pueden producir cantidades altas de acetaldehído volátil.

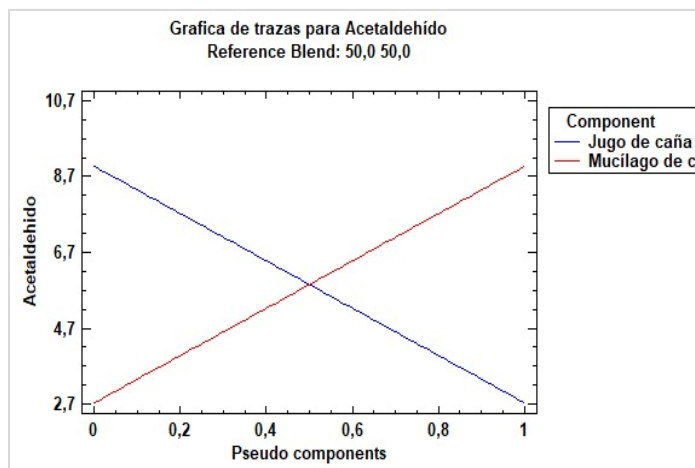


Figura 13: Gráfica de trazas para Acetaldehído
Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Figura 13 presenta el gráfico de trazas para la variable acetaldehído, mostrando el efecto individual de cada componente; mucílago de cacao y jugo de caña sobre la respuesta manteniendo una mezcla de referencia fijada en 50 % para ambos componentes, en el eje horizontal representa los pseudo componentes (escala relativa), donde en el eje vertical se puede observar se muestra los valores de acetaldehídos se observa que la línea correspondiente al jugo de caña presenta una pendiente positiva pronunciada a medida que aumenta su proporción en la mezcla, indicando un fuerte efecto creciente sobre la concentración de acetaldehído, mientras que la línea del mucílago de cacao muestra un comportamiento relativamente estable con una ligera tendencia decreciente, sugiriendo un efecto mucho menor sobre la respuesta, el comportamiento distinto de ambas trazas confirma la presencia de interacción entre los factores, consistente con el modelo cuadrático significativo identificado en los análisis previos Tabla (Tabla 23-Tabla 25), y permite visualizar que el jugo de caña es el componente con mayor influencia sobre la generación de acetaldehído en el dominio experimental estudiado.

11.2.2. Metanol

Tabla 27: Efectos estimados de modelo completo para Metanol.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Media	27067,4	1	27067,4		
Lineal	9072,36	1	9072,36	126,86	0,0000
Cuadrático	167,92	1	167,92	2,65	0,1298
Cúbico	390,241	1	390,241	11,55	0,0059
Error	371,521	11	33,7747		
Total	37069,5	15			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 27 presenta un análisis de varianza del modelo ajustado para la variable respuesta del metanol. Los resultados indican que en el componente lineal del modelo es altamente significativo ($F=126,86$; $p<0,05$), lo que menciona una influencia significativa de los factores evaluados sobre la concentración de metanol. Por otra parte, el componente cuadrático no muestra diferencia estadística al 5% de significancia ($p=0,1998>0,05$), indicando que el efecto del segundo orden no tiene una influencia relevante en la variación de respuesta. A comparación, el componente cúbico

si presenta significancia estadística ($F=11,55$; $p=0,0059 < 0,005$), lo cual sugiere la presencia de efectos de orden superior que contribuyen a explicar la variabilidad en la concentración de metanol. En conjunto de estos resultados indican que los efectos lineales y cúbicos influyen significativamente en el modelo evaluado.

Tabla 28: Resultados del modelo completo.

Modelo	Error estándar (SE)	R-cuadrado	R-cuadrado ajustado
Lineal	8,4566	90,71	89,99
Cuadrático	7,96745	92,38	91,11
Cúbico	5,8116	96,29	95,27

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 28 presenta los estadísticos para verificar el ajuste de lineal, cuadrático y cúbico evaluados para la variable respuesta metanol, se observa una mejora progresiva en el ajuste del modelo al incrementar su complejidad. El modelo cúbico presentó el mejor ajuste ($R^2 = 96,92\%$; R^2 ajustado= $92,27\%$) y el menor error estándar (5,8116), explicando un mayor porcentaje de la variabilidad de respuesta bajo las condiciones experimentales evaluadas. Asimismo, el coeficiente de variación fue de 1%, indicando una baja variabilidad experimental.

Tabla 29: ANOVA de Metanol

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo lineal	9072,36	1	9072,36	126,86	0,0000
Total, error	929,683	13	71,5141		
Total (corr.)	10002,0	14			

*(existe confianza al 95 %) NS (no existe significancia)

Coefficiente de variación (CV)=5,23%

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 29 presenta el análisis de varianza para el modelo lineal de la variable respuesta metanol. Los resultados muestran que el modelo lineal es estadísticamente significativo al 95% de confiabilidad ($F=126,86$; $p < 0,05$), indicando que los factores evaluados influyen significativamente en concentración de metanol. El modelo nos trata de explicar una proporción considerable mientras que, el coeficiente de variación fue de 5,23% evidenciando una baja variabilidad relativa en los datos experimentales. Como indica Gerrero & Alvares (2020) valores de $CV \leq 15\%$ reflejan una correcta precisión experimental y una baja dispersión de las

observaciones en el entorno en el medio, el resultado evidencia una buena homogeneidad en las muestras y el control aceptable de los factores experimentales.

Tabla 30: Resultados del ajuste del modelo lineal para Metanol

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
A: Mucílago de cacao	7,69933	3,78191		
B: Jugo de caña	77,2593	3,78191		

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

Ecuación del modelo ajustado para metanol= $7,69933 \cdot \text{Mucílago de cacao} + 77,2593 \cdot \text{Jugo de caña}$.

La Tabla 30 del ajuste lineal para metanol presenta dos parámetros: jugo de caña con una estimación 77,25 en comparación con el mucílago de cacao (7,69), lo que evidencia una mayor contribución al contenido de metanol. Ambos parámetros presentan el mismo error estándar (3,78191), indicando una precisión similar en las estimaciones del modelo. Aunque no se muestra los valores del estadístico T ni el valor-p los resultados reflejan las estimaciones obtenidas para cada factor dentro del modelo lineal.

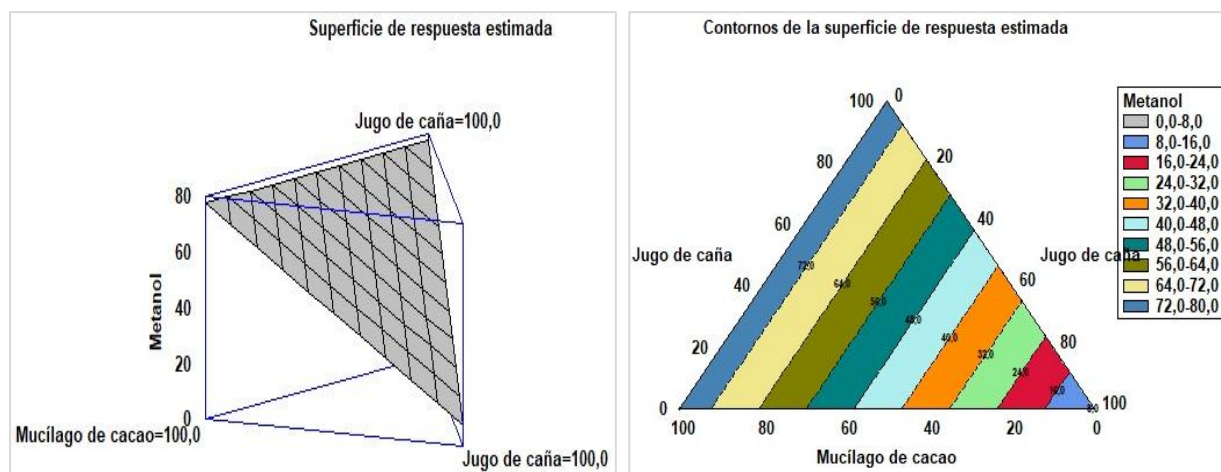


Figura 14: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 14 A. Presenta al analizar la gráfica tridimensional que corresponde a la respuesta estimada para el metanol aumentan progresivamente a medida que se incrementan ambos componentes con una pendiente más pronunciada hacia la región de concentraciones superiores (60-80), la superficie alcanza su máximo en la zona cercana al vértice donde ambos factores se

aproximan al 80 %, lo que sugiere una interacción positiva entre el jugo de caña y el mucílago de cacao sobre la producción de metanol, esta representación permite visualizar claramente el comportamiento conjunto de los factores dentro del dominio experimental estudiado, facilitando la identificación de regiones de ambos ingredientes en la generación del metanol.

B. Al examinar el diagrama de los niveles de la superficie ajusta para la producción de metanol, en función de las cantidades de jugo de caña y mucílago de cacao, los ejes representan ambos factores en un rango de 0 a 100 % mientras que las isolíneas delimitan regiones de igual valor predicho de metanol, con intervalos que van desde 0,0-8,0 hasta 72,0-80,0, se observa que los valores más bajos de metanol (0,0-8,0), se localizan en la región donde ambos factores se aproximan al 100% (esquina superior derecha), la distribución de los contornos muestra un gradiente progresivo y uniforme, indicando una relación creciente del metanol al incrementar simultáneamente ambos ingredientes, con una pendiente más pronunciada hacia niveles superiores, este comportamiento sugiere una interacción positiva entre el jugo de caña y mucílago de cacao sobre la generación de metanol, facilitando la identificación de combinaciones óptimas para alcanzar los niveles deseados de esta variable en el dominio experimental estudiados.

Al comparar estos valores con los aportados por NTE INEN 362-5 (2014), se evidencia una diferencia marcada: mientras que el documento solo presenta metanol detectable (3,07mg/100cm³), en la presente investigación varios tratamientos superan no solo ese valor, sino también el límite máximo permitido por la INEN (10mg/100cm³).

Según Calvache Guerrero & Toro Alvares (2020), sostiene que este compuesto es el producto de la degradación de pectinas que un mal control térmico en el alambique favorece su arrastre hacia la porción útil del destilado. La diferencia amplia entre los tratamientos y el estudio citado sugiere que en los procesos aquí evaluados existen mayor variabilidad en la calidad tecnológica o en el tipo de materia prima, lo cual coincide con las observaciones de productos artesanales de baja tecnificación.

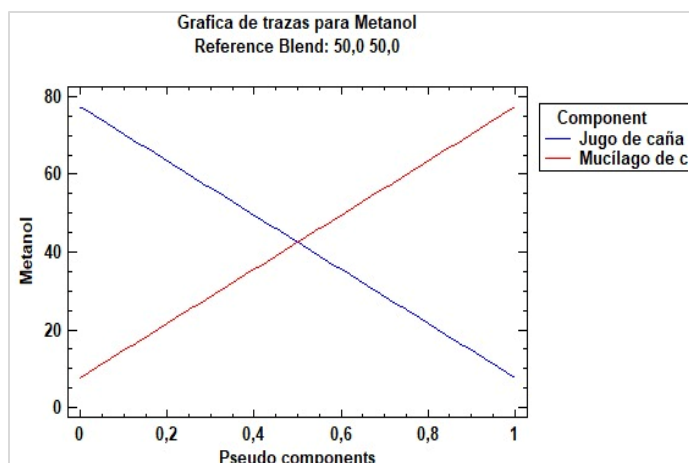


Figura 15: Grafica de trazas para Metanol
Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 15 presenta el gráfico de trazas para la variable metanol, mostrando el efecto individual de cada componente; mucílago de cacao y jugo de caña sobre la respuesta, manteniendo una mezcla de referencia fijada en 50% para ambos factores, en el eje horizontal se representan los componentes pseudo componentes (escala relativa de 0 a 1), mientras que en el eje vertical se muestran los valores de metanol, en un rango de 0 a 80, se observa que la línea correspondiente al mucílago de cacao presenta una tendencia creciente a medida que aumenta su proporción en la mezcla, indicando que mayores concentraciones de este componente favorecen la generación de metanol, su parte, la línea del jugo de caña muestra un comportamiento similar pero con una pendiente ligeramente diferente, sugiriendo que ambos factores ejercen una influencia positiva sobre la respuesta, aunque con magnitudes distintas, ambas líneas se intersecan en el punto de referencia (0,5; 40), y la dirección de las pendientes confirma la interacción positiva entre los factores, consistente con los patrones observados en las superficies de respuesta y gráficos de contornos previos para metanol (Figura 14 y contornos correspondientes), donde se evidenció un incremento progresivo del compuesto al aumentar simultáneamente ambos ingredientes.

11.2.3. I-isopropanol

Tabla 31: Efectos estimados de modelo completo para I-isopropanol.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Media	254,781	1	254,781		
Lineal	39,2392	1	39,2392	18,21	0,0009
Cuadrático	20,8187	1	20,8187	34,70	0,0001
Cúbico	2,96416	1	2,96416	7,70	0,0181
Error	4,23632	11	0,38512		
Total	322,039	15			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 31 presenta el análisis de varianza del modelo completo para I-isopropanol. Los resultados indican que el efecto lineal ($F=18,21$; $p=0,05$), cuadrático ($F=34,70$; $p=0,05$) y el cubico ($F=7,70$; $p=0,0181$) son estadísticamente significativos ($p<0,05$), lo que sugiere que todos estos componentes contribuyen de manera relevante a explicar la variabilidad en la respuesta de I-isopropanol. El bajo error experimental evidencia un adecuado ajuste del modelo a los datos.

Tabla 32: Resultados del modelo completo I-isopropanol.

Modelo	Error estándar (SE)	R-cuadrado	R-cuadrado ajustado
Lineal	1,4681	58,34	55,14
Cuadrático	0,774623	89,29	87,51
Cúbico	0,62058	93,70	91,98

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 32 se presentan los resultados del modelo completo comparando los estadísticos de ajuste para modelo lineal, cuadrático y cúbico. El modelo cúbico presentó el mejor ajuste ($R^2=89,29\%$; R^2 ajustado= $87,51\%$) y el menor error estándar (0,62058), indicando una mayor capacidad para explicar la variabilidad del I-isopropanol.

Tabla 33: ANOVA de I-isopropanol

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo lineal	39,2392	1	39,2392	18,21	0,0009
Total error	28,0192	13	2,15532		
Total (corr.)	67,2584	14			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

*(existe confianza al 95 %) NS (no existe significancia)

Coefficiente de variación (CV)=5,23%

En la Tabla 33 presente el análisis de varianza (ANOVA) donde el modelo de I-isopropanol. El modelo lineal es estadísticamente significativo ($F=18,21$; $p<0,05$), lo que evidencia que los factores evaluados influyen en la concentración de I-isopropanol. El coeficiente de variación fue de 5,23%, la cual demuestra una buena precisión experimental con una confianza al 95%. Según Calosama (2021), que valores que oscilan entre 10-25 % de CV presentando una variabilidad normal lo que refleja una adecuada precisión experimental y menor variabilidad en los datos en este caso, el valor superior indica una menor precisión, posiblemente asociado a factores no controlados en las muestras.

Tabla 34: Resultados del ajuste del modelo lineal para I-isopropanol

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
A: Jugo de caña	1,834	0,656555		
B: Mucílago de caca	6,40867	0,656555		

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

Ecuación del modelo ajustado para isopropanol= $1,834 \cdot \text{Jugo de caña} + 6,40867 \cdot \text{Mucílago de cacao}$.

La Tabla 34 presenta los parámetros estimados del modelo lineal para la variable I-isopropanol, la cual detalla las estimaciones de los parámetros con sus respectivos errores estándar. El parámetro A (jugo de caña) muestra una estimación de 1,834 con 1 error estándar de 0,65, mientras que parámetro B (mucílago de cacao) tiene una estimación de 6,40 con el mismo error estándar. La tabla no incluye los valores de la estadística T ni los valores P correspondiente.

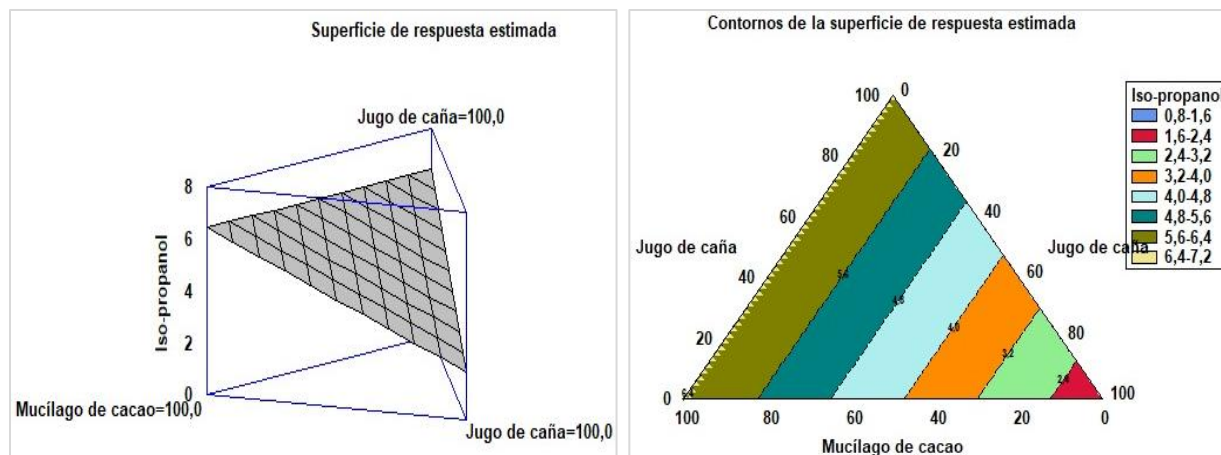


Figura 16: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).
Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Figura 16 A. Presenta la superficie de respuesta estimada para la variable de isopropanol en valores desde (2 a 8) en función a las concentraciones de mucilago de cacao y jugo de caña, en el gráfico tridimensional se observa una tendencia creciente de la respuesta a medida que ambos factores aumentan, con los valores más elevados localizados en la región donde los componentes se aproximan al 100%, forma de la superficie sugiere una interacción positiva entre el jugo de caña y el mucílago de cacao, indicando que concentraciones altas de ambos ingredientes favorecen el incremento isopropanol.

B. El grafico de curvas de nivel de la superficie de respuesta estimada para la variable isopropanol en relación de las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, los ejes representan ambos factores en un rango de 0 a 100%, mientras que las isolíneas delimitan regiones de igual valor predicho de isopropanol, con intervalos que van desde 0,8-1,6 hasta 6,4-7,2, se observa que los valores más bajos (0,8-1,6) se concentran en la zona de bajas concentraciones de ambos componentes (esquina inferior izquierda), mientras que los valores más altos (6,4-7,2) se localizan en la región donde ambos factores se aproximan al 100% (esquina superior derecha), la distribución de los contornos muestra un gradiente progresivo y uniforme, indicando una relación creciente de isopropanol al incrementar simultáneamente ambos componentes, con una pendiente más pronunciada hacia niveles superiores, este comportamiento sugiere una interacción positiva entre el jugo de caña y el mucílago de cacao sobre la generación de isopropanol, facilitando la identificación de combinaciones óptimas para analizar los niveles deseados de este compuesto en el dominio experimental estudiado.

Según la NTE INEN 375-3 (2018) establece un límite máximo de $3\text{mg}/100\text{cm}^3$ para los alcoholes superiores, entre los que se incluye el isopropanol. En este estudio, el grupo A presenta concentraciones nulas o no detectables de isopropanol, ubicado dentro de los rangos permitidos por la legislación vigente, los tratamientos pertenecientes al grupo homogéneo B registran valores que superan el límite máximo permitido, por lo que no cumplen por la norma. Estos resultados indican que, aunque la presencia de isopropanol en el grupo es atribuible al metabolismo secundario de las levaduras durante la fermentación de los sustratos ricos en azúcares como el jugo de caña y mucílago de cacao, evidenciando la necesidad de optimizar y controlar estrictamente las condiciones del proceso fermentativo y de destilación para garantizar el cumplimiento normativo.

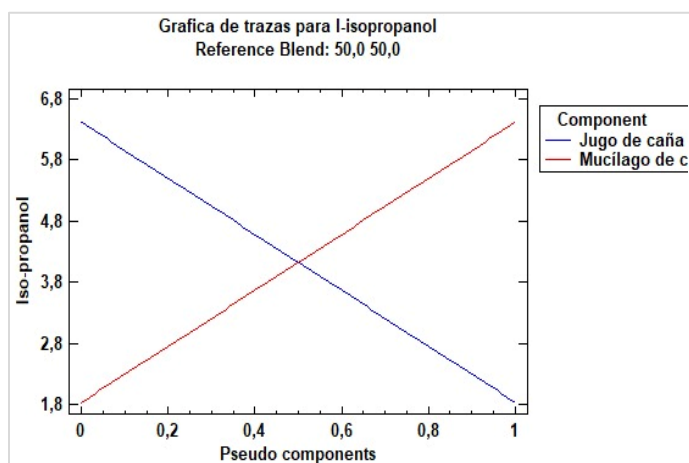


Figura 17: Grafica de trazas para I-isopropanol.

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Figura 17 presenta el gráfico de trazas para la variable isopropanol mostrando el efecto individual de cada componente; jugo de caña y mucílago de cacao sobre la respuesta, manteniendo una mezcla de referencia fijada en 50% para ambos componentes, en el eje horizontal se representan los componentes seudo componentes (escala relativa), mientras que en el eje vertical se muestran los valores de isopropanol, líneas correspondientes a cada componente permiten visualizar cómo varía la respuesta al modificar la proporción de un factor, manteniendo constante la relación del otro en la mezcla de referencia, La intersección de ambas líneas en el punto central (50:50) corresponde al valor predicho para la mezcla base, y las pendientes reflejan la magnitud y dirección del efecto de cada componente sobre la generación de isopropanol, el gráfico complementa el análisis de superficie de respuesta y los contornos facilitando la identificación de qué factor ejerce mayor influencia y si existen efectos contrastantes o sinérgicos, en coherencia con los modelos evaluados para esta variable.

11.2.4. N-propanol

Tabla 35: Efectos estimados de modelo completo para N-propanol.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Media	1613,47	1	1613,47		
Lineal	53,0404	1	53,0404	1,81	0,2016
Cuadrático	120,328	1	120,328	5,54	0,0365
Cúbico	76,864	1	76,864	4,60	0,0552
Error	183,874	11	16,7158		
Total	2047,58	15			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 35 presenta los efectos estimados del modelo completo para N-propanol. Los resultados indican que el componente lineal no es estadísticamente significativo ($F=1,81$; $p=0,2016 > 0,05$), mientras que el componente cuadrático muestra diferencia estadística (razón $F5,54$; valor $p=0,0365 < 0,05$). Por su parte el componente cúbico presente un valor p de $0,00552$, ligeramente por encima del umbral 5% , sugiriendo una tendencia, pero sin alcanzar la significancia estadística convencional.

Tabla 36: Resultados del modelo completo

Model	Error estándar (SE)	R-cuadrado	R-cuadrado ajustado
Lineal	5,41413	12,22	5,47
Cuadrático	4,66135	39,94	29,93
Cúbico	4,0885	57,64	46,09

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 36 presenta los resultados del modelo completo para N-propanol, comparando los estadísticos de ajuste de los modelos lineal, cuadrático y cúbico el modelo lineal muestra un error estándar de $5,41413$ y un R^2 cuadrado de $12,22$ y un R^2 cuadrado ajustado de $5,47\%$ el modelo cuadrático mejora el ajuste con un error estándar de $4,66135$ y un R^2 de $39,94\%$ y un cuadrado ajustado de $29,93$ mientras que el modelo cúbico presenta el mejor ajuste relativo con un error estándar de $4,0885$ y un cuadrado de $57,64\%$ y un cuadrado ajustado de $46,09\%$.

Tabla 37: ANOVA de N-propanol.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo lineal	53,0404	1	53,0404	1,81	0,2016
Total, error	381,066	13	29,3128		
Total (corr.)	434,107	14			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

*(existe confianza al 95 %) NS (no existe significancia)

Coefficiente de variación (CV)=1,70%

La Tabla 37 presenta el (ANOVA) del modelo lineal de N-propanol los resultados señalan que el modelo lineal no tiene significancia estadística razón F= 1,81 valor p= es igual a 0,2016 menor que 0,05 lo que surge que el efecto lineal de los factores no aplica de manera relevante la variabilidad de la respuesta. El error total presenta una suma de cuadrados de 381,076 con 13 grados de libertad y un cuadrado medio de 29,3128 mientras que el total corregido es de 434,107 con 14 grados de libertad se reportan un coeficiente de variación al 1,70% y se indican que existe confianza al 95%. Según Stanzer et al. (2023) dispersión de las observaciones respecto al valor medio, el resultado evidencia una heterogeneidad moderada en las muestras, pero aún dentro de rangos considerados manejables en estudios experimentales.

Tabla 38: Resultados del ajuste del modelo lineal para N-propanol

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
A: Jugo de caña	7,712	2,42127		
B: Mucílago de caca	13,0307	2,42127		

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

Ecuación del modelo ajustado para isopropanol= $7,712 \cdot \text{Jugo de caña} + 13,0307 \cdot \text{Mucílago de cacao}$.

La Tabla 38 presenta los parámetros estimados del modelo lineal para N-propanol detallando las aproximaciones de los parámetros con sus correspondientes errores estándar. El parámetro A (jugo de caña), muestra una estimación con un error estándar de 2,42127, mientras que el parámetro B (mucílago de cacao) tiene una estimación de 13,0307 con el mismo error estándar. La tabla no incluye los valores de la estadística T ni los valores P correspondientes.

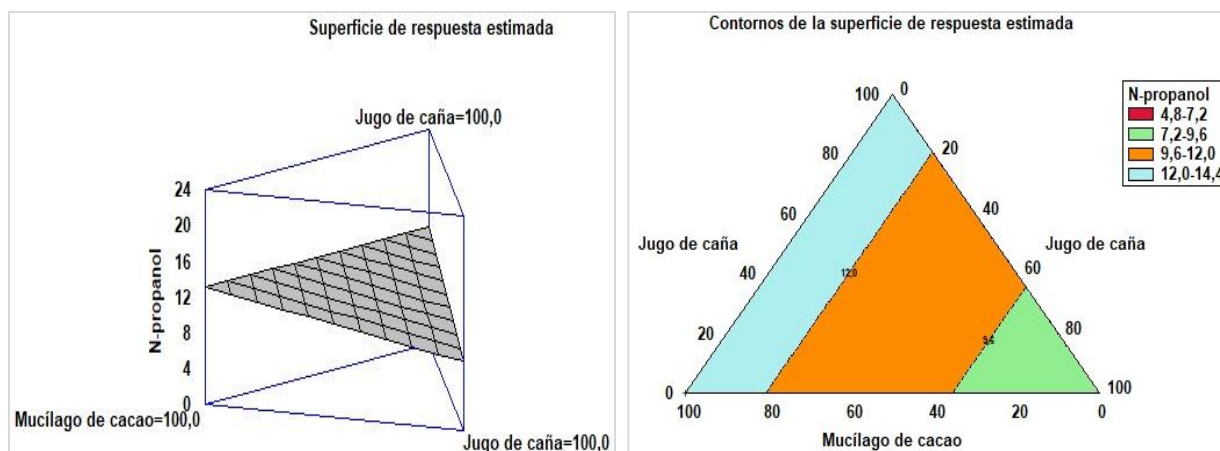


Figura 18: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).
Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Figura 18 A. presenta la función de respuesta estimada para la variable N-propanol en relación de las concentraciones de los componentes; jugo de caña y mucílago de cacao, ambos fijados en su nivel máximo de 100%, en el gráfico tridimensional se identifica que los valores estimados de N-propanol se sitúan de 0 a 24 unidades, la forma de la superficie sugiere una interacción positiva entre el jugo de caña y el mucílago de cacao, indicando que concentraciones altas de ambos ingredientes favorecen el incremento de la variable N-propanol.

B. El gráfico presenta la función de respuesta estimada para la variable N-propanol en relación de las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, los ejes representan ambos factores en un rango de 0 a 100%, mientras que las isolíneas delimitan regiones de igual valor predicho de N-propanol, con intervalos que van desde 4,8-7,2 hasta 12,0-14,4, se observa que los valores más bajos (4,8-7,2) se concentran en la zona de bajas concentraciones de ambos componentes (esquina inferior izquierda), mientras que los valores más altos (12,0-14,4) se localizan en la región donde ambos factores se aproximan al 100% (esquina superior derecha), distribución de los contornos muestra un gradiente progresivo y uniforme, indicando una relación creciente del N-propanol al incrementar simultáneamente ambos ingredientes, con una pendiente más pronunciada hacia niveles superiores, este comportamiento sugiere una interacción positiva entre el jugo de caña y el mucílago de cacao sobre la generación de N-propanol, facilitando la identificación de combinaciones óptimas para alcanzar los niveles deseados de este compuesto en el dominio experimental estudiado.

Estos resultados son comparables a los obtenidos por Carlosama Nicolalde (2021) donde los lotes

con mayores concentraciones de N-propanol corresponden tratamientos con medias superiores. En conjunto los resultados indican que el tratamiento y el tiempo de destilación afectan significativamente la producción de n-propanol, permitiendo diferenciar el comportamiento de los lotes y evidenciando la sensibilidad de este alcohol superior a condiciones del proceso.

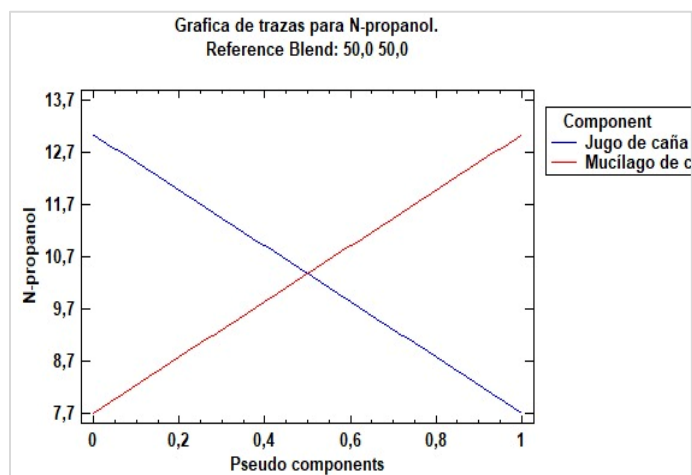


Figura 19: Grafica de trazas para N-propanol.
Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 19 presenta el gráfico de trazas para la variable N-propanol, mostrando el efecto individual de cada componente; jugo de caña y mucílago de cacao sobre la respuesta, manteniendo una mezcla de referencia fijada en 50% para ambos factores, en el eje horizontal se representan los componentes seudocomponentes (escala relativa de 0 a 1), mientras que en el eje vertical se muestran los valores predichos de N-propanol (7,7 a 13,7), se observa que la línea correspondiente al jugo de caña presenta una tendencia decreciente: al aumentar su proporción de 0 a 0,8, el N-propanol disminuye de 12,7 a 8,7, por el contrario la línea del mucílago de cacao muestra una tendencia creciente: al incrementar su proporción, el N-propanol aumenta de 7,7 a 11,7, ambas líneas se interceptan en el entorno de la mezcla de referencia (50:50), donde los valores se igualan aproximadamente, este comportamiento divergente confirma una interacción negativa entre los factores, indicando que el jugo de caña y el mucílago de cacao ejercen efectos opuestos sobre la generación de N-propanol, lo que es coherente con los patrones observados en los gráficos de contornos y superficies de respuesta previos para esta variable.

11.2.5. Acetato

Tabla 39: Efectos estimados de modelo completo para Acetato

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Media	12372,6	1	12372,6		
Lineal	237,952	1	237,952	2,43	0,1428
Cuadrático	84,9446	1	84,9446	0,86	0,3722
Cúbico	382,918	1	382,918	5,24	0,0428
Error	803,492	11	73,0448		
Total	13881,9	15			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 39 presenta los efectos estimados del modelo completo para acetato. Los resultados indican que los componentes lineales ($F=2,43$; $p=0,1428$) y cuadrático ($F=0,86$; $p=0,3722$) no son estadísticamente significativos mientras que el componente cúbico muestra significancia estadística ($F=5,24$; $p=0,0428 < 0,05$). El error tiene una suma de cuadrados de 803,492 con 11 grados de libertad y un cuadrado medio de 73,0448.

Tabla 40: Resultados del modelo completo de acetato

Modelo	Error estándar (SE)	R-cuadrado	R-cuadrado ajustado
Lineal	9,88921	15,77	9,29
Cuadrático	9,94322	21,39	8,29
Cúbico	8,54662	46,76	32,25

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 40 presenta los resultados del modelo completo para acetato, comparando los estadísticos de ajuste de los modelos lineal, cuadrático y cúbico. El modelo lineal muestra un error estándar de 9,88921, un R^2 15,77 y un R ajustado 9,29; el modelo cuadrático presenta un error estándar de 8,54662, con R^2 de 46,76 y un R^2 ajustado 32,25.

Tabla 41: ANOVA de Acetato

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo lineal	237,952	1	237,952	2,43	0,1428
Total, error	1271,36	13	97,7966		
Total (corr.)	1509,31	14			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

*(existe confianza al 95 %) NS (no existe significancia)

Coefficiente de variación (CV)=1%

La Tabla 41 presenta el (ANOVA) para el modelo lineal de acetato. Los resultados sugieren que el modelo lineal carece de significancia estadística ($F=2,43$; $p=0,1428 > 0,05$), lo que sugiere que el efecto lineal de los factores no explica de manera relevante la variabilidad de la respuesta. El error total tiene como una suma de cuadrados 1271,36 con 13 grados de libertad y un cuadrado medio de 97,7966, mientras que el total corregido es 1509,31 con 14 grados de libertad se reporta un coeficiente de variación del 1% y se indica que si te confianza 95%. Según Stanzer et al. (2023), el CV% de 10-20 presenta una variabilidad normal refleja una adecuada precisión experimental y menor variabilidad en los datos en este caso, el valor superior indica una menor precisión o una mayor variabilidad de los datos en torno a la media, posiblemente atribuible a factores no controlados o a la heterogeneidad de las muestras.

Tabla 42: Resultados del ajuste del modelo lineal para Acetato

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
A: Jugo de caña	34,3527	4,42259		
B: Mucílago de caca	23,0873	4,42259		

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

Ecuación del modelo ajustado para acetato= $34,3527 * \text{Jugo de caña} + 23,0873 * \text{Mucílago de cacao}$.

La Tabla 42 presenta los resultados para el ajuste del modelo lineal para acetato, detallando las aproximaciones de los parámetros con sus correspondientes errores estándar. El parámetro A (jugo de caña) muestra una estimación de 34,3527 un error estándar de 4,42259 mientras que el parámetro B (mucílago de cacao) tiene una estimación con el mismo error estándar. La tabla no incluye los valores del estadístico T ni los valores P correspondientes.

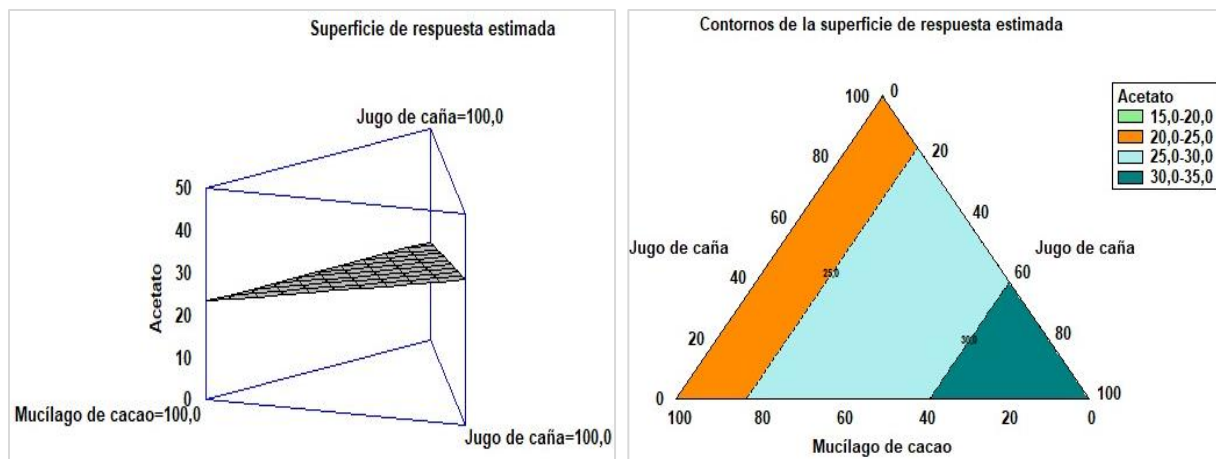


Figura 20: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 20 A. Presenta las isolíneas de nivel de la superficie de respuesta ajustada para la variable dependiente acetato en relación de las concentraciones de los componentes; jugo de caña y mucílago de cacao, con ambos factores fijados en su nivel máximo de 100%. En el gráfico tridimensional, el eje vertical muestra la concentración de acetato (0 a 50 unidades), la superficie muestra una forma que sugiere un incremento de la respuesta hacia la región de altas concentraciones de ambos componentes, alcanzando su punto máximo en el vértice donde los factores se aproximan al 100% .

B. El gráfico presenta las isolíneas de nivel de la superficie de respuesta ajustada para la variable acetato en relación de las concentraciones de los componentes; jugo de caña y mucílago de cacao, los ejes representan ambos factores en un rango de 0 a 100%, mientras que las isolíneas delimitan regiones de igual valor de acetato, con intervalos que van desde 15,0-20,0 hasta 30,0-35,0, os valores más bajos (15,0-20,0) se concentran en la zona de bajas concentraciones de ambos componentes (esquina inferior izquierda), mientras que los valores más altos (30,0-35,0) se localizan en la región donde ambos factores se aproximan al 100% (esquina superior derecha), la distribución de los contornos muestra un gradiente progresivo y uniforme, indicando una relación creciente del acetato al incrementar simultáneamente ambos ingredientes, con una pendiente más pronunciada hacia niveles superiores, este comportamiento sugiere una interacción positiva entre el jugo de caña y el mucílago de cacao sobre la generación de acetato, facilitando la identificación de combinaciones óptimas para alcanzar los niveles deseados de este compuesto en el dominio experimental estudiado.

Según Zambrano Rosado (2021) describe que el acetato forma parte de compuestos secundarios generados durante los procesos de fermentación y destilación de bebidas de origen agrícola, y su concentración está relacionada directamente con las condiciones operativas del proceso, como el pH, temperatura y el tiempo de fermentación y destilación. En este contexto 3,71 mg/100cm³ de acetato reportado en este estudio como un nivel de un proceso controlado y estable, donde no se favorece una oxidación excesiva del etanol ni una acumulación anormal de compuestos derivados. El estudio señala que las concentraciones de acetato son moderadas en las bebidas obtenidos a partir de matriz frutales con caña de azúcar, siempre que el proceso cumpla con los parámetros técnicos y normativos establecidos, lo cual respalda que el valor obtenido se encuentra dentro de un rango compatible con una adecuada calidad química del producto final.

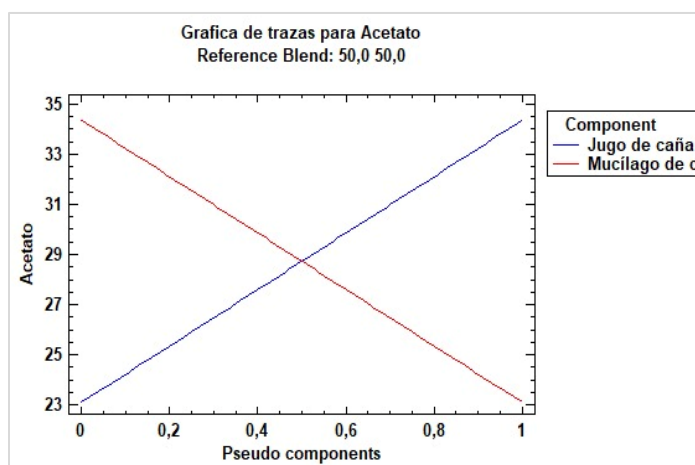


Figura 21: Gráfica de trazas para Acetato.
Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 21 presenta el gráfico de trazas para la variable acetato, mostrando el efecto individual de cada componente; jugo de caña y mucílago de cacao sobre la respuesta, manteniendo una mezcla de referencia fijada en 50% para ambos factores, en el eje horizontal se representan los componentes pseudocomponentes (escala relativa), mientras que en el eje vertical se muestran los valores predichos de acetato (23 a 35), líneas correspondientes a cada componente permiten visualizar cómo varía la respuesta al modificar la proporción de un factor, manteniendo constante la relación del otro en la mezcla de referencia, la intersección de ambas líneas en el punto central (50:50) corresponde al valor predicho para la mezcla base, las pendientes reflejan la magnitud y dirección del efecto de cada componente sobre la generación de acetato, el gráfico complementa el análisis de superficie de respuesta y los contornos previos para acetato, facilitando la

identificación de qué factor ejerce mayor influencia y si existen efectos contrastantes o sinérgicos.

11.2.6. I-butanol

Tabla 43: Efectos esperados de modelo completo para I-butanol.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Media	2709,24	1	2709,24		
Lineal	7,6912	1	7,6912	1,12	0,3100
Cuadrático	0,803717	1	0,803717	0,11	0,7474
Cúbico	3,21441	1	3,21441	0,41	0,5335
Error	85,5598	11	7,77816		
Total	2806,5	15			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Tabla 43 presenta los efectos estimados del modelo completo para I-butanol. los resultados indican que ninguno de los componentes evaluados estadísticamente significativo ($p > 0,05$): el componente lineal muestra una razón de 1,12 con un valor p de 0,3100 el componente cuadrático presenta una razón F de 0,11 con un valor p de 0,7474 y el comprobante cúbico tiene una razón F de 0,41 con un valor p de 0,5335.

Tabla 44: Resultados del modelo completo

Modelo	Error estándar (SE)	R-cuadrado	R-cuadrado ajustado
Lineal	2,625	7,91	0,82
Cuadrático	2,7199	8,73	0,00
Cúbico	2,78894	12,04	0,00

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 44 presentan los resultados del modelo completo para I-butanol comparando los datos estadísticos de ajuste de los modelos lineal, cuadráticos y cúbicos. El modelo lineal muestra un error estándar el modelo cuadrático tiene un error estándar mientras que el modelo cúbico presenta un error estándar de 2,625, un R cuadrado de 7,91% y un R cuadrado ajustado de 0,82% en el modelo cuadrático tiene un error estándar de 2,7199 un R cuadrado de 8,73 y R cuadrado ajustado de 0,00%; mientras que el modelo cubico presenta un error estándar de 2,7894, con R ajustado de 0,00%.

Tabla 45: ANOVA de I-butanol

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo lineal	7,6912	1	7,6912	1,12	0,3100
Total, error	89,5779	13	6,89061		
Total (corr.)	97,2691	14			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

*(existe confianza al 95 %) NS (no existe significancia)

Coefficiente de variación (CV)=2,93%

La Tabla 45 presenta análisis de ANOVA para el modelo lineal de I-butanol. Los resultados indican que el modelo lineal no es estadísticamente significativo ($F=01,12$: $p=0,3100 > 0,05$), lo que requiere que el efecto lineal de los factores no explica de manera relevante la variabilidad de respuesta. El error total tiene una suma de cuadrados de 88,5779 con 13 grados de libertad y el cuadrado medio de 6,89061, mientras que el total corregido es 97,2691, con 14 grados de libertad. Se reporta con un coeficiente de variación de 2,93% y se indica que existe una confianza de 95%. Según Espín (2017) valores de CV entre 10% y 22% indican una precisión experimental aceptable, con una variabilidad de los datos en torno a valor medio, que puede considerarse manejable en estudios de esta naturaleza, a pesar de la ausencia de diferencias significativas, la variabilidad observada se mantiene dentro de rangos razonables.

Tabla 46: Resultados del ajuste del modelo lineal para I-butanol

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
A: Jugo de caña	14,452	1,17393		
B: Mucílago de cacao	12,4267	1,17393		

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

Ecuación del modelo ajustado para butanol= $14,452 * \text{Jugo de caña} + 12,4267 * \text{Mucílago de cacao}$.

La Tabla 46 presenta los coeficientes de regresión del modelo lineal para la variable I-butanol, mostrando las estimaciones de los parámetros junto con su error estándar. Para el parámetro A (jugo de caña), la estimación es de 14,452 con un error estándar de 1,17393 mientras que para el parámetro B (mucílago de cacao), la estimación es 12,4267 con el mismo error estándar ta tabla no incluye los valores estadísticos T ni los valores-P correspondientes.

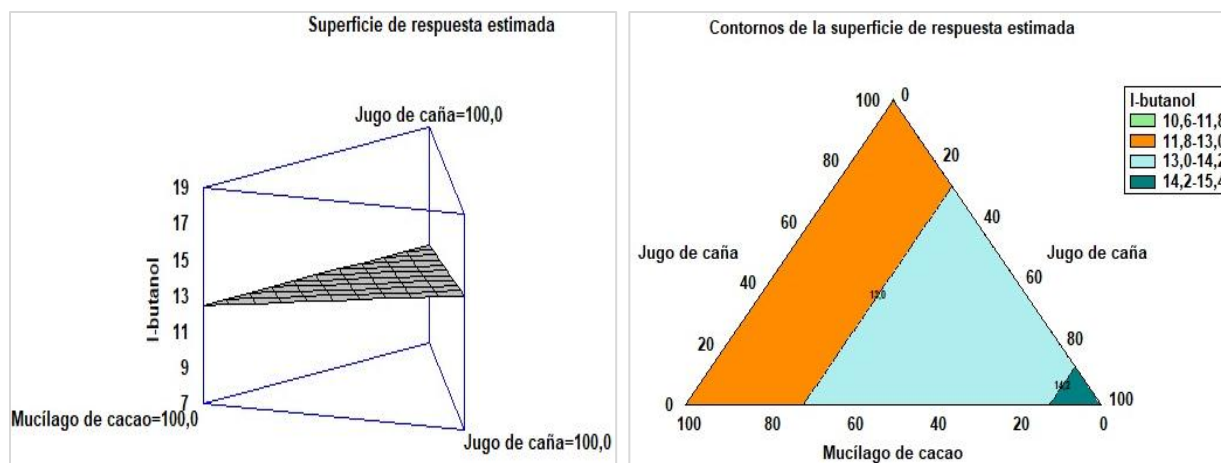


Figura 22: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Figura 22 A. Presenta las isolíneas de nivel de la superficie de respuesta ajustada para la variable de I-butanol en relación de las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, en el grafico tridimensional se observa que los valores de la respuesta, representados en el eje vertical, oscilan aproximadamente entre 9 y 19 unidades, mostrando una tendencia decreciente a medida que se suben los niveles de los componentes, la superficie presenta una pendiente negativa pronunciada hacia la región de concentraciones superiores, alcanzando su valor mínimo en la zona cercana al vértice donde ambos factores se aproximan al 100 %, este comportamiento sugiere una interacción negativa entre el jugo de caña y el mucílago de cacao sobre la variable estudiada, indicando que mayores concentraciones de ambos componentes tienden a reducir la respuesta.

B. El grafico de curvas de nivel de la superficie de respuesta ajustada para la variable I-butanol en relación de las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, los ejes representan ambos factores en un rango de 0 a 100%, mientras que las isolíneas delimitan regiones de igual valor de I-butanol, con intervalos que van desde 10,6-11,8 hasta 14,2-15,4, se observa que los valores más bajos (10,6-11,8) se concentran en la zona de bajas concentraciones de ambos factores se aproximan al 100 % (esquina superior derecha), la distribución de los contornos muestra un gradiente progresivo y uniforme, indicando una relación creciente de I-butanol al incrementar simultáneamente ambos componentes, con una pendiente más pronunciada hacia niveles superiores, este comportamiento sugiere una interacción positiva entre el jugo de caña y mucílago de cacao sobre la generación de I-butanol, facilitando la identificación de combinaciones óptimas para alcanzar los niveles deseados de este compuesto en el dominio experimental estudiado.

Según Ortiz Quiñonez (2024) define al I-butanol ($C_4H_{10}O$) se conceptualiza como un alcohol primario de cadena lineal, clasificado entre los congéneres fermentativos que pueden originarse tanto por metabolismo bacteriano. Se caracteriza por ser un líquido incoloro, con un olor acre y dulzón, solubilidad limitada en agua y una volatilidad moderada. En este estudio, la cuantificación a través de cromatografía de gases arrojó una concentración de 85 mg/100 mL valor que, tras la evaluación de los perfiles volátiles derivados de la fermentación, se ajusta a los límites establecidos para alcoholes superiores en la norma técnica NTE INEN 339, lo cual se verifica, mediante validación analítica, que los parámetros cumplen con los umbrales regulatorios exigidos para bebidas destiladas, donde este compuesto cumplen en los intervalos de aceptación regulatorios exigidos para el tipo de bebida obtenido.

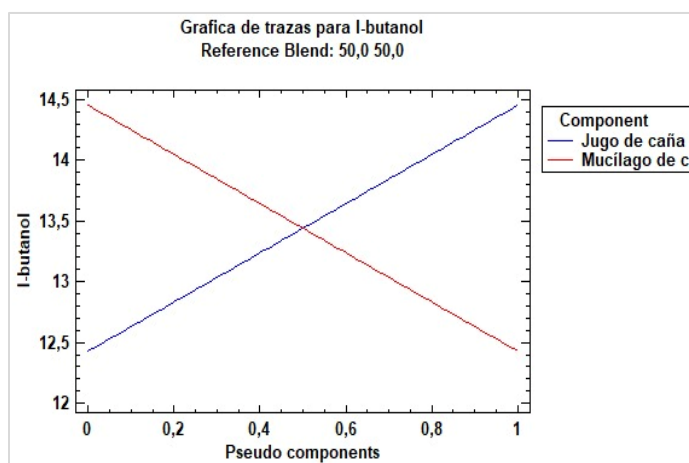


Figura 23: Gráfica de trazas para I-butanol.
Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 23 presenta el gráfico de trazas para la variable I-butanol mostrando el efecto individual de cada componente; jugo de caña y mucílago de cacao sobre la respuesta, manteniendo una mezcla de referencia fijada en 50% para ambos factores, en el eje horizontal se representan los componentes pseudocomponentes (escala relativa de 0 a 1), mientras que en el eje vertical se muestran los valores de I-butanol, las líneas correspondientes a cada componente permiten visualizar como varia la respuesta al modificar la proporción de un factor, manteniendo la constante de la relación del otro en la mezcla de referencia, la intersección de ambas líneas en el punto central (0,5; 0,5) corresponde al valor predicho para la mezcla base, y las pendientes reflejan la magnitud y dirección del efecto de cada componente sobre la generación de I-butanol, facilitando la identificación de que factor ejerce mayor influencia y si existen efectos contrastantes,

en coherencia con los modelos cuadráticos previamente evaluados para esta variable.

11.2.7. Iso-amílico

Tabla 47: Efectos estimados de modelo completo para Iso-amílico.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Media	34723,4	1	34723,4		
Lineal	352,33	1	352,33	3,26	0,0944
Cuadrático	0,860002	1	0,860002	0,01	0,9331
Cúbico	24,246	1	24,246	0,19	0,6689
Error	1381,47	11	125,588		
Total	36482,3	15			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 47 se presenta los efectos estimados del modelo completo para acetato, la cual se puede observar que los efectos lineales ($p=0,0944$), cuadrático ($p=0,9331$) y cúbico ($p=0,6689$) el valor-p es mayor que 0,05 por lo que no existe un efecto significativo al 95 % de confiabilidad sobre la concentración de Iso-amílico. Sin embargo, el efecto lineal muestra una ligera tendencia de influencia a nivel del 10% de significancia.

Tabla 48: Resultados del modelo completo de iso-amílico.

Modelo	Error estándar (SE)	R-cuadrado	R-cuadrado ajustado
Lineal	10,4018	20,03	13,88
Cuadrático	10,8232	20,08	6,76
Cúbico	11,2066	21,46	0,04

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Tabla 48 los resultados muestran que los modelos presentan valores bajos de R^2 y R^2 ajustado lo que indica que los factores evaluados explican una pequeña proporción de la variabilidad del iso-amílico. Entre los modelos evaluados, el modelo lineal presenta el mejor ajuste relativo con un R^2 ajustado de 13,88%.

Tabla 49: ANOVA de Iso-amílico

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo lineal	352,33	1	352,33	3,26	0,0944
Total, error	1406,57	13	108,198		
Total (corr.)	1758,9	14			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

*(existe confianza al 95 %) NS (no existe significancia)

Coefficiente de variación (CV)=1%

En la Tabla 49 el análisis de varianza indica que el modelo lineal para iso-amílico mostró un valor-p de 0,0944 indicando que no existe un efecto estadísticamente significativo al 95% de confianza ($p > 0,05$). Sin embargo, el coeficiente de variación (1%) evidencia una adecuada precisión experimental en las mediciones. Según Calvache Guerrero & Toro Alvares (2020) los valores de $CV \leq 15\%$ reflejan una correcta precisión experimental y una baja dispersión de los datos alrededor de la media; en este caso, el resultado evidencia una buena homogeneidad en las muestras y el control aceptable de los factores experimentales.

Tabla 50: Resultados del ajuste del modelo lineal para Iso-amílico.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
A: Jugo de caña	41,2593	4,65183		
B: Mucílago de cacao	54,9673	4,65183		

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Tabla 50 muestran los siguientes estimados del modelo lineal indican que ambos factores contribuyen a la formación de iso-amílico dentro de las condiciones evaluados, siendo el mucílago de cacao (54,9673) presenta mayor efecto de estimación en comparación con el jugo de caña (41,2593).

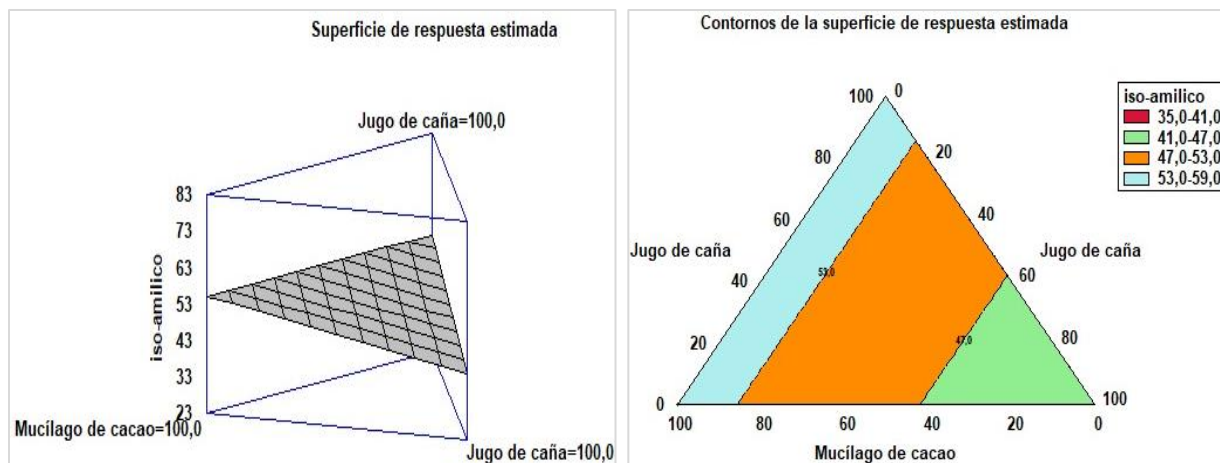


Figura 24: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 24 A. Presenta el modelo de superficie de respuesta para concentración de isoamílico a partir de las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, ambos fijados en su nivel máximo de 100% en los ejes, en el grafico tridimensional se observa que los valores de la respuesta, representados en el eje vertical, oscilan aproximadamente entre 23 y 83 unidades, mostrando una tendencia creciente a medida que ambos componentes aumentan, la superficie presenta una pendiente pronunciada hacia la región de concentraciones superiores, alcanzando su punto máximo en la zona cercana al vértice donde ambos factores se aproximan al 100%, lo que sugiere una interacción positiva y un posible efecto sinérgico sobre la variable estudiada, esta representación permite visualizar el comportamiento conjunto de los factores dentro del dominio experimental y facilita la identificación de regiones optimas.

B. El grafico presenta las isolíneas de la superficie de respuesta ajustada para la variable isoamílico respecto a las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, los ejes representan ambos factores en un rango de 0 a 100%, mientras que las isolíneas delimitan regiones de igual valor de isoamílico, con intervalos que van desde 35,0-41,0 hasta 53,0-59,0, se observa los valores más bajos (35,0-41,0, región roja) se concentran en la zona de bajas concentraciones de mucílago de cacao y niveles intermedios de jugo de caña, mientras que los valores más altos (53,0-59,0, región púrpura) se localizan en la esquina superior derecha, donde ambos factores se aproximan al 100 %, la distribución de los contornos muestra un gradiente creciente hacia el vértice de máximas concentraciones, indicando una relación positiva y una interacción sinérgica entre el jugo de caña y el mucílago de cacao sobre la generación de isoamílico, este comportamiento permite identificar

combinaciones óptimas para alcanzar los niveles deseados isoamílico en el dominio experimental estudiado.

Según Ortiz Quiñonez (2024) el alcohol Isoamílico (3-metil-1-butanol, $C_5H_{12}O$) se conceptualiza como un alcohol superior de cadena ramificada, perteneciente a los congéneres fermentativos, se caracteriza por ser un líquido incoloro, con un aroma característico a plátano o pera, moderadamente soluble en agua y con una volatilidad intermedia. En la investigación realizada, la cuantificación mediante cromatografía de gases arrojó una concentración de 20 a 45 mg/100 mL valor que, tras la evaluación de los metabolitos volátiles generados durante la fermentación se ajusta a los umbrales máximos establecidos en la normativa NTE INEN 375 en consecuencia, mediante la validación analítica, que los parámetros cumplen en los intervalos de aceptación regulatorios exigidos para el tipo de bebida obtenido.

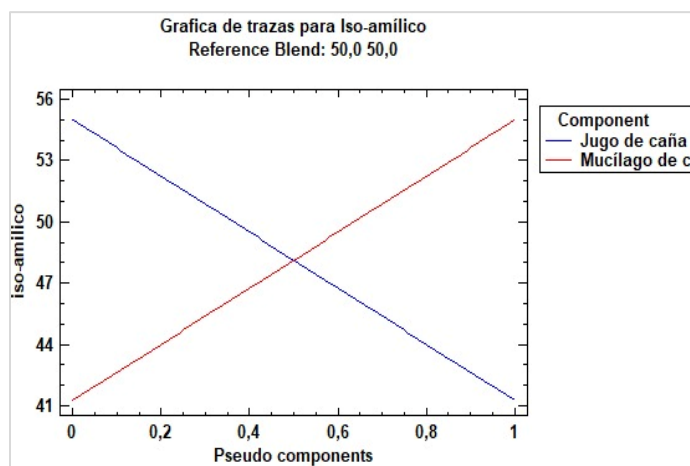


Figura 25: Gráfica de trazas para Iso-amílico.

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Figura 25 presenta el gráfico de trazas para la variable isoamílico, mostrando el efecto individual de cada componente; jugo de caña y mucílago de cacao sobre la respuesta, manteniendo una mezcla de referencia fijada en 50% para ambos componentes, en el eje horizontal se representan los componentes seudocomponentes (escala relativa de 0 a 1), mientras que el eje vertical se muestran los valores predichos de isoamílico, es un rango aproximado de 41 a 56, se observa que las líneas correspondientes a cada componente presentan tendencias opuestas: una de ellas muestra un comportamiento creciente a medida que aumenta su proporción en la mezcla, mientras que la otra exhibe una tendencia decreciente, indicando que los factores ejercen influencias contrastantes sobre la generación de isoamílico, ambas líneas se interceptan en el punto

de referencia (50:50), y la magnitud de las pendientes refleja la importancia relativa de cada componente en la modulación de la respuesta, este comportamiento confirma la presencia de interacción entre los factores y es coherente con los patrones observados en las superficies de respuesta y gráficos de contornos previos para isoamílico, facilitando la comprensión de como las variaciones en la composición afectan a los niveles de isoamílico en el dominio experimental estudiado.

11.2.8. Furfural

Tabla 51: Efectos estimados de modelo completo para furfural.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Media	1542,7	1	1542,7		
Lineal	94,5898	1	94,5898	2,85	0,1151
Cuadrático	320,215	1	320,215	34,59	0,0001
Cúbico	82,4689	1	82,4689	31,71	0,0002
Error	28,6096	11	2,60088		
Total	2068,58	15			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Tabla 51 se puede observar que los efectos cuadráticos ($p=0,0001$) y cúbicos ($p=0,0002$) influyen significativamente ($p>0,05$) en la formación de furfural, mientras que el efecto lineal no presenta influencia significativa dentro de las condiciones evaluadas.

Tabla 52: Resultados del modelo completo.

Modelo	Error estándar (SE)	R-cuadrado	R-cuadrado ajustado
Lineal	5,7599	17,99	11,68
Cuadrático	3,04246	78,88	75,36
Cúbico	1,61272	94,56	93,08

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

Las Tabla 52 presentan los resultados del modelo completo de furfural, las cuales muestra que el modelo cúbico presenta el mejor ajuste con $R^2=94,56\%$ de la variabilidad del furfural, seguido del modelo cuadrático ($R^2=78,88\%$), mientras que el modelo lineal presenta una baja capacidad explicativa ($R^2=17,99\%$).

Tabla 53: ANOVA de Furfural.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo lineal	94,5898	1	94,5898	2,85	0,1151
Total, error	431,294	13	33,1764		
Total (corr.)	525,884	14			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

*(existe confianza al 95 %) NS (no existe significancia)

Coefficiente de variación (CV)=1,34%

En la Tabla 53 de ANOVA se puede observar que el modelo lineal para furfural presentó un valor-p de 0,1151 indicando que no existe un efecto estadístico significativo al 95% de confianza ($p > 0,05$), sin embargo, el bajo coeficiente de variación (1,34%) evidencia una adecuada precisión experimental en las mediciones realizadas. Según Guerrero & Alvares (2020) valores de CV inferiores al 15% indican una adecuada precisión experimental y una baja dispersión de los datos en respecto a la media en este contexto el resultado evidencia una buena homogeneidad en las muestras y un control aceptable de los factores experimentales, lo que otorga confiabilidad a los resultados obtenidos.

Tabla 54: Resultados del ajuste del modelo lineal para Furfural.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
A: Jugo de caña	13,6927	2,57591		
B: Mucílago de cacao	6,59	2,57591		

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Tabla 54 los coeficientes estimados indican que ambos factores contribuyen a la formación de furfural dentro de las condiciones devaluadas, siendo el jugo de caña (13,6927) el que presenta mayor efecto estimado en comparación con el mucílago de cacao (6,59)

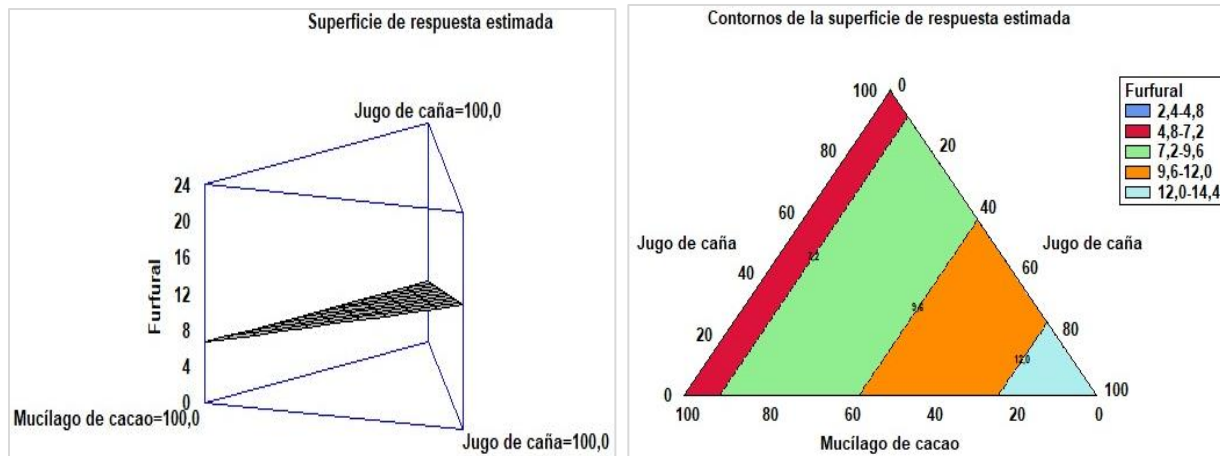


Figura 26: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).
Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Figura 26 A. Se exhibe la superficie de respuesta modelada para el furfural en relación de las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, en el gráfico tridimensional indica que los valores de furfural aumentan progresivamente a medida que se incrementan ambos componentes, con una pendiente más pronunciada hacia la región de concentraciones superiores, la superficie alcanza su máximo en la zona cercana al vértice donde ambos factores se aproximan al 100 %, lo que sugiere una interacción positiva entre el jugo de caña y el mucílago de cacao sobre la concentración de furfural, esta representación permite visualizar el comportamiento conjunto de los factores dentro del dominio experimental estudiado, facilitando la identificación de regiones óptimas para la respuesta.

B. El gráfico presenta los contornos de respuesta en función de furfural en función de las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, los ejes representan ambos factores en un rango de 0 a 100% mientras las isóneas delimitan regiones de igual valor de furfural, con intervalos que van desde 2,4-4,8 hasta 12,0-14,4, se observa que los valores más bajos de furfural son (2,4 - 4,8) se concentran en la zona de bajas concentraciones de ambos componentes (esquina inferior izquierda), mientras que los valores más altos (12,0-14,4) se localizan en la región donde ambos factores se aproximan al 100% (esquina superior derecha), la distribución de los contornos muestra un progreso relativamente uniforme, indicando una relación creciente de furfural al incrementar simultáneamente ambos componentes, la forma de las curvas sugiere una interacción positiva entre el jugo de caña y el mucílago de cacao en la generación de furfural, con un efecto combinado que se acentúa en niveles superiores de concentración, facilitando la identificación de combinaciones óptimas para alcanzar los niveles deseados de furfural en el dominio experimental

estudiado.

Según Araujo Ulloa (2017) conceptualiza que el furfural ($C_5H_4O_2$) es un compuesto orgánico heterocíclico de la familia de los furfural aldehídos, que se presenta como un líquido aceitoso, incoloro y pálido, con olor almendrado característico, alta volatilidad y solubilidad en agua. En este estudio, se reporta una concentración de 10 mg/100 mL, valor que derivado de los procesos fermentativos y los análisis realizados, cumple con los lineamientos de la norma técnica NTE INEN 375, confirmando que los resultados se encuentran fuera del rango permitido de límites máximos exigidos para asegurar la calidad e inocuidad del producto.

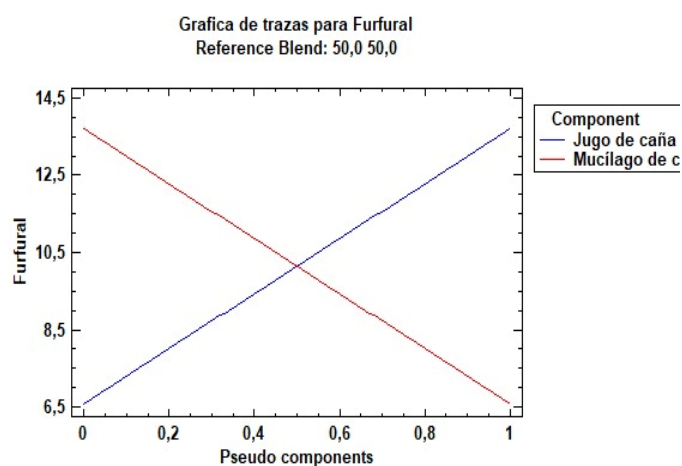


Figura 27: Grafica de trazas para Furfural.

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 27 presenta el grafico de trazas para la variable furfural, mostrando el efecto individual de cada componente; jugo de caña y mucílago de cacao sobre la respuesta, manteniendo una mezcla de referencia fijada de 50 % para ambos componentes, el eje horizontal se representan los componentes seudocomponentes (escala relativa), mientras que el eje vertical se muestran los valores de furfural, se observa que la línea correspondiente una tendencia decreciente a medida que aumenta su proporción en la mezcla, indicando que mayores concentraciones de los componentes tienden a disminuir los niveles de furfural, por el contrario la línea del mucílago de cacao muestran un comportamiento creciente, sugiriendo que incremento de este factor favorece la generación de furfural, ambas líneas se interceptan en el punto de referencia (50:50), y la magnitud de las pendientes indica que el mucílago de cacao ejerce una influencia positiva más pronunciada sobre la respuesta, mientras que el jugo de caña tiene un efecto negativo, este comportamiento diferente confirma la presencia de interacción entre los factores y sugiere que el

modelo cuadrático presenta el mejor ajuste para describir la relación.

11.3. Rendimiento

Tabla 55: Coeficientes estimados del modelo completo para la variable rendimiento.

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Media	4770,42	1	4770,42		
Lineal	11,4083	1	11,4083	17,60	0,0010
Cuadrático	3,72024	1	3,72024	9,49	0,0095
Cúbico	2,13333	1	2,13333	9,13	0,0116
Error	2,57143	11	0,233766		
Total	4790,25	15			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 55 presenta los valores estimados de los efectos completos para el Rendimiento en la cual se puede observar que los efectos lineales ($p=0,0010$), cuadrático ($p=0,0095$) y cúbico (valor $p=0,0116$) presentan valores menores a 0,05, esto indica que todos los componentes tienen un efecto estadísticamente significativo al 95% de confianza sobre el parámetro evaluado. Esto sugiere que los parámetros evaluados influyen de manera relevante en el rendimiento con contribuciones significativas tanto en el ámbito lineal como en el orden superior.

Tabla 56: Resultados para el modelo completo.

Modelo	Error estándar (SE)	R-cuadrado	R-cuadrado ajustado
Lineal	0,805032	57,52	54,25
Cuadrático	0,62615	76,28	72,32
Cúbico	0,483494	87,03	83,50

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Tabla 56 compara los modelos lineal cuadrático y cúbico para el rendimiento. Según el criterio de significancia, el modelo cúbico resulta el más adecuado de la variabilidad ($R^2=87,03\%$ y R^2 ajustado= $83,50\%$), además presenta el menor error estándar, aunque el modelo seleccionado actualmente es lineal los resultados sugieren que el cúbico es el mejor que presenta un buen ajuste a los datos experimentales.

Tabla 57: ANOVA de Rendimiento

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo lineal	11,4083	1	11,4083	17,60	0,0010
Total error	8,425	13	0,648077		
Total (corr.)	19,8333	14			

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

*(existe confianza al 95 %) NS (no existe significancia)

Coefficiente de variación (CV)=9,56%

La Tabla 57 presenta el (ANOVA) del modelo lineal de rendimiento donde se identifica que el modelo tiene diferencia estadísticamente significativa, esto indica un nivel de significancia del 95% de confianza. El componente lineal de los factores evaluados tiene un efecto significativo donde la variabilidad de respuesta es buena. El coeficiente de variación de este análisis fue 9,56%, esto demuestra que el experimento o proceso tiene una buena precisión y que los errores de medición son mínimos. Menciona Patiño (2011) los $CV \geq 0,37\%$ indica una alta precisión en los datos, y mayor confiabilidad en los resultados obtenidos, lo que respalda la consistencia del análisis realizado para el rendimiento.

Tabla 58: Parámetros estimados del modelo lineal para la variable rendimiento.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
A: Mucílago de cacao	16,6	0,360021		
B: Jugo de caña	19,0667	0,360021		

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

Ecuación del modelo ajustado de % rendimiento= $16,6 * \text{Mucílago de cacao} + 19,0667 * \text{Jugo de caña}$.

La Tabla 58 presenta los datos para el modelo lineal para el rendimiento, detallando las predicciones de los parámetros con su respectivo error estándar. El mucílago de cacao muestra una estimación de 16,6 con un error estándar de 0.360021, mientras que el jugo de caña tiene una estimación de 19,0667 con el mismo error estándar. La tabla no incluye valores estadísticos T y los valores-p por lo que no es posible determinar individual de cada factor.

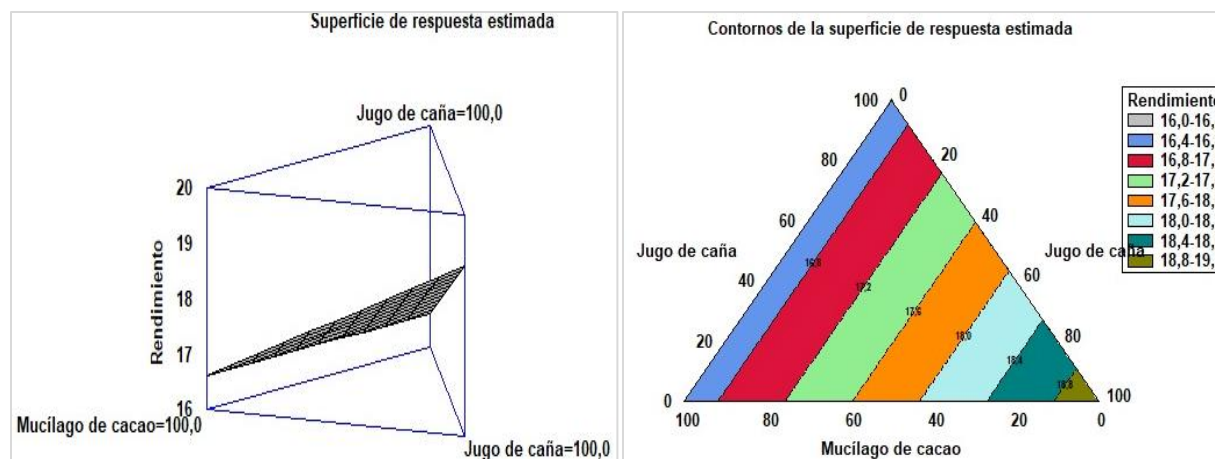


Figura 28: Superficie de respuesta estimada (A) & Contornos de la superficie de respuesta estimada (B).
Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

La Figura 28 A. Presenta la proyección de superficie de respuesta estimada para la variable % rendimiento desde 16 a 20 % con un % de rendimiento de 19 % en función de las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, en el grafico tridimensional se observa que el rendimiento presenta una tendencia creciente a medida que ambos componentes aumentan, alcanzando sus valores más elevados en la región donde los factores se aproximan al 100 %, la forma de superficie sugiere una interacción positiva entre el jugo de caña y el mucílago de cacao, indicando que concentraciones altas de ambos componentes favorecen un mayor porcentaje de rendimientos en las condiciones experimentales.

B. El grafico presenta el mapa de contornos de la variable % rendimiento en relación de las concentraciones de jugo de caña y mucílago de cacao, los ejes representan ambos factores en un rango de 0 a 100%, mientras que las isolíneas delimitan regiones de igual valor predicho de rendimiento, con intervalos que van desde 16,0-16,4% hasta 18,8-19,2%, observa que los valores más bajos de rendimiento (16,0-16,4%) se concentran en la zona de bajas concentraciones de ambos componentes (esquina inferior izquierda), mientras que los valores más altos (18,8-19,2%) se localizan en la región donde ambos factores se aproximan al 100% (esquina superior derecha), distribución de los contornos muestra un gradiente progresivo y relativamente uniforme, indicando una relación creciente del rendimiento al incrementar simultáneamente ambos ingredientes, con una pendiente moderada hacia niveles superiores, este comportamiento sugiere una interacción positiva entre el jugo de caña y el mucílago de cacao sobre el porcentaje de rendimiento, facilitando la identificación de combinaciones óptimas para maximizar esta variable en el dominio experimental estudiado.

Los valores encontrados son similares a los presentados por Ortiz Quiñonez (2024) en donde se observa pequeñas variaciones en la composición del medio de fermentación pueden alterar significativamente de los parámetros cinéticos de la producción de etanol y formación de congéneres, impactando directamente el rendimiento total del proceso en la investigación realizada en destilación de sustrato fermentativo de jugo de caña de azúcar los tratamientos analizados se mantuvieron en un rango relativamente estrecho de (17,0% - 20,0%) lo cual indica que si existen coincidencias significativas con el estudio realizado en base a comparación de datos.

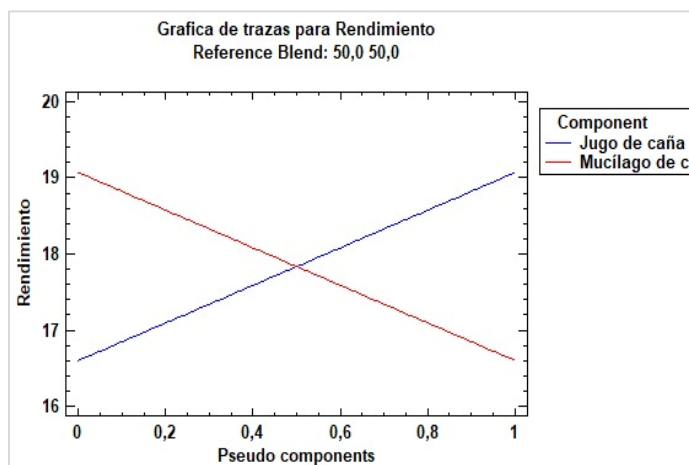


Figura 29: Gráfica de trazas para Rendimiento.

Elaborado por: Catota & Yugsi (2026)

En la Figura 29 presenta el gráfico de trazas para la variable % de rendimiento, mostrando el efecto individual de cada componente; jugo de caña y mucílago de cacao sobre la respuesta, manteniendo una mezcla de referencia fijada en 50 % para ambos componentes, en el eje horizontal se representan los componentes pseudocomponentes (escala relativa), mientras que en el eje vertical se muestran los valores de % rendimiento, las líneas correspondientes a cada componente permiten visualizar como varía la respuesta al modificar la proporción de un factor, manteniendo constante la relación del otro en la mezcla de referencia, la intersección de ambas líneas en el punto central (50:50) corresponde al valor predicho para la mezcla base, y las pendientes reflejan la magnitud y dirección del efecto de cada componente sobre el porcentaje de rendimiento, este gráfico complementa el análisis de superficie de respuesta y los contornos previos, facilitando la identificación de qué factor ejerce mayor influencia y si existen efectos contrastantes o sinérgicos.

11.4. Impactos (sociales, ambientales, técnicos y económicos)

11.4.1. Social

El impacto social del proyecto se manifiesta en el fortalecimiento del tejido que conecta la universidad con las comunidades agrícolas, mediante valorización del mucilago de cacao, un residuo hasta ahora desaprovechado y el jugo de caña, se generan productos innovadores con enfoque sostenible, lo que estimula el emprendimiento local y diversifica las fuentes de ingreso en estas zonas rurales.

11.4.2. Ambiental

Frente al desafío de los residuos agrícolas, este proyecto propone soluciones circulares transformando los subproductos del cacao (mucílago) y directo del jugo de caña transformando en ingredientes de alto valor, reduciendo así la contaminación y generando nuevas oportunidades más conscientes con el medio ambiente.

11.4.3. Técnico

Mediante un proceso artesanal de fermentación validado con análisis fisicoquímicos, este proyecto transformar los residuos de cacao (mucílago) y jugo de caña en productos de alto valor, los conocimientos técnicos obtenidos son directamente aplicables a nivel local, a la vez que conforman una metodología replicable para el aprovechamiento de desechos en otros contextos agroindustriales.

11.4.4. Económicos

Transformando residuos en recursos, los pequeños productores pueden generar valor agregado y nuevos ingresos lo cual genera mejora en su rentabilidad sin grandes inversiones, implementando principios de economía circular y fortalecen la sostenibilidad de sus negocios.

11.5. Presupuesto

Los recursos financieros que hicieron posible el presente estudio fueron íntegramente gestionados

en el ámbito del proyecto de titulación, todos los elementos consumibles, equipos y servicios que se destinaron de manera exclusiva a solventar las exigencias del diseño experimental, cubriendo el proceso completo desde la adquisición de la materia prima en campo hasta la realización de las determinaciones analíticas en laboratorio, en la Tabla 59 se especifica y se detalla los costos asociados a cada etapa del proyecto de titulación :

Tabla 59: Presupuesto para la elaboración del aguardiente.

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Baldes de 4 L	15	\$ 4,00	\$60,00
Jugo de caña (L)	23	\$ 1,00	\$ 23,00
Mucílago de cacao (L)	123	\$1,00	\$123,00
Refractómetro de alcohol	1	\$ 36,00	\$ 36,00
Refractómetro de 0 a 90 brix	1	\$ 42,00	\$42,00
Azúcar (kg)	2	\$ 1,25	\$ 2,50
Manguera ½ in (m)	15	\$0,25	\$ 3,75
Botellas plásticas 1 L	20	\$ 0,50	\$10,00
Papel toalla rollo	2	\$2,00	\$ 4,00
Levadura activa seca (g)	18	\$ 0.05	\$ 1
Gastos no registrados			\$ 30,00
Total			\$ 335,25

Elaborado por: Catota & Yugsi (2025)

12. CONCLUSIONES

- En esta investigación se evaluó el aprovechamiento del mucílago de cacao y el jugo de caña como sustratos no convencionales para la producción de una bebida tipo aguardiente, formulando 5 mezclas (T1-T5) y analizando su comportamiento fermentativo y desempeño en la destilación, ambos medios generan perfiles de congéneres volátiles cuantitativamente diferenciados con variaciones significativas en alcoholes superiores, ésteres y compuestos carbonílicos, lo que confiere identidad organoléptica distintiva a cada destilado. Los rendimientos alcohólicos y la eficiencia fermentativa obtenidos resultan comparables a los de los sustratos convencionales, valorando su potencial para su valoración sostenible de calidad.
- Después de la destilación, la composición del resultado evidenció que la proporción de los sustratos afecta la formación de compuestos volátiles y el rendimiento. El rendimiento más alto se obtuvo con T2 (100% jugo de caña) (20%), mientras que los tratamientos con mucílago presentaron rendimientos cercanos pero menores (17,0-17,6%), lo cual sugiere que los sólidos y pectinas del mucílago pueden reducir ligeramente la recuperación del destilado. Sin embargo, el mucílago favoreció una mayor producción de alcohol y un aumento de congéneres en los tratamientos supero valores de referencias normativas, evidenciando la necesidad de optimizar condiciones fermentativas y destilación para garantizar cumplimiento. Considerando equilibrio entre calidad química del destilado, control de compuestos no deseables y rendimiento, se concluye con las mezclas con la presencia de jugo de caña ofrecen una alternativa tecnológica favorable, mientras que la incorporación del mucílago presenta una estrategia valiosa de valorización de subproductos bajo un enfoque de sostenibilidad y economía circular. En consecuencia, el estudio demuestra que es posible producir aguardiente utilizando estos sustratos alternativos, y que la selección de la producción óptimo debe priorizar simultáneamente el rendimiento, la estabilidad del proceso y el control de compuestos volátiles para asegurar un producto final seguro y de calidad.
- Los resultados fisicoquímicos durante los 13 días de fermentación evaluados confirmaron que en proceso fue técnicamente viable: los °Brix disminuyeron significativamente de 20%

a 5,9% evidenciando el consumo progresivo de azúcares; el pH se mantuvo estable (3,21-3,38) sin diferencias significativas, favoreciendo un ambiente seguro para la fermentación y los grados alcohólicos aumentaron hasta estabilizarse cerca de 17,86-17,93%, indicando una fermentación eficiente y adecuada para la destilación. Sobre la acidez, se identificaron diferencias significativamente entre tratamientos antes y después de fermentación, destacando que el mucílago mayor acidez inicial, mientras que las muestras modulan la formulación de ácidos durante el proceso, lo que influye en la estabilidad y características del mosto.

- Esta porción logra el equilibrio perfecto entre la riqueza de azúcares fermentables y nutrientes del jugo de caña y la contribución de compuestos de aroma, así como la acidez natural del mucílago, optimizando la actividad de la levadura y generando un destilado con mayor cuerpo y complejidad aromática. Por lo tanto, se recomienda (50:50) como la formulación óptima para la producción sostenible de un aguardiente de calidad a partir de estos sustratos combinados.

13. RECOMENDACIONES

- Evaluar el perfil sensorial del aguardiente (aroma, sabor, color, aceptación general) mediante panel de catadores entrenados y correlacionarlo con el análisis cromatográfico, con el fin de definir la mezcla óptima no solo por el rendimiento, sino también por la calidad organoléptica.
- Optimizar y estandarizar la destilación en laboratorio (separación de cabezas, corazón, colas control de temperaturas y la velocidad de la destilación), con el objetivo de reducir la presencia de compuestos no deseables, garantizando mayor estabilidad y seguridad del destilado.
- Fortalecer el vínculo con las asociaciones cacaoteras y cañicultores locales, promoviendo el aprovechamiento del mucílago de cacao como coproducto que usualmente se desperdicia, impulsando emprendimientos rurales ayudando a la sostenibilidad y economía circular.
- Se recomienda a futuras investigaciones se realice un análisis microbiológico detallado del proceso fermentativo, mediante el recuento e identificación básicas de las levaduras y bacteria presente en el mosto elaborados con mucílago de cacao y jugo de caña. Este análisis permitirá comprender con mayor precisión el comportamiento del microbiota fermentativo y su relación con la formación de alcoholes superiores.
- Evaluar el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante en el mosto fermentado y en el aguardiente, con la finalidad de determinar la perseverancia de compuestos bioactivos provenientes del mucílago de cacao y su aporte al valor agregado del producto final.
- Evaluar la presencia de metales pesados como plomo, cadmio, arsénico entre otros en el mosto fermentado y en el aguardiente con métodos analíticos válidos, con el fin de determinar su posible origen en el mucílago de cacao, jugo de caña o en las etapas de fermentación y destilación, que cumpla la normativa vigente para bebidas alcohólicas.

14. REFERENCIAS

- Abonia Cabezas, I. (2024). *Bebida fermentada con mucílago de cacao en colaboración con el cacaocultor del Cauca para su pleno aprovechamiento* [Pontificia Universidad Javeriana de Cali]. <https://vitela.javerianacali.edu.co/server/api/core/bitstreams/8135974a-0fa4-49a0-9a14-93b685da3687/content>
- Acosta Acosta, P. A. (2023). *Proyecto integrador: Cacao Hotel Spa* [Universidad San Francisco de Quito USFQ]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/12756/1/205913.pdf>
- Agrocalidad. (2021). *Informe técnico de exportación de cacao*. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2022/02/Informe-cacao.pdf>
- Álava Zambrano, W. A. (2020). *Caracterización física - química del mucílago de cacao (Theobroma cacao L.) con énfasis en los azúcares que lo componen*. Universidad Agraria del Ecuador.
- Anecacao. (2023, May 24). *Historia del Cacao*. <https://anecacao.com/cacao-en-el-ecuador/historia-del-cacao/>
- Anoraga, S. B., Shamsudin, R., Hamzah, M. H., Sharif, S., & Saputro, A. D. (2024). Cocoa by-products: A comprehensive review on potential uses, waste management, and emerging green technologies for cocoa pod husk utilization. *Heliyon*, 10(16). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35537>
- Araujo Ulloa, A. F. (2017). *Mejoramiento del proceso de destilación para la obtención de licor de agavácea andina en una torre de destilación*. Universidad Central del Ecuador.
- Baño Baño, J. T. (2025). *Desarrollo de un edulcorante a base de mucílago de cacao*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Britcham. (2024, July 29). *Nobis: Procesos de Economía Circular con la cosecha de caña a través de su Unidad de Negocio Agroindustrial*. <https://britcham.com.ec/nobis->

procesos-de-economia-circular-con-la-cosecha-de-cana-a-traves-de-su-unidad-de-negocio-agroindustrial/

Buenaño Suárez, Y. V., Ortiz Vallejo, M. N., Brito Moína, H. L., & Lobato Freiré, G. E. (2025). Proceso fermentativo para bebidas de bajo grado alcohólico a partir del mucílago de cacao: Innovación y sostenibilidad en el aprovechamiento de subproductos. *Ciencia y Educación*, 6(6.1), 60–70. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.16508901>

Cáceres Novillo, Á. E. (2022). *Diseño de un proceso industrial para la obtención de alcohol potable a partir de la frutilla (Fragaria) para la cervecería NEFER*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Calle Alvarado, K. F. (2017). *Diseño e implementación de un manual de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) para la Fábrica de Aguardiente Artesanal Destilería Mayte en el cantón Morona, provincia Morona Santiago* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/69695ae8-6cc3-46df-b251-b0d6791eea9a/content>

Callebaut, B. (2025). *Theobroma cacao, el alimento de los dioses*. <https://www.barry-callebaut.com/en/about-us/media/press-kit/theobroma-cacao-food-gods>

Calosama, A. (2021). *Ingeniería Química*. <https://www.dspace.uce.edu.ec/bitstreams/c47dda98-79be-4c2d-b9e8-04e1fc25d31a/download>

Calvache Guerrero, K. E., & Toro Alvares, K. Y. (2020). *Evaluación de la presencia de congéneres en el aguardiente de caña de azúcar producido en la provincia del Azuay*. Universidad de Cuenca.

Campoverde, K. (2017). *Modelación cinética de la fermentación alcohólica a partir de bebidas gaseosas caducadas* [Universidad Central del Ecuador]. <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/ca551ab6-43c6-4e81-a7ce-51cabfd403a8/content>

Carlosama Nicolalde, M. A. (2021). *Análisis de los componentes de la destilación del zumo*

- de caña fermentado mediante espectrometría de masas*. Universidad Central del Ecuador.
- Ceballos Magaña, S. G. (2007). *Caracterización analítica de destilados de Agave tequilana mediante técnicas de análisis multivariante* [Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/server/api/core/bitstreams/2960d923-8c88-493c-b070-aeb446494db4/content>
- CEPAL. (2015). *Diagnóstico de la cadena productiva del cacao en el Ecuador*. <https://www.vicepresidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2015/07/Resumen-Cadena-de-Cacao-rev.pdf>
- Chesme Rios, C. L. (2023). *Economía circular del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en la Provincia De Los Ríos* [Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstreams/3afcb1c1-8b00-4dc7-b31f-579f701094b0/download>
- CTSA. (2023, December 27). *Análisis Físicoquímico en la industria agroalimentaria*. Centro Tecnológico de Seguridad Alimentario. <https://ctsalimentaria.com/analisis-fisicoquimico-en-la-industria-agroalimentaria/>
- Cuvi Aparicio, D. N. (2020). *Influencia del tiempo de fermentación sobre una bebida alcohólica con mucílago de cacao (Theobroma cacao) y maracuyá (Passiflora edulis)*. Universidad Agraria del Ecuador.
- Daymond, A., Giraldo Mendez, D., Hadley, P., & Bastide, P. (2022). *Guía global para los sistemas de cultivo de cacao*. <https://www.icco.org/wp-content/uploads/B27407-Cocoa-Grower-Guide-Spanish-CFW-v7-interactive.pdf>
- EFSA. (2010). *Azúcares y dulces*. <https://www.fen.org.es/storage/app/media/flipbook/mercado-alimentos-fen/004-Azúcares-Dulces.pdf>
- Erazo Gavilánez, C. Y. (2019). *Diseño de un fermentador y secador polar piloto, para dos variedades de cacao (Theobroma cacao L.), en el cantón El Empalme, provincia Guayas*

- [Universidad Internacional SEK].
https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3361/1/FERMENTACION%20DE%20CACAO.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Escobar-Osorio, D. R., Juárez-Panzo, M., Martínez-López, B. Y., Romero-Cortes, T., Cuervo-Parra, J. A., Tirado- Gallegos, J. M., Utrilla-Vazquez, M., & Morales-Ovando, M. A. (2019, December 4). Producción de etanol a partir de jugo de mucílago de cacao (*Theobroma cacao*) como subproducto de la fermentación. *VI Encuentro Internacional Sobre Biotecnología En La UAT Química*, (10), 53–59.
- Espín, D. (2017). *Mejoramiento del proceso de destilación para la obtención de licor de agavácea andina en una torre de destilación*. Mejoramiento del proceso de destilación para la obtención de licor de agavácea andina en una torre de destilación
- FEN. (2024). *El cacao, de la ciencia a la mesa*.
https://www.fen.org.es/storage/app/media/2024/MONOGRAFIA_CACAO.pdf
- Gamez Proaño, E. A. (2025). *Obtención de bioetanol mediante hidrolizados de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) proveniente de la finca “Canaán Pequeño” Tiwintza-Ecuador* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/8916e7aa-95df-4e0b-b118-53631ee98412/content>
- Gerrero, K., & Alvares, K. (2020). *Evaluación de la presencia de congéneres en el aguardiente de caña de azúcar*. <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e86161d3-6189-41b6-85e4-a242fecfa772/content>
- González-Ruiz, A. (2019). *Hongos asociados a la pudrición del cacao *Theobroma cacao* L. en el soconusco, chiapas y patogenicidad y control in vitro de *Nodulosporium**. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Google Maps. (2025). *ASOPROCANAM*.
<https://www.google.com/maps/place/ASOPROCANAM/@-0.758059,->

79.1842876,13z/data=!4m6!3m5!1s0x91d4c586e87c5cef:0xab22c80ed7c6ad57!8m2!3d-0.7702459!4d-

79.1466508!16s%2Fg%2F11qnl4szft!5m1!1e2?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MTEyMy4xIKXMDSOASAFQAw%3D%3D

Goya Baquerizo, M. J. (2013). *Obtención de una bebida alcohólica a partir de mucílago de cacao, mediante fermentación anaerobia en diferentes tiempos de inoculación* [Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/336>

Guamani, D., & Casa, J. (2024). *Universidad Técnica de Cotopaxi*. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/77621f7c-10bb-409c-bba4-d2b68b2b79c2/content>

Heredia-Gómez, J. F., Rueda-Gómez, J. P., Talero-Sarmiento, L. H., Ramírez-Acuña, J. S., & Coronado-Silva, R. A. (2020). Determinación de la madurez de mazorcas de Cacao, haciendo uso de redes neuronales convolucionales en un sistema embebido. *Revista Colombiana de Computación*, 21(2), 42–55. <https://doi.org/10.29375/25392115.4030>

López, E., Sánchez, M., Cid, S., Herrera, J., Benítez, M., Tzoni, M., Monterrosas, A., Muñoz, H., & Peral, N. (2013). Obtención y caracterización del jugo de caña de azúcar y su viabilidad económica. *Ciencias Agrarias Handbook*, 98–108.

MAGAP. (2017, March 23). *Pequeños productores impulsan la reactivación de café y cacao en la Zona 3*. <https://www.agricultura.gob.ec/pequenos-productores-impulsan-la-reactivacion-de-cafe-y-cacao-en-la-zona-3/>

Marshall, E., & Mejía, D. (2011). *Traditional fermented food and beverages for improved livelihoods*. Rural Infrastructure and Agro-Industries Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Moreira Mata, D. A. (2019). *Ensayo biotecnológico de residuos agroindustriales de cacao (Theobroma cacao) y guineo (Musa paradisiaca) como sustratos para la obtención de Vitamina B2 empleando Saccharomyces cerevisiae*. Escuela Superior Politécnica De

Chimborazo.

- NTE INEN 340. (2014). *Determinación del contenido de alcohol etílico*. https://es.scribd.com/document/379895075/DETERMINACION-DEL-CONTENIDO-DE-ALCOHOL-ETILICO?utm_source=chatgpt.com
- NTE INEN 362-5. (2014, April). *Bebidas alcohólicas. Aguardiente de caña. Requisitos*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-del-norte/normas-de-calidad/n-te-inen-362-5-inen-para-aguardiente-de-cana/116948200>
- NTE INEN 375-3. (2018, March). *Bebidas alcohólicas. Alcohol etílico de origen agrícola. Requisito*. <https://es.scribd.com/document/458435989/Nte-Inen-375-3-Alcohol-Potable>
- NTN 03008-13. (2013). *Bebidas Alcohólicas Fermentadas. Vinos de frutas y/o plantas tropicales. Especificaciones*.
- OCDE/FAO. (2025). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2025-2034 (OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas)*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/67CEFA05-ES>
- ODS 12. (2022). *ODS 12 Producción y consumo responsables*. <https://www.pactomundial.org/ods/12-produccion-y-consumo-responsables/>
- Ortega Franco, P. A. (2024). *Influencia de la levadura (Saccharomyces cerevisiae) en una bebida fermentada tipo chicha a base de avena y flor de jamaica (Hibiscus sabdariffa)*. Universidad Agraria del Ecuador.
- Ortiz Quiñonez, M. E. (2024). *Validación de la metodología para cuantificar metanol en alcohol etílico rectificado extraneutro mediante cromatografía de gases en el laboratorio de calidad de Soderal S.A.* Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Paguay Cuvi, Y. I. (2022). *Estudio de factibilidad para la creación de una microempresa para la producción de una bebida alcohólica destilada a partir del mucílago de cacao (Theobroma cacao) con sabor a chocolate en la ciudad de Tena, provincia de Napo*. Universidad Técnica de Ambato.

- Patiño, A. (2011). *Universidad Politécnica Salesiana*.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1094/13/UPS-CT002112.pdf>
- Quispe, L. (2018). *Fermentación de mosto de caña de azúcar (Saccharum officinarum)* [Universidad Tecnológica de los Andes].
<https://repositorio.utea.edu.pe/server/api/core/bitstreams/64cda3d8-1dc9-4265-9a88-d1f6441da44f/content>
- Ramón Guanuche, R. E., Verdezoto Reinoso, M. D. R., Romero, D. J., & Meleán Romero, R. A. (2024). Análisis de las exportaciones cacaoteras en Sudamérica y su relación con Ecuador. *Uniandes Episteme*, 11, 86–100.
<https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/EPISTEME/article/view/3382/3927>
- Rosero Laguna, A. M., & Toapanta Chancusig, R. F. (2008). *Diseño de la máquina separadora de la semilla del cacao* [Escuela Politécnica Nacional].
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/951/1/CD-1410.pdf>
- Salgado-García, S., Castelán-Estrada, M., Aranda-Ibañez, E. M., Ortiz-Laurel, H., Lagunes-Espinoza, L. C., & Córdova-Sánchez, S. (2016). Calidad de jugos de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) según el ciclo de cultivo en Chiapas, México. *Agroproductividad*, 9(7), 23–28.
- Sánchez Enríquez, Y. S., & Villagómez Masapanta, L. E. (2023). *Costos de producción en la elaboración de los derivados del cacao en la Asociación de Producción Agrícola de Cacao Nacional La Maná (ASOPROCANAM) parroquia de Guasaganda, cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, periodo 2022* [Universidad Técnica de Cotopaxi].
<https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/3f446111-6af3-4b7e-aa47-32fbf7148c73/content>
- Sánchez, J. (2018). *Introducción al Diseño Experimental*.
- Sánchez, V. H., Zambrano, L. J., & Iglesias, Cristina. (2019). La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe. In *Iniap: Libro Técn.* Quito, EC: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina 2019. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5382>

- Sarabia-Guevara, A. D., Pico-Poma, J. P., Castellano-Pisuña, F. A., Díaz-Tenemaza, A. R., Guardado-Yordi, E., Pérez-Martínez, A., & Pico-Poma, L. P. (2025). Uso de mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) para la elaboración de bebidas fermentadas y no fermentadas: Una revisión sistemática. *Agroindustrial Science*, *14*(3), 363–374. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2025.03.18>
- Schorn-García, D., Ezenarro, J., Aceña, L., Busto, O., Boqué, R., Giussani, B., & Mestres, M. (2023). Spatially offset raman spectroscopic (SORS) analysis of wine alcoholic fermentation: A preliminary study. *Fermentation*, *9*(2), 1. <https://doi.org/10.3390/fermentation9020115>
- Shipman, F. (2025, October 13). *Distilled spirit*. Iopscience.Iop.Org. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/6/062026/PDF>
- Solís, M., Peña, J., & Lorenzo, I. (2021). Proceso de una bebida refrescante tipo limonada rosada con pigmentos de origen vegetal de la flora panameña. *Periodicidad: Semestral*, *8*(2), 2021.
- Stanzer, D., Hanousek, K., Blesić, M., Smajić Murtić, M., Mrvčić, J., & Spaho, N. (2023, May 1). Alcoholic Fermentation as a Source of Congeners in Fruit Spirits. *Foods*, *12*(10). <https://doi.org/10.3390/foods12101951>
- Tavares Menezes, E. G., Lembi Ferreira Alves, J. G., Valeriano, C., & Costa Guimarães, I. (2013). Physico-chemical and sensorial evaluation of sugarcane spirits produced using distillation residue. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *56*(1), 121–126.
- Toledo, M. (2025, December 4). *Medición de grados Brix*. <https://www.mt.com/es/es/home/perm-lp/product-organizations/ana/brix-meters.html>
- Tonato Chica, K. D. (2017). *Evaluación del uso del mesocarpio de cacao (Theobroma cacao L.) como agente espesante en la elaboración de mermelada de mango*.
- Torres. (2023, October 18). *Fruto del cacao: sus partes y características principales*. <https://chocolatestorras.com/fruto-del-cacao/>

- Vargas Mendoza, E., Cervantes Molina, X., & Zamora Cevallos, E. (2020). A historical overview of the importance of cocoa for Ecuador's economy. *Sinergias Educativas*. https://sinergiaseducativas.mx/index.php/revista/article/download/193/512/1131?utm_source=chatgpt.com
- Vega-González, R. J., Castro-Salinas, D., Pajuelo-Risco, F. M., Honorio-Javes, C. E., & Hernández-Valdez, J. E. (2024). Subproductos de cacao (*Theobroma cacao*) en la alimentación animal: ¿Una alternativa viable y sostenible? *Manglar*, 21(1), 127–134. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.013>
- World Relief, L. (2013). *Aprendiendo e innovando sobre el cacao en sistemas agroforestales*.
- Zambrano Rosado, N. A. (2021). *Caracterización química de aguardiente de caña artesanal elaborado en el cantón Cumandá*. Universidad Agraria del Ecuador.
- Zapata Gómez, E. R. (2023). *Diseño de un proceso industrial para la elaboración de una bebida alcohólica a partir de pulpa guanábana (*Annona muricata*) y enriquecido con jugo de caña (*Saccharum officinarum*)* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/6d9c2d69-8ec8-4fc8-9f40-73d26db2d0cb/content>