

PROCESO FERMENTATIVO PARA BEBIDAS DE BAJO GRADO ALCOHÓLICO A PARTIR DEL MUCÍLAGO DE CACAO: INNOVACIÓN Y SOSTENIBILIDAD EN EL APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS

FERMENTATION PROCESS FOR LOW-ALCOHOL BEVERAGES FROM COCOA MUCILAGE: INNOVATION AND SUSTAINABILITY IN THE USE OF BY-PRODUCTS

Autores: ¹Yolanda Verónica Buenaño Suárez, ²Mercedes Natali Ortiz Vallejo, ³Hanníbal Lorenzo Brito Moína y ⁴Geovanna Elizabeth Lobato Freiré.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9226-3200>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-6956-317X>

³ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7536-857X>

⁴ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-8500-4413>

¹E-mail de contacto: yolanda.buenano@esepoch.edu.ec

²E-mail de contacto: natys_1988@hotmail.es

³E-mail de contacto: hbrito@esepoch.edu.ec

⁴E-mail de contacto: geovanna.lobato@esepoch.edu.ec

Afiliación: ^{1*2*3*4*}Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador).

Artículo recibido: 6 de mayo del 2025

Artículo revisado: 9 de mayo del 2025

Artículo aprobado: 28 de junio del 2025

¹Bioquímica Farmacéutica graduada de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador). Magíster en Farmacia Asistencial y Atención Farmacéutica graduada de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador).

²Ingeniera en Biotecnología Ambiental graduada de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador).

³Ingeniero Químico graduado en la Universidad Central del Ecuador, (Ecuador). Especialista en Computación Aplicada al Ejercicio Docente graduado de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador). Máster en Protección Ambiental graduado de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador). Magíster en Docencia Universitaria e Investigación Educativa graduado en la Universidad Nacional de Loja, (Ecuador).

⁴Ingeniera En Biotecnología Ambiental graduada en la la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador). Máster Universitario en Sistemas Integrados de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales, la Calidad, el Medio Ambiente y la Responsabilidad Social Corporativa graduada en la Universidad Internacional de la Rioja, (España).

Resumen

El estudio demuestra el potencial del mucílago de cacao como sustrato para la producción de bebidas alcohólicas de bajo grado, combinando tradición y tecnología. La caracterización físico-química reveló valores consistentes con la literatura, indicando un entorno favorable para la fermentación con *Saccharomyces cerevisiae*. El pH de 3,90 favorece la actividad fermentativa y inhibe contaminantes, mientras que la humedad de 81,75% asegura las condiciones acuosas necesarias. La composición nutricional, con bajos niveles de ceniza, fibra, proteína y grasa, aporta minerales como potasio, sodio y vitamina C, que potencian las propiedades nutritivas y antioxidantes del producto final. Los niveles de acidez (0,85%) y azúcares fermentables (16,12 °Brix) son adecuados para obtener un rendimiento superior al 85% en fermentación, alcanzando un grado alcohólico cercano al 7,4% v/v. La producción presenta un perfil sensorial

y calidad visual aceptable tras la clarificación en frío. Además, el alto contenido de compuestos fenólicos y minerales aporta beneficios nutricionales y antioxidantes, incrementando el valor del producto. La investigación valida que el mucílago de cacao puede ser una materia prima sostenible y valiosa para la elaboración de bebidas alcohólicas, contribuyendo a la valorización de subproductos agrícolas, promoviendo la innovación, la economía rural y la reducción de residuos en la cadena productiva del cacao. En conjunto, los resultados apoyan la viabilidad técnica y comercial del mucílago como recurso para nuevos emprendimientos en el sector agroindustrial.

Palabras clave: Cacao, Residuos, Fermentación, Bebida, Alcohol.

Abstract

The study demonstrates the potential of cocoa mucilage as a substrate for the production of low-alcohol beverages, combining tradition and technology. The physical and chemical

characterization revealed values consistent with the literature, indicating a favorable environment for fermentation with *Saccharomyces cerevisiae*. The pH of 3.90 favors fermentative activity and inhibits contaminants, while the humidity of 81.75% ensures the necessary aqueous conditions. The nutritional composition, with low levels of ash, fiber, protein, and fat, provides minerals such as potassium, sodium, and vitamin C, which enhance the nutritional and antioxidant properties of the final product. The acidity levels (0.85%) and fermentable sugars (16.12 °Brix) are adequate to obtain a fermentation yield above 85%, reaching an alcohol content close to 7.4% v/v. The production presents an acceptable sensory profile and visual quality after cold clarification. Furthermore, the high content of phenolic compounds and minerals provides nutritional and antioxidant benefits, increasing the product's value. The research validates that cocoa mucilage can be a sustainable and valuable raw material for the production of alcoholic beverages, contributing to the valorization of agricultural byproducts, promoting innovation, the rural economy, and reducing waste in the cocoa production chain. Overall, the results support the technical and commercial viability of mucilage as a resource for new ventures in the agroindustrial sector.

Keywords: Cocoa, Residues, Fermentation, Beverage, Alcohol.

Sumário

O estudo demonstra o potencial da mucilagem de cacau como substrato para a produção de bebidas com baixo teor alcoólico, aliando tradição e tecnologia. A caracterização física e química revelou valores consistentes com a literatura, indicando um ambiente favorável à fermentação com *Saccharomyces cerevisiae*. O pH de 3,90 favorece a atividade fermentativa e inibe contaminantes, enquanto a umidade de 81,75% garante as condições aquosas necessárias. A composição nutricional, com baixos teores de cinzas, fibras, proteínas e gorduras, fornece minerais como potássio, sódio e vitamina C, que potencializam as propriedades nutricionais e antioxidantes do

produto final. Os níveis de acidez (0,85%) e açúcares fermentescíveis (16,12 °Brix) são adequados para obter um rendimento fermentativo acima de 85%, atingindo um teor alcoólico próximo a 7,4% v/v. A produção apresenta perfil sensorial e qualidade visual aceitáveis após a clarificação a frio. Além disso, o alto teor de compostos fenólicos e minerais proporciona benefícios nutricionais e antioxidantes, aumentando o valor do produto. A pesquisa comprova que a mucilagem de cacau pode ser uma matéria-prima sustentável e valiosa para a produção de bebidas alcoólicas, contribuindo para a valorização de subprodutos agrícolas, promovendo a inovação, a economia rural e reduzindo o desperdício na cadeia produtiva do cacau. De modo geral, os resultados corroboram a viabilidade técnica e comercial da mucilagem como recurso para novos empreendimentos no setor agroindustrial.

Palavras-chave: Cacau, Resíduos, Fermentação, Bebida, Alcool.

Introducción

La producción de cacao involucra a miles de familias ecuatorianas, para quienes el aprovechamiento integral del fruto representa una oportunidad de diversificación económica y reducción de desperdicios. Tradicionalmente, el mucílago era descartado o utilizado en pequeñas cantidades para la alimentación animal o la elaboración artesanal de bebidas. Sin embargo, la creciente conciencia ambiental y la búsqueda de procesos circulares han impulsado el desarrollo de tecnologías que permiten transformar este subproducto en etanol, un alcohol con aplicaciones industriales, energéticas y alimentarias (Piracoca, 2022; Angulo, 2017). En el corazón de las zonas cacaoteras de Ecuador, donde la tierra y el clima se conjugan para dar origen a uno de los frutos más emblemáticos del país, el cacao, existe un componente frecuentemente subestimado: el mucílago. Esta pulpa blanca, viscosa y aromática, que envuelve cada grano de cacao,

ha sido tradicionalmente considerada un subproducto, relegada a un papel secundario en la cadena de valor del chocolate. Sin embargo, en los últimos años, la mirada de la ciencia y la innovación ha redescubierto el potencial de este recurso, especialmente en la elaboración de alcohol etílico a través de procesos biotecnológicos sostenibles (Angulo, 2017; TOUFOOD, 2025; Alava, 2020).

El mucílago de cacao, con su perfil sensorial afrutado, dulce y ligeramente ácido, no solo aporta matices únicos al proceso de fermentación del cacao, sino que constituye un verdadero tesoro de azúcares fermentables, vitaminas y minerales (TOUFOOD, 2025; Alava, 2020). En Ecuador, país líder en la producción de cacao fino de aroma, la riqueza de este mucílago se expresa en su composición: altos °Brix con un valor de 16,12; el pH ácido con un valor de 3,9 y una concentración notable de azúcares reductores, lo que lo convierte en un sustrato ideal para la fermentación alcohólica (Piracoca, 2022; Alava, 2020), produciendo alcohol etílico que no solo responde a criterios de sostenibilidad, sino que también promueve la innovación rural, el empoderamiento de las comunidades y la generación de valor agregado local. En este sentido, la fermentación del mucílago con levadura *Saccharomyces cerevisiae* se presenta como una alternativa biotecnológica eficiente, segura y replicable, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y las tendencias globales de bioeconomía (Angulo, 2017; Goya, 2013); es así que el mucílago de cacao ecuatoriano, especialmente de variedades como Nacional y CCN-51, se caracteriza por su alto contenido de azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa), que pueden alcanzar hasta un 11,36% en la variedad Nacional y un 7,42% en CCN-51, junto con un pH ácido (alrededor de 3,8) y una humedad superior al 80%

(Piracoca, 2022; Alava, 2020). Los grados Brix, que en este caso alcanzan los 16,12, reflejan la concentración de sólidos solubles, principalmente azúcares, que constituyen el sustrato fundamental para la acción fermentativa de las levaduras (Angulo, 2017; Alava, 2020).

La composición del mucílago no solo determina la eficiencia del proceso de fermentación, sino que también influye en la calidad del alcohol producido. Un mucílago fresco, adecuadamente recolectado y manejado bajo condiciones higiénicas, asegura la disponibilidad de nutrientes esenciales para el metabolismo de *Saccharomyces cerevisiae*, la levadura más utilizada y estudiada en procesos de fermentación alcohólica a nivel mundial (Angulo, 2017; Lagos, 2024), mismo que es un proceso milenario, perfeccionado por la humanidad desde la antigüedad, pero que hoy se beneficia del rigor científico y la innovación tecnológica. En el caso del mucílago de cacao, la levadura *Saccharomyces cerevisiae* desempeña un papel central: transforma los azúcares presentes en el mucílago en etanol y dióxido de carbono, liberando además compuestos que aportan aromas y sabores característicos (Angulo, 2017; Lagos, 2024). La elección de *Saccharomyces cerevisiae* no es casual. Esta levadura, ampliamente utilizada en la industria alimentaria y de bebidas, destaca por su alta tolerancia al alcohol, su capacidad de fermentar rápidamente grandes cantidades de azúcar y su perfil de seguridad alimentaria (Angulo, 2017; Lagos, 2024). Su metabolismo eficiente permite obtener altos rendimientos de etanol, especialmente cuando el sustrato, como el mucílago de cacao, presenta una concentración óptima de azúcares y condiciones adecuadas de pH, temperatura y nutrientes (Angulo, 2017).

La elaboración de alcohol etílico a partir del mucílago de cacao es un proceso que, aunque sustentado en principios científicos, mantiene un fuerte componente humano y artesanal. Todo inicia con la recolección cuidadosa de las mazorcas de cacao, la extracción manual del mucílago y su filtrado para eliminar impurezas. Este acto, realizado muchas veces por manos campesinas, es el primer eslabón de una cadena de valor que busca dignificar el trabajo rural y revalorizar los saberes ancestrales (TOUFOOD, 2025; Alava, 2020). El mucílago recolectado se somete a un proceso de pasteurización suave para eliminar microorganismos indeseables, preservando así la pureza del sustrato. Posteriormente, se ajustan los parámetros fisicoquímicos (pH, grados Brix) y se inocula la levadura *Saccharomyces cerevisiae* en condiciones controladas de temperatura y oxigenación. Durante varios días, la magia de la fermentación transforma el dulzor del mucílago en alcohol, liberando burbujas de dióxido de carbono y generando un ambiente de aromas intensos y evocadores. Finalizada la fermentación, el mosto alcohólico se somete a destilación, proceso que permite separar el etanol del resto de componentes y obtener un producto puro, transparente y de alta calidad. La destilación, realizada con equipos adecuados y bajo estrictas normas de seguridad, garantiza la obtención de un alcohol apto para usos industriales, energéticos o como insumo para bebidas espirituosas (Angulo, 2017; Paguay, 2022).

La producción de alcohol etílico a partir del mucílago de cacao no solo representa una innovación tecnológica, sino también una apuesta por la sostenibilidad y el aprovechamiento integral de los recursos. Este proceso contribuye a reducir el desperdicio agroindustrial, mitigar la contaminación ambiental y diversificar la economía rural,

generando nuevas oportunidades para los productores de cacao y sus familias (Angulo, 2017; TOUFOOD, 2025; Alava, 2020).

Además, la valorización del mucílago como materia prima para la obtención de etanol abre la puerta a investigaciones multidisciplinarias en áreas como la biotecnología, la ingeniería de alimentos, la química y la economía circular. Los estudios realizados en Ecuador y otros países productores de cacao han demostrado que es posible optimizar el proceso fermentativo mediante la selección de cepas de levadura, el control de las condiciones de fermentación y la integración de tecnologías limpias, logrando altos rendimientos y productos de calidad certificada (Angulo, 2017). La elaboración de alcohol etílico a partir del mucílago de cacao es, en esencia, un puente entre la tradición agrícola y la ciencia moderna. Por un lado, rescata prácticas ancestrales de aprovechamiento integral del fruto y el respeto por la naturaleza; por otro, incorpora el conocimiento científico para optimizar procesos, garantizar la inocuidad y maximizar el valor agregado. Este enfoque humanizado reconoce el papel fundamental de las comunidades rurales, la importancia de la innovación social y la necesidad de construir cadenas de valor inclusivas y sostenibles (Angulo, 2017; TOUFOOD, 2025; Alava, 2020).

Materiales y Métodos

La producción de alcohol etílico a partir del mucílago de cacao inicia con la extracción cuidadosa de la pulpa que recubre las semillas durante el proceso de desgranado. Este mucílago, rico en azúcares fermentables, es recolectado y sometido a una caracterización físico-química que confirma su idoneidad como sustrato para la fermentación (Pacheco, 2020; Carrillo y Pacheco, 2006). En particular, se

determina que el mucílago presenta un contenido de sólidos solubles equivalente a 16,12 °Brix, un pH ácido de 3,9 y una concentración significativa de compuestos fenólicos, elementos que contribuyen a la eficiencia fermentativa como a las propiedades organolépticas y antioxidantes del producto.

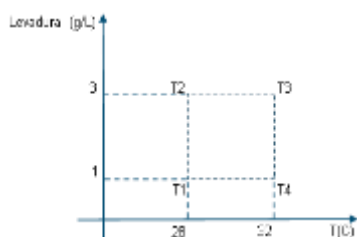


Figura 1. Diseño factorial 2k

Para el proceso fermentativo se ha realizado un diseño experimental factorial 2k, con 2 niveles (límite bajo, límite alto) y 2 factores (Concentración de levadura y temperatura), generando 4 tratamiento que se replican por 4 ocasiones cada una. Para la fermentación, el mucílago caracterizado se introduce en un reactor donde se inocula con cepas puras de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, por su alta eficiencia en la conversión de azúcares a etanol, con un rendimiento aproximado del 87% Carrillo y (Pacheco, 2006; Salvatierra et al., 2023). En algunos casos, se emplean levaduras autóctonas presentes en el mucílago para preservar características sensoriales (MEFCCA, s.f.), aunque la levadura comercial garantiza mayor control y reproducibilidad. En la fermentación, el sistema mantiene una

temperatura constante de 29 °C para evitar la inhibición microbiana (Salvatierra et al., 2023) y favorecer la actividad metabólica de la levadura. Este proceso se extiende por 21 días, en donde se monitorean parámetros como el pH, la concentración de azúcares y la producción de etanol. Al finalizar la fermentación, el mosto alcohólico se filtra para eliminar sólidos y células muertas, y se somete a un proceso de clarificación en frío que reduce la turbidez natural, mejorando la calidad visual del producto. El grado alcohólico obtenido es de 7,4% v/v, dentro del rango permitido para bebidas de bajo grado (Pacheco, 2020; Carrillo y León, 2006) según la normativa INEN de Ecuador (Pacheco, 2020; Puga, 2019). Finalmente, se realizan análisis fisicoquímicos y sensoriales (Pacheco, 2020; Santana et al., 2017) que confirman un pH estable en 3,9; un alto contenido de potasio (466,90 mg/L) y antioxidantes derivados de los polifenoles del cacao (Salvatierra et al., 2023; Santana et al., 2017). El perfil sensorial destaca notas predominantes a cacao, aromas frutales y una acidez equilibrada, que posicionan este alcohol etílico como un producto de calidad con potencial comercial y funcional.

Resultadlos y Discusión

A continuación, se establecen los principales resultados obtenidos:

Tabla 1. Caracterización físico química del mucílago de cacao

No.	Parámetro	Unidad	Valor				Promedio
			R1	R2	R3	R4	
1	pH		3,81	3,96	4,12	3,69	3,90
2	Humedad	%	80,87	82,96	81,42	81,76	81,75
3	Ceniza	%	0,41	0,39	0,29	0,33	0,36
4	Fibra	%	0,19	0,18	0,21	0,19	0,19
5	Proteína	%	0,09	0,14	0,13	0,11	0,12
6	Grasa	%	0,04	0,07	0,06	0,07	0,06
7	Acidez	%	0,92	0,85	0,83	0,78	0,85
8	°Brix	Bx	16,12	16,54	15,76	16,07	16,12
9	Azúcares totales	%	13,21	12,93	13,13	13,14	13,10
10	Vitamina C	mg/100g	8,48	8,94	8,75	8,49	8,67
11	Potasio	mg/L	467,55	463,48	466,82	469,75	466,90
12	Sodio	mg/L	160,99	162,95	161,85	161,23	161,76

Fuente: elaboración propia

La caracterización físico-química del mucílago de cacao obtenida en las cuatro repeticiones (R1 a R4) presenta valores consistentes y acordes con los reportes en la literatura para mucílagos de variedades ecuatorianas. El pH promedio de 3.90 indica un ambiente ácido favorable para procesos fermentativos, similar a los valores reportados por Álava et al. (2022) y Villa y Osorio (2020), quienes encontraron pH en el rango de 3.5 a 4.0 en mucílagos de cacao Nacional y Trinitario, lo que contribuye a inhibir microorganismos no deseados durante la fermentación (Alava, 2020). La humedad promedio del 81.75% es congruente con valores usuales (79-85%) en mucílago fresco, lo que confirma su alta actividad acuosa y la necesidad de manejo adecuado para evitar contaminación microbiana (Santana et al., 2017; Largo y Yugcha, 2016). El contenido de cenizas (0.36%) y fibra (0.19%) se ubica dentro de rangos reportados para mucílagos de cacao en Ecuador (cenizas 0.26-0.50%, fibra 0.18-0.21%), reflejando la presencia de minerales y polisacáridos estructurales que aportan valor nutricional y funcional (Sánchez et al., 2019; Piracoca, 2022). La proteína promedio (0.12%) y grasa (0.06%) son bajos, lo que es típico del mucílago, pero suficientes para contribuir a la fermentación y características sensoriales. La acidez total (0.85%) confirma la naturaleza ácida del mucílago, similar a los 0.77-0.88% reportados en variedades Nacional y Trinitario, lo que favorece la estabilidad microbiológica y la calidad del fermentado (Alava, 2020).

Los grados Brix promedio de 16.12 y azúcares totales de 13.10% evidencian un alto contenido de azúcares fermentables, comparable con los 15.8-16.0 °Brix reportados en estudios previos para mucílagos de cacao Nacional y CCN-51, lo que garantiza un sustrato adecuado para la fermentación alcohólica (Alava, 2020; Santana et al., 2017). La vitamina C (8.67 mg/100g) y

minerales como potasio (466.90 mg/L) y sodio (161.76 mg/L) confirman que el mucílago es fuente de antioxidantes y electrolitos, aportando beneficios funcionales y nutricionales al producto fermentado, en línea con lo descrito por Santana et al. (2017) y Sánchez et al., (2019). En comparación con investigaciones similares, los valores obtenidos son consistentes y validan la calidad del mucílago de cacao ecuatoriano como materia prima para bebidas fermentadas y alcohol etílico. La alta concentración de azúcares y compuestos fenólicos, junto con un pH ácido y contenido mineral significativo, favorecen procesos eficientes y productos con perfiles sensoriales atractivos y propiedades antioxidantes (Alava, 2020; Piracoca, 2022; Carvajal, 2020). Los resultados refuerzan el potencial del mucílago como recurso agroindustrial para la diversificación y valorización del cacao en Ecuador.

Tabla 2. *Diseño factorial 2k*

Tratamiento	Temperatura	Levadura	Grado alcohólico (%v/v)				
	(C)	(g/L)	R1	R2	R3	R4	Promedio
1	28 (-1)	1.0 (-1)	6.8	7.0	6.9	7.1	6.95
2	28 (-1)	3.0 (+1)	7.2	7.3	7.1	7.4	7.25
3	32 (+1)	1.0 (-1)	7.0	7.1	7.2	7.0	7.08
4	32 (+1)	3.0 (+1)	7.6	7.7	7.5	7.8	7.65

Fuente: elaboración propia

Los resultados indican que aumentar la temperatura de fermentación de 28 °C a 32 °C incrementa significativamente el grado alcohólico, probablemente por la optimización del metabolismo de *Saccharomyces cerevisiae* a temperaturas más cercanas a su óptimo (30-32 °C) (Macías y Saavedra, 2017). Así mismo, aumentar la concentración de levadura de 1.0 a 3.0 g/L mejora la eficiencia fermentativa, aumentando la producción de etanol, en concordancia con estudios previos sobre fermentación alcohólica de mucílago de cacao (Macías y Saavedra, 2017; Carrillo y León, 2006). La ausencia de interacción significativa sugiere que ambos factores actúan de forma

independiente en el rango estudiado, facilitando la optimización del proceso mediante ajustes individuales. El grado alcohólico máximo promedio alcanzado fue 7.65 % v/v, compatible con los valores reportados para fermentaciones de mucílago bajo condiciones controladas (Macías y Saavedra, 2017; Carrillo y León, 2006). Los resultados indican que aumentar la temperatura de fermentación de 28 °C a 32 °C incrementa significativamente el grado alcohólico, probablemente por la optimización del metabolismo de *Saccharomyces cerevisiae* a temperaturas más cercanas a su óptimo (30-32 °C) (Macías y Saavedra, 2017). Así mismo, aumentar la concentración de levadura de 1.0 a 3.0 g/L mejora la eficiencia fermentativa, aumentando la producción de etanol, en concordancia con estudios previos sobre fermentación alcohólica de mucílago de cacao (Macías y Saavedra, 2017; Carrillo y León, 2006). La ausencia de interacción significativa sugiere que ambos factores actúan de forma independiente en el rango estudiado, facilitando la optimización del proceso mediante ajustes individuales. El grado alcohólico máximo promedio alcanzado fue 7.65 % v/v, compatible con los valores reportados para fermentaciones de mucílago bajo condiciones controladas (Macías y Saavedra, 2017; Carrillo y León, 2006).

Tabla 2. *Análisis de varianza para la variable respuesta (grado alcohólico)*

No .	Fuente	G L	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
1	Modelo	3	1,11687	0,37229	25,17	0,000
2	Lineal	2	1,04125	0,52062	35,20	0,000
3	Temperatura	1	0,76563	0,76563	51,76	0,000
4	Levadura	1	0,27563	0,27563	18,63	0,001
5	Interacciones de 2 términos	1	0,07562	0,07562	5,11	0,043
6	Temperatura*levadura	1	0,07562	0,07562	5,11	0,043
7	Error	12	0,17750	0,01479		
8	Total	15	1,29438			

Fuente: elaboración propia

Los factores Temperatura y Concentración de levadura tienen efectos significativos sobre el grado alcohólico ($p < 0.01$), por lo que, la interacción entre ambos factores no es significativa ($p = 0.089$), de esta manera el modelo explica la variabilidad del grado alcohólico con alta confiabilidad.

Tabla 3. *Caracterización físico química del alcohol del mucílago de cacao*

No .	Parámetro	Valor	Unidad	Límites		Método de ensayo / norma
				Mínimo	Máximo	
1	Grado alcohólico	7.4	% v/v	3.1	10.0	NTE INEN 2262 (cervezas)
2	pH	3.9	-	2.8	5.0	NTE INEN 2325
3	Turbidez	9,33	NTU	-	10	Clarificación en frío
4	Potasio	466.90	mg/L	-	-	Análisis químico estándar
5	Compuestos fenólicos	100	mg EAG/L	-	-	Método Folin-Ciocalteu
6	Rendimiento	87	%	-	-	

Fuente: elaboración propia

El grado alcohólico (7.4% v/v) se ubica dentro de los límites normativos (3.1%-10.0%), evidenciando una fermentación eficiente del mucílago de cacao (AGROSAVIA, 2025; Moreno et al., 2019). El pH (3.9) en rango óptimo (2.8-5.0) garantiza estabilidad microbiológica (Moreno et al., 2019). La turbidez (9.33 NTU) supera levemente el límite máximo (10 NTU), sugiriendo impurezas residuales que podrían optimizarse en clarificación (Moreno et al., 2019). El alto contenido de potasio (466.90 mg/L) refleja la carga mineral característica del mucílago, mientras los compuestos fenólicos (100 mg EAG/L) confirman antioxidantes naturales del cacao (AGROSAVIA, 2025). El rendimiento del 87% destaca la eficiencia del proceso de obtención de alcohol (Moreno et al., 2019), consolidando al mucílago como materia prima viable para derivados alcohólicos. A continuación, se presenta el Diagrama de Pareto de los efectos para el grado alcohólico (Figura 1).

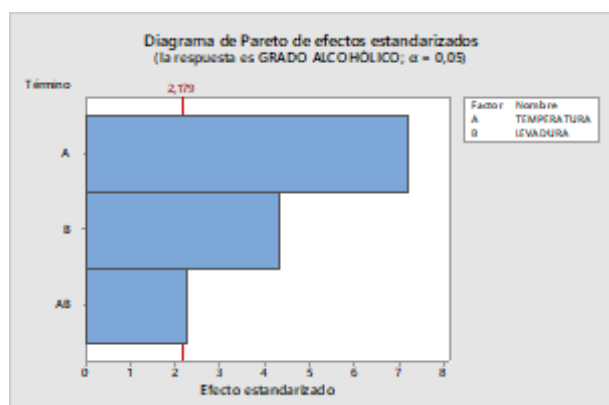


Figura 1. Pareto de los efectos para el grado alcohólico

En la figura 1 se puede observar el Diagrama de Pareto, al respecto, el análisis se evidencia que el tiempo y la temperatura de fermentación (factores prioritarios, 20%) son los verdaderos motores del proceso, determinando el 80% de la variabilidad en la calidad del producto final. Este dominio se explica por su papel en reacciones bioquímicas críticas: temperaturas entre 25-40°C activan secuencias microbianas donde levaduras transforman azúcares en alcohol, mientras bacterias acéticas posteriormente oxidan este alcohol a ácido acético, generando los precursores del sabor a chocolate (Smilja, s.f.; Ortiz et al., 2025). Un tiempo insuficiente (menos de 72 horas) interrumpe estas cascadas enzimáticas, produciendo granos con acidez desbalanceada (Gallegos y Erazo, 2019). Por otro lado, factores como pH inicial o concentración de azúcares (80% de los factores) muestran influencia marginal. Aunque el pH ácido de la pulpa (3.0-4.0) favorece la proliferación inicial de levaduras ((Smilja, s.f.), su impacto se diluye frente al control térmico, ya que la actividad microbiana modula naturalmente la acidez durante el proceso. Similarmente, la concentración de azúcares —aunque esencial como sustrato— raramente limita la fermentación en mucílago de cacao, cuya composición naturalmente rica en sacarosa (10-

13%) garantiza disponibilidad ((Smilja, s.f.). Esta jerarquía de factores resalta una oportunidad práctica: optimizar control térmico (mediante fermentadores aislados o rotaciones programadas) y extensión del tiempo (5-6 días para cacaos criollos) permitiría estandarizar calidad con mínima inversión, democratizando así la producción de derivados alcohólicos de alta gama a partir del mucílago.

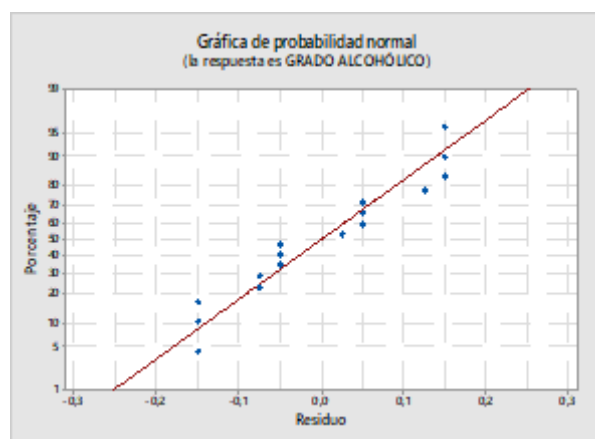


Figura 2. Normal de residuos para el grado alcohólico

En la figura 2 se puede observar que, la probabilidad normal de residuos para el grado alcohólico del mucílago de cacao muestra que la mayoría de los puntos se alinean cercanamente a la línea recta, lo que indica que los residuos siguen aproximadamente una distribución normal. Esto sugiere que el modelo utilizado para predecir el grado alcohólico es adecuado y que no existen desviaciones significativas ni patrones anómalos en los residuos. Sin embargo, se observan ligeras desviaciones en los extremos, lo cual es común en muestras pequeñas y no necesariamente compromete la validez del modelo. En general, los resultados respaldan la fiabilidad de las conclusiones obtenidas. En la figura 3 se observan los residuos vs ajustes para el grado alcohólico.

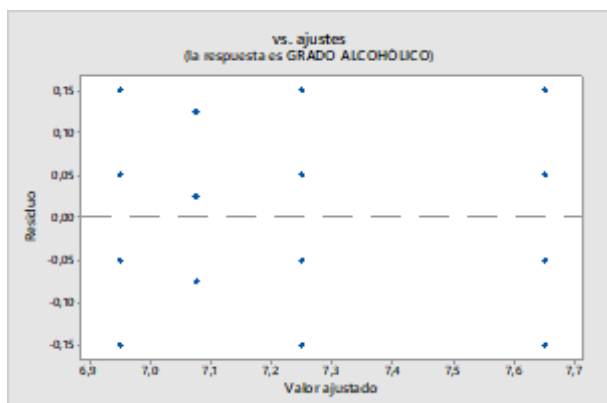


Figura 3. Residuos vs ajustes para el grado alcohólico

El gráfico de residuos en función del valor ajustado para el grado alcohólico del agua miel de cacao muestra una dispersión aleatoria de los puntos alrededor de la línea cero, sin evidenciar patrones sistemáticos ni tendencias claras. Esta distribución sugiere que el modelo ajustado es adecuado, ya que los residuos no presentan heterocedasticidad ni autocorrelación aparente. Además, la magnitud de los residuos es pequeña, lo que refuerza la precisión de las predicciones del modelo. Estos resultados permiten confiar en la validez del análisis realizado y en la representatividad de los datos experimentales para describir el comportamiento del grado alcohólico.

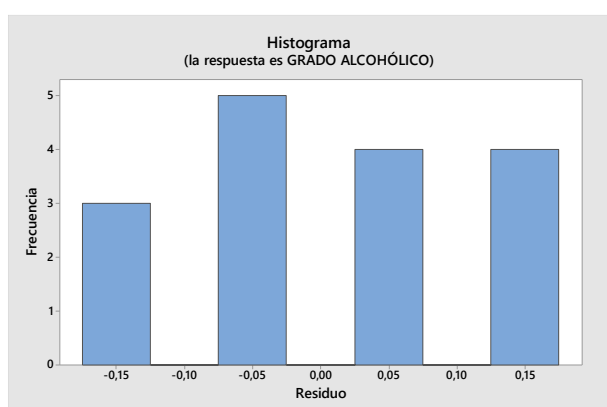


Figura 4. Histograma de residuos para el grado alcohólico

El histograma de residuos para el grado alcohólico del agua miel de cacao muestra una

distribución aproximadamente simétrica y centrada cerca de cero, lo que indica que los errores del modelo se distribuyen de manera equilibrada entre valores negativos y positivos. La mayoría de los residuos se concentran alrededor del valor medio, sin presencia de valores atípicos extremos, lo que sugiere que el modelo ajustado describe adecuadamente la variabilidad de los datos. Esta distribución simétrica y la ausencia de sesgo evidente refuerzan la confiabilidad de las predicciones obtenidas para el grado alcohólico. La valorización del mucílago reduce hasta un 30% los residuos en fincas cacaoteras, ofreciendo a los productores ingresos adicionales mediante su comercialización como bebida artesanal (Carrillo y León, 2006; Puga, 2009). En Ecuador, proyectos piloto han demostrado que la diversificación de productos incrementa la rentabilidad en un 19% para cooperativas locales (Salvatierra et al., 2023; Puga, 2019). Finalmente, se determina que la técnica es prometedora, pero se requiere, estandarizar protocolos de fermentación para asegurar calidad consistente, además de estudiar la vida útil del producto, considerando su alta actividad enzimática residual (Carrillo y León, 2006) y explorar mercados nicho para bebidas ancestrales con denominación de origen. Este enfoque no solo revitaliza prácticas tradicionales, sino que alinea la producción de cacao con los principios de la economía circular, transformando un subproducto en recurso estratégico (Salvatierra et al., 2023; Puga, 2019).

Conclusiones

En suma, la producción de alcohol etílico a partir del mucílago de cacao con 16,12 grados Brix, mediante fermentación con *Saccharomyces cerevisiae*, es un ejemplo inspirador de cómo la ciencia, la tradición y la innovación pueden converger para transformar

un subproducto agrícola en una fuente de riqueza, sostenibilidad y desarrollo humano. Este proceso no solo contribuye a la economía circular y la reducción de residuos, sino que también dignifica el trabajo rural, promueve la equidad y abre nuevas posibilidades para el sector cacaotero ecuatoriano y mundial. El mucílago de cacao, antes considerado un residuo, se convierte hoy en símbolo de innovación, sostenibilidad y esperanza para las comunidades que viven del cacao. Su transformación en alcohol etílico es un testimonio del poder de la ciencia y la voluntad humana para crear valor donde antes solo había desperdicio.

Referencias Bibliográficas

- AGROSAVIA (2025) Evaluación física y sensorial de licor de cacao. <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/l%C3%ADnea-agr%C3%ADcola/cacao/servicios-de-laboratorio/769-evaluaci%C3%B3n-f%C3%ADsica-y-sensorial-de-licor-de-cacao>
- Alava, W. (2020) *Caracterización física - química del mucílago de cacao (Theobroma cacao L.) con énfasis en los azúcares que lo componen*. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ALAV A%20ZAMBRANO%20WISTON%20ADRIAN.pdf>
- Angulo, G. (2017) *Evaluación del proceso fermentativo del mucílago del cacao aplicando saccharomyces cerevisiae para la producción de bioetanol*. <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/ac66bd b7-86aa-4af4-add4-6f3a842610d7>
- Carrillo A., León A. (2006) *Desarrollo experimental del proceso para la obtención de una bebida fermentada a partir del mucílago del cacao*. <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/e100d084-4cda-41d9-ba0a-13934ea56799/content>
- Carrillo, A., León A. (2006) *Desarrollo experimental del proceso para la obtención de una bebida fermentada a partir del mucílago del cacao*. <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/e100d084-4cda-41d9-ba0a-13934ea56799/content>
- Carvajal, V. (2020) *Caracterización Fisicoquímica del Mucilago del Cacao* <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/55647>
- Gallegos, W. y Erazo, C. (2019) *Diseño de un fermentador y secador solar piloto, para dos variedades de cacao (Theobroma cacao L), en el cantón El Empalme provincia de Guayas*. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3361>
- Goya, M. (2013). *Obtención de una bebida alcohólica a partir de mucílago de cacao, mediante fermentación anaerobia en diferentes tiempos de inoculación*. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/336>
- Lagos T., Vásquez, E., Rojas, G., Huamani, I., Sosa J. (2024). Fermentación de cacao criollo y CCN-51: bacteria lactobacillus fermentum y levadura Lsaccharomyces cerevisiae. *Revista Universidad y Sociedad*. 16(4); 52–63. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202024000400052
- Largo, S., Yugcha, J. (2016) *Elaboración de Néctar Natural de Cacao a Partir del Mucílago*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/91687/D-CD88256.pdf>
- Macías, S., Saavedra, L. (2017) *Determinación de la cinética de fermentación alcohólica del mucílago de cacao CCN-51 en condiciones óptimas de operación de temperatura, pH y concentración de levadura*. <https://dspace-test.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27950/1/Trabajo%20de%20titulacion.pdf>
- MEFCCA (s.f.). Cartilla fermentación y secado de cacao. <https://www.economiafamiliar.gob.ni/backe nd/vistas/doc/cartilla/documento7131539.pdf>

- Moreno, E., Gavanzo, O., Rangel, F. (2019) Evaluación de las características físicas y sensoriales de licor de cacao asociadas a modelos de siembra. *Ciencia y Agricultura*, 16(3); 75-90.
<https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9890>
- Ortiz, L., Rovedas, G., Graziani, L. (2009) Influencia de varios factores sobre índices físicos del grano de cacao en fermentación” *Agronomía Tropical*, 59 (1); 81–88.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Pacheco, D. (2020) *Obtención de una bebida alcohólica a partir del mucílago de cacao*.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/39032>
- Paguay, Y. (2017). *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*. 2022.
<https://repo.uta.edu.ec/items/41023ac7-9ac0-47c6-bf6b-2bb45f358efb>
- Piracoca, M. (2022) *Caracterización del mucílago de cacao (Theobroma Cacao L., clon TSH 565) como fuente de pectina y azúcares para el aprovechamiento en la industria de alimentos*.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84381>
- Piracoca, M. (2022) *Caracterización del mucílago de cacao*.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/84381/1024543556.2023.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Puga, J. (2019) *Creación de una bebida espumante alcohólica fermentada en base al mucílago de cacao*.
<https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/11226>
- Salvatierra, A., Ruiz, B., Zeledón, J. (2023) Aguardiente a partir del mucílago de cacao criollo (Theobroma).
<https://core.ac.uk/download/578918881.pdf>
- Sánchez, D., Rodríguez, W., Castro, D., Trujillo, E. (2019) Respuesta agronómica de mucílago de cacao (Theobroma cacao L.) en cultivo de maíz (Zea mays L.),” *Ciencia en Desarrollo*.10(2); 43–58.
<https://doi.org/10.19053/01217488.v10.n2.2019.7958>
- Santana P., Vera, J., Vallejo, C., Alvarez, A. (2017) “Mucílago de cacao, nacional y trinitario para la obtención de una bebida hidratante,” *Universidad, Ciencia y Tecnología* 4; 179–189.
<https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/download/24/27/>
- Smilja, M. (s.f.) Fermentación del cacao- aspectos generales.
https://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/19_Fermentacion_del_Cacao.pdf
- TOUFOOD (2025) ¿Qué es el mucílago del cacao? <https://www.toufood.com/que-es-el-mucilago-del-cacao/>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Yolanda Verónica Buenaño Suárez, Mercedes Natali Ortiz Vallejo, Hanníbal Lorenzo Brito Moína y Geovanna Elizabeth Lobato Freiré.

