



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
EXTENSIÓN EN EL CARMEN
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

Creada Ley No 10 – Registro Oficial 313 de Noviembre 13 de 1985

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIO**

**“Fermentación acética del mucílago de cacao a través de un fermentador
anaeróbico”**

AUTOR: Michael Andrey Gordillo Rodríguez

TUTORA: Ing. Elizabeth Telli Tacuri Troya, Mg

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A)	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 54

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Extensión El Carmen de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **Gordillo Rodríguez Michael Andrey**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, periodo académico 2025 (2), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **“Fermentación acética del mucílago de cacao a través de un fermentador anaeróbico”**

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

El Carmen, 28 de febrero del 2026.


 Ing. Elizabeth Telli Tacuri Troya, Mg
Docente Tutora
 Área: Industria y productividad

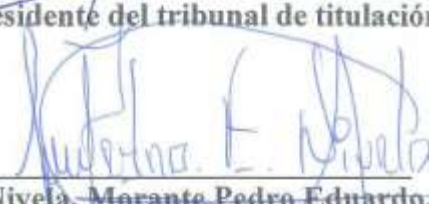


**UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE
MANABÍ EXTENSIÓN EL CARMEN
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto Integrador, titulado **"Fermentación acética del murciélago del cacao a través de un fermentador anaeróbico"**, cuya autora es **Michael Andrey Gordillo Rodríguez** de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria y como Tutor de Trabajo de Titulación el Ing. Elizabeth Telli Tacuri Troya, Mg.

El Carmen, febrero de 2026


Ing. Marco Vinicio De la Cruz Chicaiza, Mg.
Presidente del tribunal de titulación


Ing. Nivelá Morante Pedro Eduardo, Mg.
Miembro del tribunal de titulación


Ing. Cobeña Loor Nexar Vismar, Mg.
Miembro del tribunal de titulación

 **Uleam**



DECLARACIÓN DE AUTORIA

La responsabilidad de este proyecto de Titulación: **"Fermentación acética del murciélago del cacao a través de un fermentador anaeróbico"** corresponde exclusivamente a **Michael Andrey Gordillo Rodríguez** con C.I 1760453686 y los derechos patrimoniales del mismo a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

El Carmen – Manabí

Autor



Michael Andrey Gordillo Rodríguez
C.I 1760453686



Uleam

DEDICATORIA

«La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo». - ***Nelson Mandela*** "

A mi familia, por su cariño incondicional y su apoyo inquebrantable en cada momento de este recorrido académico. Gracias por sostenerme con palabras de aliento cuando las fuerzas flaquearon, por brindarme respaldo moral en las decisiones más difíciles y, sobre todo, por ofrecerme el soporte económico que hizo posible continuar mis estudios sin interrupciones.

Cada gesto de confianza, cada sacrificio y cada muestra de amor han sido el motor que impulsó mi anhelo de convertirme en ingeniero agropecuario. Este logro lleva impresa la huella de su entrega y perseverancia; por ello les pertenece tanto como a mí.

Gordillo Rodríguez Michael Andrey

AGRADECIMIENTO

«El éxito es la capacidad de ir de fracaso en fracaso sin perder el entusiasmo». - *Winston Churchill*

Agradezco a Dios por haberme concedido la sabiduría y la fortaleza diarias que hicieron posible mi graduación como ingeniera agropecuaria”, expresó. Reconoció, además, a la Ing. Elisabe Tacuri, tutora cuyo acompañamiento constante, orientación académica y confianza resultaron decisivos para culminar con éxito la carrera.

Finalmente, destacó el apoyo moral, afectivo y económico de mi familia, respaldo que transformó el sueño de convertirme en ingeniero agropecuaria en una realidad.

Gordillo Rodríguez Michael Andrey

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
TRIBUNAL DE TITULACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN	5
OBJETIVOS	6
CAPÍTULO I.....	7
MARCO TEÓRICO	7
1.1 Generalidades del cacao	7
1.2 Clasificación botánica del cacao	7
1.3 Cacao Clon CCN-51.....	8
1.4 Usos del cacao	9
1.5 El mucílago de cacao.....	10
1.6 Fermentación alcohólica	13
1.7 <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13
1.8 La fermentación acética	14
1.9 Kéfir	14
1.10 Kombucha	15
CAPITULO II	18

ESTADO DEL ARTE	18
CAPITULO III	20
METODOLOGÍA.....	20
3.1. Localización de la unidad experimental.....	20
3.2. Caracterización agroecológica de la zona	21
3.3. Materiales	21
3.4. MÉTODOS.....	22
3.4.1 Método empírico	22
3.4.2 Método experimental.....	22
3.5 Variables del estudio	23
3.5.1 Variable independiente.....	23
3.5.2 Variable dependiente.....	23
3.6 Tratamientos.....	23
3.7 Análisis estadístico.....	24
3.8 Manejo del experimento.....	24
3.8.1 Descripción del proceso de fermentación acética del mucílago de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L. var. CCN-51).....	24
3.8.2 Procedimiento.....	25
CAPÍTULO IV	27
4.1 DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	27
4.2 Diseño y selección de tecnologías a implementar.....	28
4.2.1 Tecnología de fermentación batch	29
4.2.2 Tecnología de acondicionamiento del mucílago de cacao	30
4.2.3 Tecnología de control fisicoquímico del proceso	30
4.2.4 Tecnología de fermentación alcohólica.....	30
4.2.5 Tecnología de fermentación acética.....	31
4.2.6 Tecnología de destilación y evaluación posterior	31
4.2.7 Descripción del fermentador	31

4.3	Plan de implementación	32
CAPÍTULO V.....		33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		33
5.1	Fase alcohólica	33
5.1.1	Comportamiento de los sólidos solubles (°Brix), pH y contenido alcohólico del mucílago de cacao durante la fase alcohólica	33
5.2	Fase Acética	34
5.2.1.	Contenido de sólidos solubles (°Brix) durante la fase acética	34
5.2.1	Contenido de potencial de hidrogeno pH durante la fase acética	35
5.3	Rendimiento	36
5.4	Análisis de costos por tratamiento	37
CAPÍTULO VI.....		XXXV
CONCLUSIONES		XXXV
RECOMENDACIONES		XXXVI
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		XXXV
ANEXOS.....		XXXV

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación sistemática del cacao	8
Tabla 2. Características físicas y químicas del mucílago de cacao	11
Tabla 3. Composición química del mucílago de cacao	12
Tabla 4. Beneficios del uso de microorganismos en la fermentación acética de la cáscara de cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	17
Tabla 1. Características climatológicas de la localidad.....	21
Tabla 3. Tratamientos del estudio	23
Tabla 4. Esquema del análisis de varianza	24
Tabla 8. Costos de implementación del sistema experimental.....	28
Tabla 9. Preparación del sustrato y acondicionamiento del mosto de mucílago de cacao.....	32
Tabla 10. Efecto del tipo de inóculo sobre la variable evaluada en la fermentación acética del mucílago de cacao	34
Tabla 11. Efecto del tipo de inóculo microbiano sobre el pH del mucílago de cacao durante la fermentación acética.....	35
Tabla 12. Resultados obtenidos después del proceso de destilación del mucílago de cacao ..	36
Tabla 13. <i>Costos de producción por tratamiento en la fermentación acética del mucílago de cacao</i>	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clon de Cacao CCN51.....	9
Figura 2. Mucilago de cacao	11
Figura 3. Gránulos de kéfir de agua utilizados como inóculo fermentativo	15
Figura 4. Cultivo simbiótico de kombucha (SCOBY) utilizado como inóculo microbiano en el proceso de fermentación acética	16
Figura 1. Localización geográfica del área de estudio	20
Figura 6. Refractómetro digital empleado para la determinación de sólidos solubles (°Brix) en los sustratos fermentados de mucílago de cacao durante el proceso de fermentación acética. 28	
Figura 7. Fermentador batch de acero inoxidable de 100 L con tapa hermética y válvulas de entrada y salida.....	31
Figura 8. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos durante la fase alcohólica de la fermentación del mucílago de cacao en un fermentador anaeróbico	33
Figura 9. <i>Rendimiento porcentual del destilado obtenido a partir del mucílago de cacao</i>	36

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Medición volumétrica del sustrato fermentado</i>	XXXV
Anexo 2. <i>Muestra de kéfir utilizada como inóculo microbiano</i>	XXXV
Anexo 3. <i>Preparación del mosto de mucílago de cacao</i>	XXXV
Anexo 4. <i>Tratamiento térmico del mucílago de cacao</i>	XXXVI
Anexo 5. <i>Agitación manual del sustrato durante el calentamiento</i>	XXXVI
Anexo 6. <i>Trasvase del sustrato al recipiente de medición</i>	XXXVII
Anexo 7. <i>Pesaje del inóculo microbiano</i>	XXXVII
Anexo 8. <i>Carga del sustrato al sistema de fermentación</i>	XXXVII
Anexo 9. <i>Destilación del sustrato fermentado</i>	XXXVIII

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el rendimiento y caracterizar el ácido acético obtenido a partir de la fermentación del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.). La investigación se desarrolló bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), con cuatro tratamientos: kéfir, levadura (*Saccharomyces* sp.), kombucha y un consorcio mixto (kéfir + levadura + kombucha). Se analizaron variables fisicoquímicas durante la fase alcohólica y la fase acética, así como el rendimiento y el costo de producción del proceso.

Durante la fase alcohólica, se obtuvo un sustrato adecuado para la fermentación acética, registrándose valores promedio de 3,60 °Brix, pH 3,76 y un contenido alcohólico constante de 5,00 %, lo que evidenció un consumo eficiente de azúcares fermentables y una fermentación alcohólica estable en todos los tratamientos. En la fase acética, se observaron diferencias entre tratamientos, destacándose el tratamiento Mixto, el cual presentó el pH promedio más bajo (3,92), indicando una mayor conversión del etanol en ácido acético. Asimismo, este tratamiento alcanzó el mayor rendimiento porcentual del proceso (64,6 %), seguido por kombucha (64,2 %) y kéfir (62,0 %), mientras que el tratamiento con levadura registró el menor rendimiento (21,4 %). Desde el punto de vista económico, el tratamiento con kéfir presentó el menor costo de producción (8,60 USD); no obstante, al considerar de manera integral el rendimiento y la eficiencia del proceso, el tratamiento Mixto se identificó como el más eficiente para la obtención de ácido acético a partir del mucílago de cacao.

Palabras clave: Ácido acético, fermentación, mucílago de cacao

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the yield and to characterize acetic acid obtained from the fermentation of cocoa mucilage (*Theobroma cacao* L.). The experiment was conducted under a Completely Randomized Design (CRD) with four treatments: kefir, yeast (*Saccharomyces* sp.), kombucha, and a mixed consortium (kefir + yeast + kombucha). Physicochemical variables were analyzed during the alcoholic and acetic phases, as well as process yield and production costs. During the alcoholic phase, an adequate substrate for acetic fermentation was obtained, with average values of 3.60 °Brix, pH 3.76, and a constant alcohol content of 5.00%, indicating efficient consumption of fermentable sugars and a stable alcoholic fermentation across all treatments. In the acetic phase, differences among treatments were observed. The mixed treatment showed the lowest average pH (3.92), indicating greater conversion of ethanol into acetic acid. This treatment also achieved the highest process yield (64.6%), followed by kombucha (64.2%) and kefir (62.0%), whereas the yeast treatment showed the lowest yield (21.4%). From an economic perspective, the kefir treatment presented the lowest production cost (USD 8.60). However, considering both yield and process efficiency, the mixed treatment was identified as the most efficient alternative for acetic acid production from cocoa mucilage.

Keywords: Acetic acid, Fermentation, Cocoa mucilage

INTRODUCCIÓN

Ecuador se reconoció como el mayor proveedor mundial de cacao fino de aroma, al cubrir cerca del 60 % de la demanda global y exportar, en 2016, más de 223 000 t de grano y 26 700 t de productos derivados (Vera-Loor et al., 2020a). Los cultivos se concentraron en las provincias costeras y amazónicas, donde Guayas, Los Ríos, Manabí, Esmeraldas, El Oro y Santa Elena aportaron 80 % de la superficie total, mientras el resto se distribuyó en zonas andinas y selváticas (Quiñonez-Cedeño, 2024).

Para Luna (2018), cuando se cosecha el cacao apenas se aprovecha la almendra que esto viene a ser cerca del 10 % del peso fresco del fruto, descartando la cáscara y la pulpa, generando residuos que contaminaron suelos y cuerpos de agua. Entre dichos subproductos destaca el mucílago, que se caracteriza por ser líquido viscoso con 10–15 % de azúcares, 1 % de pectina y 1,5 % de ácido cítrico (Suárez et al., 2025). Aunque una fracción de esta “baba” intervino en la fermentación del grano, la mayor parte se desechó, pese a su reconocido potencial biotecnológico (Luna, 2018).

Estudios recientes evidenciaron la producción de vino a partir del exudado fermentado del mucílago (Suárez et al., 2025) y demostraron que la oxidación del etanol mediante bacterias acéticas podía generar vinagre de alta calidad (Palacios-Vallejos et al., 2019a). Según Quiñonez-Cedeño, (2024) la variedad ecuatoriana CCN-51, es apreciada por su resistencia y productividad, incrementó el volumen de mucílago disponible, lo que exige alternativas de valorización ambiental y económica.

En este contexto, la presente investigación evaluó la fermentación acética del exudado de mucílago de cacao mediante un fermentador anaeróbico, con el propósito de transformar un residuo abundante en vinagre y, simultáneamente, reducir la carga contaminante de la cadena cacaotera ecuatoriana (Palacios-Vallejos et al., 2019a).

Impacto ambiental

Además García & Moreta (2013), mencionan que se puede mitigar impactos ambientales, si se le da la valorización del mucílago y de otros subproductos (cáscara, placenta y broza) representa una estrategia clave de economía circular para el sector cacaotero: permite diversificar ingresos, reducir pérdidas poscosecha y mejorar la resiliencia de pequeños productores (Gómez & Albeiro, 2022).

Estudios piloto documentaron rendimientos superiores a 80 L de vinagre t-1 de fruto

fresco y demostraron que la recuperación de pectina, fibra dietética y compuestos fenólicos del mucílago aporta nuevas líneas de negocio alimentos funcionales, biopelículas comestibles y biofertilizantes que triplican el valor económico obtenido cuando el líquido se descartó como residuo (Vera-Loor et al., 2020).

Al integrar estos subproductos a la cadena permitió elevar el margen bruto entre 7 % y 12 %, al tiempo que se redujeron las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la descomposición anaeróbica del mucílago en campo (ICCO, 2022). En consecuencia, desarrollar vinagre a partir de la “baba” no solo ofreció una salida tecnológicamente viable, sino que también fortaleció la sostenibilidad y la competitividad de la industria ecuatoriana del cacao (Barén, 2013).

Impacto social

El aprovechamiento del mucílago de cacao para la obtención de ácido acético generó un impacto social positivo al promover la inclusión productiva de pequeños agricultores, quienes accedieron a una alternativa tecnológica sencilla para transformar un residuo en un insumo con valor comercial (Barén, 2013). Esta estrategia fortaleció las capacidades locales mediante la transferencia de conocimientos en procesos fermentativos, favoreciendo la autonomía productiva en zonas rurales (Vera-Loor et al., 2020a).

Asimismo, contribuyó a la generación de empleo complementario en etapas de acopio, procesamiento y comercialización, especialmente en economías familiares. La valorización del mucílago incentivó una percepción distinta del residuo, fomentando prácticas responsables y sostenibles (Vera-Loor et al., 2020a).

Impacto económico

El cacao constituye un pilar de la economía ecuatoriana, al generar cerca de 500 000 empleos directos e indirectos, de los cuales el 98 % proviene de pequeñas fincas familiares (Balcázar-Suarez & León-Espinoza, 2024). No obstante, un subproducto fundamental el mucílago o “baba” de cacao termina desechado en la mayoría de los casos porque los productores lo perciben como un residuo sin valor comercial (Matiz, 2025).

Como resultado, se desperdician aproximadamente 70 L de mucílago por cada tonelada de fruto, lo que no solo implica la pérdida de materia prima que podría ampliar la cadena de valor, sino también la generación de residuos que fermentan en campo y contaminan suelos y cuerpos de agua cercanos. La causa principal radica en la falta de conocimiento técnico sobre las propiedades nutritivas del mucílago y en la nula articulación institucional para promover su

aprovechamiento (Suárez et al., 2025).

Gómez & Albeiro (2022), dicho escenario se manifiesta en oportunidades económicas desaprovechadas y en un impacto ambiental progresivo. Estudios recientes muestran que, por su alto contenido de azúcares, pectinas y ácidos orgánicos, dicho mucílago puede transformarse en jaleas, bebidas fermentadas, mermeladas y fiablemente en vinagres, transformando y diversificando la oferta agroindustrial e impulsando la economía rural (Gómez & Albeiro, 2022).

Es por ello que, con base en lo establecido, el objetivo general de la investigación consistió en evaluar el rendimiento y caracterizar el ácido acético obtenido a partir del fermento del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) (Suárez et al., 2025).

De manera específica, se planteó realizar la fermentación alcohólica del mucílago para obtener el sustrato precursor de ácido acético, efectuar la fermentación acética del sustrato alcohólico empleando bacterias acéticas y determinar la eficiencia del proceso, así como estimar los costos de producción del ácido acético obtenido (Vera-Loor et al., 2020).

En la poscosecha cacaotera se descarta el mucílago, una matriz acuosa (80 %) rica en azúcares fermentables (10–15 % de glucosa y fructosa) y con pequeñas fracciones de ácidos orgánicos, sales y polisacáridos (Suárez et al., 2025). Su alta carga de carbohidratos, junto a un pH naturalmente ácido, lo convierte en un sustrato idóneo para procesos biotecnológicos entre ellos la obtención de ácido acético mediante bacterias acéticas capaces de generar un vinagre distintivo (Gómez & Albeiro, 2022).

Transformar este flujo residual aporta un doble beneficio: ambiental, al reducir lixiviados que hoy se fermentan de forma no controlada y contaminan suelos y aguas, y económico, al sumar un nuevo producto gourmet a la cadena del cacao con potencial de diferenciación territorial (Vera-Loor et al., 2020a). Tal enfoque de economía circular diversifica los ingresos de los pequeños productores, refuerza la sostenibilidad del cultivo y atiende la tendencia de mercados que valoran ingredientes con origen trazable y perfiles sensoriales únicos (Luna, 2018).

El desarrollo de vinagre de mucílago, por tanto, se plantea como una opción viable para convertir un desecho abundante en un condimento de alto valor agregado, fortaleciendo la competitividad del sector cacaotero ecuatoriano (Luna, 2018).

Desde una contexto de economía circular, el aprovechamiento del mucílago de cacao permitiendo cerrar ciclos productivos dentro de la poscosecha, integrando subproductos que

tradicionalmente se descartaron a esquemas de valorización agroindustrial, y estos a su vez generan un rubro económico representativo a los productores de cacao (Suárez et al., 2025). Este enfoque favoreció el uso eficiente de los recursos, al reincorporar la biomasa residual como materia prima para nuevos procesos fermentativos, reduciendo la dependencia de insumos externos y minimizando la generación de residuos (Gómez & Albeiro, 2022).

En el ámbito de la poscosecha cacaotera, la transformación del mucílago en ácido acético contribuyó a optimizar el manejo de los flujos secundarios, disminuyendo pérdidas y mejorando la gestión ambiental de los centros de acopio. Además, la implementación de este tipo de procesos promovió modelos productivos más resilientes, al diversificar las actividades económicas asociadas al cacao y fortalecer la sostenibilidad integral de la cadena, especialmente en sistemas de pequeña y mediana escala (Suárez et al., 2025).

JUSTIFICACIÓN

En la poscosecha cacaotera se descarta el mucílago, una matriz acuosa (80 %) rica en azúcares fermentables (10–15 % de glucosa y fructosa) y con pequeñas fracciones de ácidos orgánicos, sales y polisacáridos (Suárez et al., 2025). Para Gómez & Albeiro (2022), la lata carga de carbohidratos, junto a un pH naturalmente ácido, lo convierte en un sustrato estable para los procesos biotecnológicos entre ellos la obtención de ácido acético mediante bacterias acéticas capaces de generar un vinagre distintivo.

Vera-Loor et al., (2020) menciona que este flujo residual aporta un doble beneficio: ambiental, al reducir lixiviados que hoy se fermentan de forma no controlada y contaminan suelos y aguas, y económico, al sumar un nuevo producto gourmet a la cadena del cacao con potencial de diferenciación territorial. En cuanto a Luna (2018) le da un enfoque de economía circular diversifica los ingresos de los pequeños productores, refuerza la sostenibilidad del cultivo y atiende la tendencia de mercados que valoran ingredientes con origen trazable y perfiles sensoriales únicos.

El desarrollo de vinagre de mucílago, por tanto, se plantea como una opción viable para convertir un desecho abundante en un condimento de alto valor agregado, fortaleciendo la competitividad del sector cacaotero ecuatoriano (Gómez & Albeiro, 2022).

Desde una perspectiva de economía circular, el aprovechamiento del mucílago de cacao permitió cerrar ciclos productivos dentro de la poscosecha, integrando subproductos que tradicionalmente se descartaron a esquemas de valorización agroindustrial. Este enfoque favoreció el uso eficiente de los recursos, al reincorporar la biomasa residual como materia prima para nuevos procesos fermentativos, reduciendo la dependencia de insumos externos y minimizando la generación de residuos (Gómez & Albeiro, 2022).

En el ámbito de la poscosecha cacaotera, la transformación del mucílago en ácido acético contribuyó a optimizar el manejo de los flujos secundarios, disminuyendo pérdidas y mejorando la gestión ambiental de los centros de acopio. Además, la implementación de este tipo de procesos promovió modelos productivos más resilientes, al diversificar las actividades económicas asociadas al cacao y fortalecer la sostenibilidad integral de la cadena, especialmente en sistemas de pequeña y mediana escala (Suárez et al., 2025).

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar el rendimiento y caracterizar el ácido acético obtenido a partir del fermento natural del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.).

Objetivos específicos

- Realizar la fermentación alcohólica del mucílago de cacao para obtener el sustrato precursor de ácido acético.
- Efectuar la fermentación acética del sustrato alcohólico empleando bacterias acéticas, y determinar la eficiencia del proceso.
- Determinar los costos de producción del ácido acético.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades del cacao

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie originaria de las zonas tropicales húmedas de América del Sur, particularmente de la cuenca del río Amazonas, donde encontró condiciones ecológicas óptimas para su desarrollo (Gómez & Albeiro, 2022). Este cultivo, de gran valor simbólico y económico, fue domesticado por diversas culturas ancestrales que no solo lo emplearon como alimento energético, sino también como medio de intercambio y elemento ritual (Barazarte et al., 2008).

El término *Theobroma*, que en griego significa “alimento de los dioses”, evidencia la importancia espiritual que tenía para las civilizaciones precolombinas (Huamaní-Yupanqui et al., 2012). Aunque durante décadas se asumió que el cacao fue domesticado en Mesoamérica, estudios genéticos recientes han demostrado que la mayor diversidad genética se concentra en el alto Amazonas, particularmente en regiones de Perú, Ecuador y Colombia (Barazarte et al., 2008).

Según Andrade-Almeida et al. (2019), La pulpa del fruto era consumida como bebida refrescante o fermentada para producir líquidos alcohólicos usados en celebraciones. Asimismo, las semillas de cacao circularon como moneda en rutas comerciales ancestrales, consolidando su relevancia histórica en las prácticas sociales, religiosas y económicas de los pueblos indígenas de la región andino-amazónica (López & Gil Rivero, 2017).

1.2 Clasificación botánica del cacao

Desde la figura botánica, el cacao corresponde al género *Theobroma*, dentro de la familia *Malvaceae*, grupo que alberga otras especies con importancia agronómica (Barazarte et al., 2008). El cultivo de *Theobroma cacao* se ha destacado por su alto valor comercial en el mercado internacional de productos agroindustriales (Andrade-Almeida et al., 2019). Sin embargo, su clasificación taxonómica ha resultado complicada debido a su amplia movilidad genética, la cual se manifiesta en la morfología de sus órganos reproductivos y estructuras vegetativas (López & Gil-Rivero, 2017).

Es una planta perenne de porte medio, que en condiciones de sombra puede alcanzar hasta 20 metros, aunque en cultivos establecidos suele mantenerse entre 5 y 8 metros de altura (López & Gil-Rivero, 2017). Sus hojas son alternas, simples, con bordes enteros, y presentan

una gama de colores que va desde el verde pálido hasta tonalidades rojizas o moradas en sus primeros estadios (Barazarte et al., 2008).

Las flores, pequeñas y hermafroditas, brotan directamente del tronco o ramas principales, mientras que los frutos tienen formas, colores y tamaños diversos (García & Moreta, 2013). Estos frutos, denominados comúnmente mazorcas, pueden alcanzar hasta 30 cm de largo, y contienen en su interior una pulpa mucilaginosa que envuelve entre 20 a 40 semillas ovaladas y aplanadas (Quiñonez-Cedeño, 2024).

Tabla 1. Clasificación sistemática del cacao

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	Plantae
División	Espermatophyta
Clase	Angiospermae
Orden	Malvales
Familia	Malvaceae
Género	<i>Theobroma</i>
Especie	<i>T. cacao</i>

Fuente: Tomado de Quiñonez-Cedeño,(2024).

La tabla1 presenta la clasificación sistemática del cacao, ordenando la especie *Theobroma cacao* L. dentro de los principales niveles taxonómicos. En ella se identifica al cacao como una planta perteneciente al reino *Plantae*, incluida en la división *Espermatophyta* y la clase *Angiospermae*, lo que indica que se trata de una planta con semillas y flores (Quiñonez-Cedeño, 2024).

1.3 Cacao Clon CCN-51

El cacao CCN-51 (Colección Castro Naranjal, híbrido número 51) fue perfeccionado por el ingeniero agrónomo Homero Castro Zurita en la provincia de la provincia del Guayas, específicamente alojado en el cantón Naranjal, como una opción genética con alta tolerancia a enfermedades sin que se comprometa el rendimiento del cultivo (Arias et al., 2022).

Para Rosas-Patiño et al., (2025), este clon, producto de un proceso de cruzamiento y posterior multiplicación vegetativa mediante injertos, ha sido ampliamente adoptado por los productores ecuatorianos debido a su adaptabilidad y productividad superior.

Para Avendaño Arrazate et al. (2010), Entre las características más destacadas del CCN-51 se encuentran su notable resistencia a enfermedades fúngicas y bacterianas, su elevada producción (con registros de hasta 40 quintales por hectárea) y la posibilidad de mejorar sus

atributos sensoriales mediante prácticas de postcosecha específicas, distintas a las utilizadas en el cacao nacional.

En este contexto, se han implementado estrategias para evitar la hibridación genética entre el cacao Nacional y el CCN-51, con el objetivo de preservar la identidad de cada variedad, como ocurre en la Hacienda Sofía, donde se mantiene un cultivo puro desde hace más de cuatro décadas (Anecacao, 2018).

Figura 1. *Clon de Cacao CCN51*



Fuente: Foto tomada en la finca San Jorge ubicada en el cantón El Carmen provincia de Manabí – Ecuador

La Figura 1 muestra un árbol de cacao (*Theobroma cacao* L.) en plena fase productiva, con numerosas mazorcas desarrolladas adheridas directamente al tronco y a las ramas principales, característica conocida como cauliflora. Los frutos presentan una coloración rojiza a rojizo-violácea, indicativa de un estado avanzado de madurez fisiológica, y una forma elipsoidal con surcos longitudinales bien definidos (Anecacao, 2018).

1.4 Usos del cacao

Puentes-Páramo et al., (2014), establecen que el cacao no solo tiene un valor económico asociado a la producción de chocolate, sino que también se aprovecha en diversos procesos agroindustriales. Según Puga (2017), es posible utilizar subproductos del cacao como materia prima para la elaboración de bioles, sin necesidad de tecnología compleja, obteniendo productos de buena calidad, ricos en macro y micronutrientes, aptos para aplicación foliar y con bajo impacto ambiental.

Los sistemas de cultivo de cacao suelen establecerse en asociaciones agroforestales, lo que permite el aprovechamiento de interacciones benéficas entre especies (López & Gil-Rivero, 2017). Como lo destaca Anecacao (2018b), este manejo favorece la captura de aromas entre especies vecinas, particularmente en cacaos finos como el Criollo, además de facilitar el control biológico de plagas y malezas, y mejorar la fertilidad del suelo.

La versatilidad del cacao se manifiesta también en su uso para la producción de jugos, jaleas, bebidas fermentadas, cosméticos, manteca, pasta y polvo de cacao (López et al., 2020). En este sentido, Strong (2020) resalta el uso tradicional del cacao como bebida ritual entre los pueblos precolombinos, reservada para las élites sociales. Por su parte, Vázquez-Ovando et al. (2016) explican que la domesticación del cacao obedeció en gran medida a su aroma y sabor, atributos determinados por compuestos bioactivos como los polifenoles y alcaloides.

En años recientes, países como Perú han consolidado la exportación de productos derivados del cacao, incluyendo granos secos, manteca, chocolate y polvo, lo que demuestra su creciente importancia en el mercado internacional (Rosas-Patiño et al., 2025). Velastegui, (2019), menciona que, en Ecuador, en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, catadores del mucílago de cacao han descrito perfiles organolépticos complejos del cacao, con notas frutales, acarameladas, maderadas y amargas, que varían según el manejo poscosecha y el origen geográfico.

Para Rosas-Patiño et al. (2025), El amargor característico del cacao se debe a la presencia de alcaloides, cuyo contenido disminuye conforme madura el fruto, mientras que los polifenoles, responsables de la astringencia, aportan beneficios antioxidantes. Estos compuestos no solo afectan la palatabilidad del grano, sino también su valor funcional y nutricional (Vázquez-Ovando et al., 2016).

1.5 El mucílago de cacao

Dentro de las estructuras internas del fruto de cacao se encuentra una sustancia de alto valor potencial: el mucílago (Álvarez et al., 2002). Esta pulpa blanca, de textura viscosa y ligeramente algodonosa, rodea las semillas y representa un subproducto con aplicaciones emergentes en las industrias alimentaria y biotecnológica (López & Gil-Rivero, 2017). Su perfil organoléptico varía significativamente en función de las condiciones agroclimáticas donde se cultiva el cacao (Torres et al., 2016).

Así, en zonas cálidas, el mucílago suele presentar un sabor más dulce, mientras que en regiones de clima más templado o frío puede adquirir notas ácidas más intensas (Barazarte

et al., 2008). Esta variabilidad sensorial se ve también influenciada por la interacción de las raíces del cacao con la microbiota edáfica y la vegetación circundante, lo que le otorga características particulares en cada ecosistema (García & Moreta, 2013).

Figura 2. *Mucilago de cacao*



Fuente: toma de Rosas-Patiño et al., (2025).

La figura 2 muestra el mucílago de cacao obtenido tras la extracción manual de las mazorcas, evidenciando su aspecto líquido, color ámbar claro y presencia de sólidos finos, características propias del sustrato utilizado en procesos de fermentación.

Desde el punto de vista bioquímico, el mucílago es altamente fermentable, lo cual limita su tiempo de conservación a un máximo de seis meses bajo condiciones de congelación, si se desea mantener su calidad sensorial y valor nutricional (Barazarte et al., 2008).

Durante el proceso de fermentación, este fluido sufre una transformación gradual. Inicialmente, empieza con los azúcares presentes, principalmente se encuentran la sacarosa, glucosa y fructosa, estos se metabolizan por la utilización de levaduras y bacterias, dando paso a la producción de etanol (Quiñonez-Cedeño, 2024). Posteriormente, las bacterias acéticas son las encargadas de convertir el alcohol en ácido acético, lo que permite complementar el proceso biotecnológico de doble etapa con gran relevancia en la elaboración de vinagre artesanal (Maquilon et al., 2025).

Tabla 2. *Características físicas y químicas del mucílago de cacao*

PARÁMETROS	PROMEDIOS
Humedad (%)	85.3 ± 8.60
Sólidos solubles totales (°Brix)	16.17 ± 0.74
Glucosa (g/L)	214.24 ± 6.42
Sacarosa (g/L)	21.31 ± 3.21
pH	3.75 ± 0.81
Acidez titulable (meq/L)	170 ± 6.28
Ácido cítrico (mg/L)	9.14 ± 0.64
Ácido málico (mg/L)	3.6 ± 0.50
Ácido acético (mg/L)	2.28 ± 0.70
Ácido oxálico (mg/L)	1.27 ± 0.72
Ácido láctico (mg/L)	1.23 ± 0.01
Fósforo total (mg/L)	62.47 ± 3.43
Calcio (mg/L)	171.5 ± 34.01
Magnesio (mg/L)	82.5 ± 0.81
Sodio (mg/L)	30.5 ± 3.77
Potasio (mg/L)	950 ± 16.32
Grasa (%)	3.54 ± 0.2
Proteínas totales (g/L)	7.2 ± 0.21

Fuente: tomado de Quiñonez-Cedeño, (2024).

La tabla 2. presenta las características físicas y químicas del mucílago de cacao, destacando un alto contenido de humedad, propio de este subproducto,

En cuanto a su composición, el mucílago de cacao está constituido en un 60% por sacarosa sobre base seca, lo que le proporciona un alto poder energético y dulzor natural (Luna, 2018). Quiñonez-Cedeño (2024), menciona que los monosacáridos como glucosa y fructosa reportan alrededor del 39%, pentosas en menor proporción entre 2% y 3%, manifestando que también se encuentran otros compuestos como ácido cítrico, pectinas, vitaminas esenciales y aminoácidos. Esta combinación lo convierte en un sustrato ideal para el desarrollo de diversos microorganismos, lo que ha motivado su uso en investigaciones relacionadas con fermentaciones controladas y producción de compuestos bioactivos (Maquilon et al., 2025).

Tabla 3. *Composición química del mucílago de cacao*

Componentes	% pp (porcentaje en peso húmedo)
Agua	82 – 87
Proteína	0,09 – 0,11
Azúcares	10 – 15

Componentes	% pp (porcentaje en peso húmedo)
Pectinas	1 – 1,5
Ácido cítrico	1 – 3

Fuente: adaptado de Balcázar-Suarez & León-Espinoza (2024)

La tabla 3 presenta la composición química del mucílago de cacao, expresada en porcentaje de peso húmedo, evidenciando un alto contenido de agua, característico de este subproducto.

1.6 Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica constituye un proceso metabólico anaeróbico ampliamente utilizado por levaduras y algunas bacterias, mediante el cual los azúcares presentes en un sustrato se transforman en etanol (C_2H_5OH) y dióxido de carbono (CO_2), generando simultáneamente energía aprovechable por los microorganismos (Torres et al., 2016). En términos bioquímicos, este proceso inicia con la degradación de la glucosa en ácido pirúvico, que posteriormente se convierte en etanol y CO_2 (Barazarte et al., 2008).

El etanol, producto principal, no solo posee un valor energético, sino que también aporta características organolépticas particulares como el sabor y el efecto embriagante en bebidas fermentadas; mientras que el CO_2 es responsable de la efervescencia en productos como la cerveza o el pan (Balcázar-Suarez & León-Espinoza, 2024)

1.7 *Saccharomyces cerevisiae*

Uno de los microorganismos más empleados en procesos fermentativos es *Saccharomyces cerevisiae*, una levadura unicelular ampliamente reconocida por su eficacia en la conversión de azúcares simples en etanol (Parapouli et al., 2020). De acuerdo con Lin et al., (2012), esta especie ha sido históricamente utilizada en la producción de vino, cerveza y pan, debido a su capacidad para fermentar incluso en condiciones anaeróbicas.

Esta levadura presenta formas morfológicas variables esferoidales, elipsoidales o cilíndricas y su rango óptimo de crecimiento se encuentra entre los 25 y 30 °C, lo que la convierte en un organismo ideal para procesos fermentativos controlados (Parapouli et al., 2020).

En medios de cultivo como el agar OGY, *S. cerevisiae* se identifica fácilmente por sus colonias húmedas y brillantes, con bordes irregulares y color blanco o crema, y en condiciones adecuadas, puede generar ascosporas durante su ciclo reproductivo (Cavaliere et al., 2003). Según Torija et al. (2003), esta levadura prospera en medios con características fisicoquímicas específicas, tales como un contenido de humedad superior al 85 %, sólidos solubles de 16,17

°Brix y alta concentración de azúcares fermentables, entre ellos glucosa (214,24 g/L) y sacarosa (21,31 g/L).

Según Torija et al. (2003), el entorno fermentativo presenta un pH ácido (3,75) y acidez titulable de 170 meq/L, con presencia de ácidos orgánicos como cítrico (9,14 mg/L), málico, acético, oxálico y láctico en proporciones menores. Maiorella et al. (1983), también han reportado contenidos significativos de vitamina C, minerales esenciales como potasio (950 mg/L), calcio (171,5 mg/L), magnesio (82,5 mg/L), y una concentración de proteínas totales que alcanza los 7,2 g/L, lo que no solo aporta valor nutricional al medio, sino que también favorece la actividad fermentativa.

En síntesis, *S. cerevisiae* constituye un agente biotecnológico de alto valor para la obtención de bioetanol, especialmente cuando se emplea en sustratos como el mucílago de cacao, cuya composición química se adapta perfectamente a sus requerimientos metabólicos (Cavalieri et al., 2003).

1.8 La fermentación acética

La fermentación acética representa una etapa crucial en la biotransformación de compuestos orgánicos, siendo protagonizada por bacterias del género *Acetobacter* (García & Moreta, 2013). las cuales poseen la capacidad de oxidar el etanol y convertirlo en ácido acético. A diferencia de la fermentación alcohólica que se desarrolla en condiciones anaeróbicas este proceso requiere la presencia de oxígeno, por lo que se clasifica como aeróbico (López & Gil-Rivero, 2017).

De acuerdo con Álvarez (2021), "la fermentación acética suele darse en vinos expuestos al aire, donde las bacterias encuentran el oxígeno necesario para actuar", lo cual evidencia la necesidad de condiciones ambientales específicas para su desarrollo eficaz. Vera-Loor et al., (2020), menciona que este tipo de fermentación no solo es relevante en la producción de vinagre, sino también en otros procesos biotecnológicos donde se busca aprovechar sustratos fermentados previamente para obtener compuestos de valor agregado.

1.9 Kéfir

El kéfir se reconoció como un consorcio microbiano natural caracterizado por la coexistencia de bacterias ácido-lácticas, bacterias ácido-acéticas y levaduras fermentativas, las cuales interactuaron de forma simbiótica durante el proceso fermentativo (Bengoa et al., 2019). Esta diversidad microbiana permitió una utilización eficiente de los azúcares presentes en

distintos sustratos, generando metabolitos intermedios como etanol y ácidos orgánicos (Bourrie et al., 2016).

Según Bourrie et al. (2016), los sistemas de fermentación aplicados a residuos agroindustriales, el kéfir puede mostrar una notable capacidad para iniciar la fermentación alcohólica, condición fundamental para el posterior desarrollo de la fermentación acética.

Figura 3. Gránulos de kéfir de agua utilizados como inóculo fermentativo



Fuente: tomado de Escorihuela, (2022)

La figura muestra gránulos de kéfir de agua, caracterizados por su estructura translúcida y gelatinosa, los cuales fueron empleados como inóculo fermentativo debido a su composición microbiana diversa, principalmente levaduras y bacterias ácido-lácticas, capaces de iniciar y sostener procesos fermentativos

La presencia simultánea de levaduras y bacterias acéticas favoreció la conversión progresiva del etanol en ácido acético, lo que se reflejó en la disminución del pH y en la estabilización del medio fermentativo (Ganatsios et al., 2021).

Estas características posicionaron al kéfir como una alternativa biotecnológica viable para procesos de valorización de subproductos agrícolas, al contribuir tanto a la eficiencia fermentativa como a la sostenibilidad del proceso (Bengoa et al., 2019).

Este consorcio de microorganismos que viven en simbiosis se destaca los siguientes: Entre las bacterias los *Streptococcus thermophilus*, *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremosis*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Lactobacillus casei* subsp. *pseudopantarum*, *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus*

rhamnosus, *Leuconostoc mesenteroides*, *Leuconostoc pseudomesenteroides*, *Bifidobacterium infantis*, *Bifidobacterium lactis*, y entre las levaduras *Kluyveromyces marxianus* var. *lactis*, *Saccharomyces cerevisiae* (Ganatsios et al., 2021).

Kombucha

La kombucha se definió como un cultivo simbiótico de bacterias y levaduras, conocido como SCOBY (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast*), cuya composición microbiana estuvo dominada por bacterias ácido-acéticas del género *Komagataeibacter* y levaduras capaces de fermentar azúcares simples. Este consorcio presentó una elevada capacidad oxidativa, permitiendo la transformación secuencial de los azúcares en etanol y, posteriormente, en ácidos orgánicos, principalmente ácido acético (Jayabalan et al., 2014).

Para Villarreal-Soto et al. (2018), el procesos de fermentación acética, la kombucha si destaca no solo por su eficiencia en la acidificación del medio, sino que también por su tolerancia a condiciones de bajo pH, lo que permite facilitar la continuidad de los proceso fermentativo.

Jayabalan et al. (2014), menciona que su aplicación también puede ser utilizada para la fermentación de residuos como la cáscara de plátano permitió aprovechar compuestos fermentables de origen vegetal, contribuyendo a la reducción de desechos agroindustriales y al desarrollo de estrategias de producción más sostenibles.

Figura 4. Cultivo simbiótico de kombucha (SCOBY) utilizado como inóculo microbiano en el proceso de fermentación acética



Fuente: tomado de Zanin, (2020)

La figura 4 presenta el cultivo simbiótico de kombucha (SCOBY), con aspecto gelatinoso y translúcido, utilizado como inóculo microbiano en el proceso de fermentación acética.

Entre los macroorganismos del consorcio Cambucha contiene una simbiosis de diferentes especies de levaduras y acetobacterias, destacan los siguientes: Bacterias. - *Bacterium xylinum*, *Gluconobacter oxidans*, *Medusomyces gisevi*, y las levaduras *Candida stellata*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Brettanomyces bruxellensis*, *Torulaspora delbrueckii*, *Saccharomyces ludwigii*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia fermentans*, *Zygosaccharomyces bailii* (Jayabalan et al., 2014).

Tabla 4. Beneficios del uso de microorganismos en la fermentación acética de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao*)

Microorganismo	Principales beneficios	Contribución al proceso fermentativo
Kéfir (Consortio microbiano natural)	Alta diversidad microbiana; coexistencia de bacterias ácido-lácticas, ácido-acéticas y levaduras; estabilidad del proceso fermentativo	Favoreció una fermentación equilibrada, promoviendo la producción inicial de etanol y su posterior conversión en ácido acético, con una disminución progresiva del pH
Levadura (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	Elevada eficiencia en la fermentación alcohólica; rápida conversión de azúcares fermentables; tolerancia a condiciones ácidas moderadas	Facilitó la producción de etanol como metabolito intermedio indispensable para la fermentación acética
Kombucha (Consortio microbiano natural)	Alta capacidad oxidativa; tolerancia a pH bajo; producción de ácidos orgánicos	Potenció la oxidación del etanol a ácido acético, favoreciendo la acidificación del medio y la estabilidad del producto

Fuente: tomado de Zanin, (2020)

La tabla 4 resume los beneficios del uso de microorganismos en la fermentación acética de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao*), destacando el papel del kéfir como consorcio microbiano de alta diversidad. Este inóculo favoreció una fermentación equilibrada mediante la coexistencia de bacterias ácido-lácticas, bacterias acéticas y levaduras.

CAPITULO II

ESTADO DEL ARTE

En Ecuador, el 72 % del mucílago de cacao se desperdicia durante el procesamiento. Quiñonez-Cedeño (2024), demostró que este subproducto puede transformarse eficientemente en ácido acético mediante fermentación controlada. Se emplearon dos métodos: fermentación combinada (alcohólica-acética) y fermentación mixta, utilizando *Saccharomyces cerevisiae* y *Acetobacter aceti* como agentes biológicos. Se encontró que los tratamientos T2 y T6 sobresalieron al conseguir niveles de acidez total de 4,14 g/L y 4,96 g/L respectivamente, cumpliendo con los requisitos de la norma NTE INEN 2296:2013. Además, se alcanzaron rendimientos de hasta 92,5 %, con pH óptimo (= 2,85) y alta concentración de ácido volátil (3,6–3,72 g/L), lo que establece el potencial del mucílago como materia prima para vinagre artesanal de calidad. Este estudio confirma que la valorización del mucílago de cacao es una estrategia viable para reducir desperdicios y generar productos fermentados de alto valor comercial.

Luna (2018) investigo la transformar el mucílago de cacao (*Theobroma cacao* var. Arriba) en etanol, como opción de valorización para este subproducto frecuentemente desaprovechado por los productores nacionales dándole el enfoque de economía circular. El estudio diseñó observar las características fisicoquímica completa del mucílago, evidenciando su potencial como sustrato fermentable gracias a su elevada concentración de azúcares fermentables como glucosa (62,52 g/L), fructuosa (63,47 g/L) y sacarosa (45,89 g/L), así como un contenido considerable de sólidos solubles (18,11 °Brix), pH de 3,76 y acidez del 1,77 %. Para la fermentación alcohólica, se utilizaron tres temperaturas (25, 28 y 30 °C) durante 7 días, con controles cada 12 horas y aplicación de *Saccharomyces cerevisiae* como inóculo. La fermentación se realizó en condiciones anaeróbicas y estériles, y se evaluó el etanol producido mediante cromatografía de gases. Los resultados mostraron que el tratamiento a 30 °C fue el más eficiente, alcanzando una concentración de etanol de 11,62 %, superando significativamente a los otros tratamientos (7,39 % a 25 °C y 6,48 % a 28 °C). Además, esta condición permitió una mayor conversión de azúcares reductores (2,42 %), indicando un consumo más eficiente del sustrato. El autor concluye que la temperatura influye directamente en la actividad metabólica de la levadura, siendo 30 °C la más adecuada para optimizar la producción de etanol a partir del mucílago de cacao variedad Fino de Aroma.

Villagómez & Argüello (2013), establecieron la evaluación de la viabilidad de producir vinagre a través del mucílago del cacao CCN51 mediante un proceso fermentativo a pequeña escala. Se diseñó un acetificador experimental inspirado en el modelo Frings, utilizando un cultivo madre del vinagre como inóculo, bajo condiciones de fermentación. El procedimiento incluyó dos etapas microbianas diferenciadas: una fermentación alcohólica del exudado del mucílago y una posterior oxidación acética del etanol generado. Se empleó un diseño completamente al azar con tres tratamientos (T1=24 h, T2=18 h, T3=12 h de aireación por día), todos con un flujo constante de aireación de 0,5. Los resultados indicaron que el tratamiento T1 fue el más eficiente, alcanzando una concentración de ácido acético de 4,05 g/L, cumpliendo con los requisitos establecidos por la norma ecuatoriana INEN 2296. Además, este tratamiento obtuvo la mejor puntuación sensorial (3,94/5), superando a los otros tratamientos. Se concluyó que el uso de mucílago de cacao CCN51 como materia prima, bajo condiciones controladas de aireación y temperatura, permite obtener vinagre con características fisicoquímicas y sensoriales adecuadas.

García & Moreta (2013), evaluó la obtención de vinagre a partir del vino del mucílago de cacao CCN-51 mediante un proceso piloto de fermentación sumergida. Se diseñó un acetificador a pequeña escala basado en el modelo Frings, empleando como inóculo un cultivo madre de vinagre. El proceso incluyó una fermentación alcohólica seguida de una fermentación acética. El experimento se desarrolló bajo un diseño completamente al azar con tres tiempos de exposición al oxígeno (24, 18 y 12 h/día), manteniendo una aireación constante de 0,5 vvm. Los resultados mostraron que el tratamiento con 24 h/día de oxigenación presentó la mayor producción de ácido acético (4,05 g/L), cumplió con la norma INEN 2296 y alcanzó la mayor aceptabilidad sensorial (3,94/5). Se concluyó que una mayor disponibilidad de oxígeno favorece la eficiencia del proceso y permite obtener un vinagre con características fisicoquímicas y sensoriales aceptables.

METODOLOGÍA

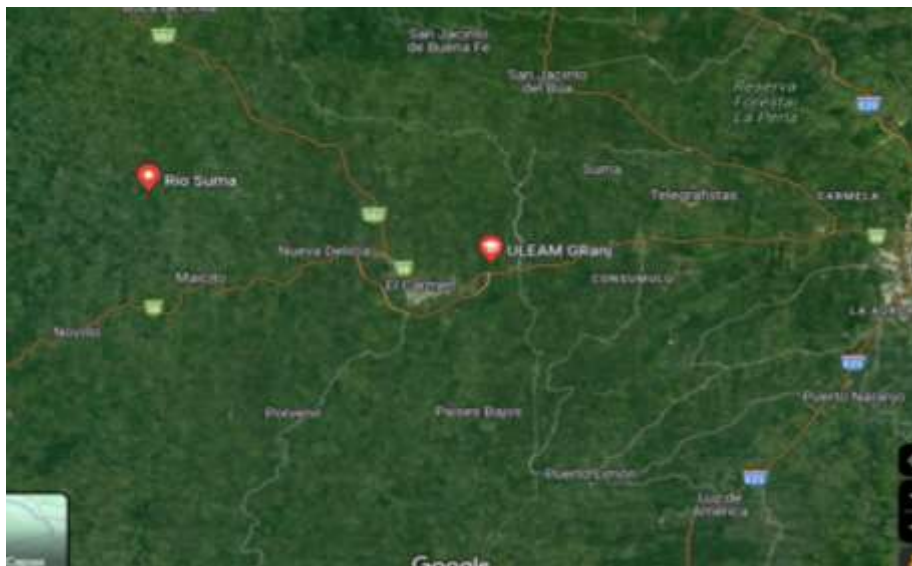
3.1. Localización de la unidad experimental

La presente investigación se desarrolló en el laboratorio de la planta de Agroindustria de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, ubicada en el cantón El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador. Este entorno académico está orientado al desarrollo de proyectos aplicados en transformación agroindustrial, aprovechando las potencialidades productivas del entorno local.

El objetivo principal de este estudio fue evaluar el proceso de fermentación acética del mucílago de cacao mediante el uso de un fermentador anaeróbico, con el fin de obtener ácido acético como producto de valor agregado. Este subproducto, tradicionalmente desechado, posee un alto contenido de azúcares y ácidos orgánicos, lo cual lo convierte en una materia prima con potencial de aprovechamiento en la elaboración de vinagres artesanales.

La ejecución de este proyecto permitió que los estudiantes de la carrera consoliden los conocimientos adquiridos en clase, aplicándolos de manera práctica en laboratorio. Además, la propuesta representa un modelo de economía circular que busca revalorizar los subproductos del cacao, cultivo representativo en el cantón El Carmen.

Figura 5. Localización geográfica del área de estudio



Nota. Tomado de Google Maps, (2025).

3.2.Caracterización agroecológica de la zona

A continuación, algunas características agroclimáticas del cantón:

Tabla 5. *Características climatológicas de la localidad*

Características	El Carmen
Clima	Trópico Húmedo
Temperatura (°C)	24
Humedad Relativa (%)	86
Heliofanía (Horas luz año ⁻¹)	1026,2
Precipitación media anual (mm)	2659
Altitud (msnm)	249

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2022)

3.3.Materiales

Equipos

- Cocina industrial
- Licuadora
- Balanza digital (gramera)
- Decantador
- Fermentador anaeróbico a pequeña escala
- Agitador magnético o mecánico
- Termocompresor
- Corchadora

Materiales

- Coladera
- Jarra medidora
- Cuchara de acero inoxidable
- Botellas de vidrio
- Ollas de acero inoxidable
- Manguera de silicona grado alimentario
- Baldes plásticos de uso alimentario
- Corchos
- Estuches para muestreo
- Silicona sellante grado alimentario

Instrumentos

- Termómetro
- Potenciómetro (pH-metro)
- Alcoholímetro

Materia prima

- Mucílago de cacao CCN-51
- Cultivo de kéfir (consorcio microbiano natural)
- Levadura (*Saccharomyces* sp.)
- Cultivo de kombucha (SCOBY)
- Sacarosa (para ajuste del contenido de azúcares, cuando fue necesario)
- Ácido cítrico (para ajuste de pH, cuando correspondió)
- Agua potable

3.4. MÉTODOS

3.4.1 Método empírico

La pesquisa adoptó un enfoque cuantitativo-exploratorio, ya que manejó variables numéricas (pH, acidez, °Brix, grados alcohólicos) y realizó ensayos comparativos para definir la alternativa de fermentación con mayor rendimiento en ácido acético. Todas las pruebas se desarrollaron en el laboratorio de Procesos y Control de Calidad de la carrera de Agropecuaria de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

3.4.2 Método experimental

El experimento se desarrolló utilizando un volumen total de cuarenta y ocho litros de sustrato fermentable, compuesto por doce litros de mucílago fresco de cacao variedad CCN-51 y treinta y seis litros de agua potable, con el fin de ajustar la concentración de azúcares y favorecer el desarrollo microbiano. El mucílago fue obtenido a partir de mazorcas maduras y sanas, recolectadas en condiciones adecuadas de higiene y manejadas inmediatamente después de la extracción.

Al sustrato preparado se adicionaron 200 g de sacarosa, como fuente adicional de carbono fermentable, y 10 g de levadura (*Saccharomyces* sp.), empleada como inóculo para inducir la fermentación alcohólica inicial. La mezcla fue homogeneizada cuidadosamente y

posteriormente distribuida en las unidades experimentales correspondientes, donde se mantuvo bajo condiciones anaeróbicas controladas, propias del proceso fermentativo.

El sistema experimental permitió evaluar el comportamiento del sustrato durante la fermentación, considerando la transformación de azúcares en alcohol como etapa previa a la fermentación acética, bajo control de temperatura y tiempo, garantizando condiciones homogéneas en todos los tratamientos.

3.5 Variables del estudio

3.5.1 Variable independiente

Variable independiente	Descripción	Niveles
Tipo de inóculo microbiano	Microorganismos utilizados para inducir la fermentación alcohólica y acética del mucílago de cacao	T1: Kéfir T2: Levadura (<i>Saccharomyces</i> sp.) T3: Kombucha T4: Consorcio microbiano (kéfir + levadura + kombucha)

3.5.2 Variable dependiente

Variable dependiente	Descripción
Grados Brix	Medición de sólidos solubles presentes en el vinagre
pH	Indicador del nivel de acidez del producto final
Rendimiento de producción	Cantidad de vinagre obtenida al final del proceso

3.6 Tratamientos

Tabla 6. *Tratamientos del estudio*

Tratamiento	Inóculo microbiano	Composición del tratamiento	Número de repeticiones
T1	Kéfir	Aplicación de cultivo de kéfir como único inóculo microbiano para inducir la fermentación del mucílago de cacao	3
T2	Levadura (<i>Saccharomyces</i> sp.)	Inoculación con levadura seleccionada para promover la fermentación alcohólica inicial del mucílago	3
T3	Kombucha	Inoculación con cultivo de kombucha como consorcio microbiano fermentativo	3
T4	Mixto	Combinación de kéfir + levadura (<i>Saccharomyces</i> sp.) + kombucha	3

3.7 Análisis estadístico

El estudio se estructuró bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), considerando seis tratamientos (T1 a T4) y cuatro repeticiones por tratamiento, lo que generó un total de 12 unidades experimentales. Las variables de respuesta evaluadas fueron de tipo continuo, entre ellas: pH, grados Brix, porcentaje de alcohol. Antes de aplicar los análisis inferenciales, se verificaron los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro–Wilk) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene) para cada variable.

Una vez comprobados los supuestos, se procedió a aplicar un Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor para detectar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($\alpha = 0,05$). En caso de encontrar diferencias significativas, se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey HSD para identificar los tratamientos estadísticamente superiores.

Tabla 7. Esquema del análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	11
Tratamientos	3
Error	8

3.8 Manejo del experimento

3.8.1 Descripción del proceso de fermentación acética del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L. var. CCN-51)

A. Recepción de la materia prima

La recolección de la materia prima se realizó en fincas productoras del cantón El Carmen, Manabí, específicamente con mazorcas maduras y sanas de la variedad CCN-51. Las muestras fueron transportadas a la Planta de Agroindustria de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, donde se desarrolló todo el proceso experimental.

B. Selección y limpieza de mazorcas

Las mazorcas fueron seleccionadas en función de su grado de madurez (color rojizo) y estado sanitario, descartando aquellas con signos de daño físico o presencia de plagas. Posteriormente, se realizó un lavado con agua potable para eliminar residuos adheridos a la superficie.

C. Extracción del mucílago

Se procedió al corte de las mazorcas con cuchillos de acero inoxidable, en cortes transversales y longitudinales, facilitando la liberación del grano. Estos fueron colocados en cernidores para recolectar el mucílago fresco (líquido), separándolo de las pepas. Se recolectaron 500, 400 y 600 mL de mucílago por ensayo, para ser utilizados en los distintos tratamientos.

D. Preparación de la materia prima y del sustrato

Materiales: Mucílago de cacao recogidos de procesos de cacao; agua para lavado; azúcar (sacarosa) para rectificar sólidos; materiales de esterilización, estufa, instrumentos de medición (pH, densidad, refractómetro).

E. Preparación del cultivo madre de vinagre

Origen: usar el cultivo iniciador de vinagre obtenida de la superficie del mucílago/exudado de cacao mediante el método Orleans (con superficie de contacto grande para oxigenación y bloqueo de contaminación) y permitir la proliferación de la biopelícula de bacterias acéticas.

3.8.2 Procedimiento

- Tomar una muestra de mucílago con la superficie oleosa/gelatinosa y mantener en un recipiente con amplia superficie de contacto para O₂.
- Cubrir con una gasa para evitar contaminación física y dejar fermentar durante ~5 días a temperatura ambiente, permitiendo la formación de la película de celulosa (“madre del vinagre”).
- Para asegurar un crecimiento adecuado de acetobacter, añadir 1 mL de etanol al 94% para mantener condiciones de crecimiento (la levadura ya no está presente en este paso; el etanol ayuda al desarrollo de la acetobacter).
- Inóculo para la fermentación acética:
- Tomar 5 mL de cultivo madre para inoculación en el biorreactor de acetificación por cada lote de vino alcohólico (según las condiciones reportadas).

- Si se dispone de una población de acetobacter específicas, se puede iniciar con una densidad celular suficiente para lograr una rápida colonización.

F. Fermentación alcohólica (primera etapa)

- Objetivo: convertir los azúcares presentes en el mucílago/exudado en etanol y aumentar el grado alcohólico a ~10–15% (vol).
- Inoculación y activación de la levadura:
 - Activar *Saccharomyces cerevisiae* con azúcar y calor (aprox. 35 °C) durante 15 minutos para activar la levadura y acelerar la fermentación.
 - Inocular el medio con la levadura activada (proporción sugerida: 0.5–2% v/v de inóculo de levadura, según la cepa).
- Condiciones de fermentación:
 - Temperatura: 28–32 °C (rango recomendado para mantener actividad de las levaduras y evitar estrés).
 - Oxígeno: mínimo, por tratarse de fermentación alcohólica aeróbica leve al inicio, pero no se debe promover oxigenación excesiva que reduzca la producción de etanol; mantener condiciones más bien anaeróbicas para la fermentación alcohólica.
 - Monitoreo diario: medir densidad/°Brix, pH, acidez y porcentaje de alcohol (EtOH) para confirmar avance.
- Resultados esperados:
 - Obtención de un vino alcohólico compatible con la fermentación acética posterior; el proceso debe conducir a un etanol cercano a la fracción reportada (10–15% v/v, con variabilidad según el sustrato).

CAPÍTULO IV

4.1 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

La propuesta se orientó al diseño e implementación de un sistema experimental para la valorización del mucílago de cacao, subproducto generado durante el proceso de beneficio del cacao, mediante su transformación biotecnológica en ácido acético a través de un proceso controlado de fermentación alcohólica y fermentación acética, desarrollado en condiciones anaeróbicas a escala de laboratorio (Campoverde & Guerra, 2025).

El sistema experimental se estructuró bajo un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos diferenciados según el tipo de inóculo microbiano empleado: T1: kéfir, T2: levadura (*Saccharomyces* sp.), T3: kombucha y T4: consorcio microbiano mixto (kéfir + levadura + kombucha), cada uno con tres repeticiones. Esta estrategia permitió evaluar la influencia de distintos consorcios microbianos sobre el comportamiento fermentativo del mucílago de cacao y sobre las características fisicoquímicas del producto final.

El proceso inició con la recolección y acondicionamiento del mucílago de cacao, el cual fue filtrado para eliminar impurezas sólidas y posteriormente mezclado con agua potable y una fuente adicional de sacarosa, con el fin de garantizar un contenido adecuado de azúcares fermentables. Posteriormente, se realizó el ajuste del pH inicial del sustrato mediante la adición controlada de ácido cítrico, creando condiciones favorables para la actividad microbiana y la estabilidad del sistema fermentativo (Córdova-García et al., 2022).

La primera etapa correspondió a la fermentación alcohólica, durante la cual los microorganismos presentes en cada tratamiento metabolizaron los azúcares del mucílago, generando etanol como metabolito intermedio. Esta fase constituyó un paso esencial, ya que el etanol producido actuó como sustrato para la etapa posterior de fermentación acética. El proceso se desarrolló en un fermentador anaeróbico, manteniendo condiciones controladas de temperatura y tiempo, y evitando la entrada de oxígeno durante las fases iniciales.

Posteriormente, el sistema evolucionó hacia la fermentación acética, en la cual los microorganismos con capacidad oxidativa transformaron el etanol en ácido acético, provocando una disminución progresiva del pH y cambios en los sólidos solubles del medio. Para complementar la evaluación del proceso, una fracción del sustrato fermentado fue sometida a un proceso de destilación, lo que permitió analizar el comportamiento del destilado en términos de pH y grados Brix, así como contrastar estos resultados con los obtenidos en el sustrato sin

destilación (Córdova-García et al., 2022).

Durante todo el desarrollo de la propuesta, se realizaron mediciones periódicas de variables fisicoquímicas clave, tales como pH, grados Brix y contenido alcohólico, las cuales sirvieron como indicadores del avance y eficiencia del proceso fermentativo.

Figura 6. *Refractómetro digital empleado para la determinación de sólidos solubles (°Brix) en los sustratos fermentados de mucílago de cacao durante el proceso de fermentación acética*



4.2 Diseño y selección de tecnologías a implementar

El diseño y la selección de las tecnologías implementadas se orientaron a garantizar la estabilidad, el control y la reproducibilidad del proceso de fermentación acética del mucílago de cacao, subproducto líquido generado durante el beneficio del grano y caracterizado por su elevado contenido de azúcares fermentables.

Tabla 8. *Costos de implementación del sistema experimental*

Descripción	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Fermentador batch de acero inoxidable (100 L)	1	450	450
Gas para calentamiento (tanques)	4	3	12
Levadura comercial (<i>Saccharomyces</i> sp.)	1	1,5	1,5
Azúcar (sacarosa)	1	3	3
Tachos plásticos	1	15	15
Lienzo	1	60	60
Botellas de cristal	1	10	10
Kombucha (cultivo inicial)	1	10	10
Total de costos directos			561,5

La elección tecnológica respondió a criterios de eficiencia biotecnológica, control fisicoquímico del sistema y viabilidad operativa en condiciones de laboratorio, considerando

que la calidad del ácido acético obtenido dependió directamente del manejo adecuado de las fases alcohólica y acética del proceso fermentativo (Bourdichon et al., 2012).

El costo total real del sistema experimental para la fermentación acética del mucílago de cacao fue de USD 561,50, de los cuales se imputó únicamente el 50 %, equivalente a USD 280,75, debido al uso compartido de equipos e insumos dentro del laboratorio. El fermentador batch de acero inoxidable de 100 L concentró la mayor carga económica del sistema, representando aproximadamente el 80,1 % del costo total, al constituir el equipo principal empleado en las etapas de fermentación alcohólica y acética.

Los costos operativos presentaron una incidencia menor en la estructura total del presupuesto; el consumo de gas para el calentamiento y destilación representó alrededor del 2,1 %, mientras que los insumos fermentativos y materiales auxiliares, como levadura comercial (*Saccharomyces* sp.), sacarosa, tachos plásticos, lienzo, botellas de cristal y cultivo inicial de kombucha, aportaron de manera conjunta cerca del 17,8 % del costo total. Estos resultados evidenciaron que la inversión del sistema experimental estuvo dominada por el equipamiento, mientras que los insumos operativos mantuvieron una participación económica moderada.

Las tecnologías seleccionadas permitieron el seguimiento preciso de variables críticas, tales como pH, sólidos solubles (°Brix), contenido alcohólico y temperatura, parámetros ampliamente reconocidos como indicadores del avance metabólico de los microorganismos durante la fermentación de sustratos azucarados de origen vegetal (Afoakwa et al., 2013). La integración de estas tecnologías aseguró condiciones homogéneas durante el desarrollo experimental y facilitó la comparación entre tratamientos microbianos.

4.2.1 Tecnología de fermentación batch

Se empleó un sistema de fermentación discontinua (batch) mediante recipientes de pequeña escala, adecuados para ensayos controlados en laboratorio con mucílago de cacao. Esta tecnología permitió trabajar con volúmenes definidos de sustrato, facilitando la aplicación diferenciada de los tratamientos microbianos y el control individual de cada unidad experimental. La fermentación batch resultó apropiada para estudios comparativos, ya que permitió evaluar el comportamiento fermentativo de cada tratamiento sin la interferencia de flujos continuos, garantizando condiciones homogéneas durante cada ciclo fermentativo (Bourdichon et al., 2012).

4.2.2 Tecnología de acondicionamiento del mucílago de cacao

Previo al inicio de la fermentación, el mucílago de cacao fue sometido a un proceso de acondicionamiento térmico y fisicoquímico, con el objetivo de estandarizar el sustrato y generar condiciones favorables para el desarrollo microbiano. Para ello, se utilizó un litro de mucílago de cacao diluido en tres litros de agua potable, logrando una adecuada homogenización del medio fermentativo.

Posteriormente, la mezcla fue sometida a calentamiento controlado hasta aproximadamente 80 °C, procedimiento que permitió reducir la carga microbiana indeseada y estabilizar el sustrato previo a la fermentación. Una vez alcanzada esta temperatura, el sistema se dejó enfriar de manera natural hasta alcanzar condiciones compatibles con la actividad de los microorganismos fermentativos.

Posteriormente, el recipiente se cerró con una tapa equipada con trampa de aire, lo que permitió la liberación de los gases generados durante el proceso fermentativo y evitó la entrada de contaminantes externos (Guehi et al., 2010). Este acondicionamiento inicial resultó determinante para asegurar un entorno controlado, favoreciendo el desarrollo ordenado de la fermentación alcohólica y la posterior evolución hacia la fermentación acética, considerando que el pH inicial del mucílago influyó directamente en la cinética fermentativa y en la sucesión microbiana del proceso (Afoakwa et al., 2011).

4.2.3 Tecnología de control fisicoquímico del proceso

El monitoreo del proceso fermentativo se realizó mediante el uso de instrumentos analíticos calibrados, tales como pH-metro digital, refractómetro para la determinación de sólidos solubles (°Brix) y alcoholímetro/densímetro para la estimación del contenido alcohólico. Estas herramientas permitieron registrar de manera periódica la evolución del pH, la disminución de los azúcares fermentables y la generación de etanol, proporcionando información clave sobre el metabolismo microbiano y el avance de las distintas etapas del proceso fermentativo (Guehi et al., 2010).

4.2.4 Tecnología de fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica se desarrolló mediante la acción de levaduras fermentativas, capaces de transformar los azúcares simples presentes en el mucílago de cacao en etanol. Esta etapa constituyó un paso esencial del proceso, ya que el etanol producido actuó como sustrato directo para la posterior fermentación acética (Nazaruddin et al., 2006). El control de variables

como pH y temperatura favoreció el crecimiento de las levaduras y permitió una conversión eficiente de los azúcares fermentables, tal como se ha descrito en procesos fermentativos de matrices ricas en carbohidratos (Guehi et al., 2010).

4.2.5 Tecnología de fermentación acética

La fase acética se llevó a cabo mediante el uso de consorcios microbianos con capacidad acidificante, los cuales permitieron la oxidación biológica del etanol generado durante la fase alcohólica hacia ácido acético. Este proceso se evidenció a través de una disminución progresiva del pH del medio y de cambios en las propiedades fisicoquímicas del sustrato fermentado. La utilización de cultivos mixtos favoreció la estabilidad del sistema fermentativo, debido a la complementariedad metabólica entre levaduras y bacterias ácido-acéticas, fenómeno ampliamente documentado en fermentaciones tradicionales y agroindustriales (Nazaruddin et al., 2006).

4.2.6 Tecnología de destilación y evaluación posterior

Como etapa complementaria del sistema experimental, se incorporó una tecnología de destilación convencional del sustrato fermentado, realizada con volúmenes estandarizados y temperaturas controladas. Esta tecnología permitió obtener un destilado para su evaluación fisicoquímica, verificando parámetros como pH y sólidos solubles, y contrastando el comportamiento del producto antes y después del tratamiento térmico. La destilación facilitó la caracterización del sistema fermentativo y contribuyó al control de calidad del proceso experimental (Nunes et al., 2017).

4.2.7 Descripción del fermentador

El fermentador utilizado correspondió a un fermentador batch de acero inoxidable con capacidad nominal de 100 L, diseñado para procesos de fermentación líquida bajo condiciones controladas. El equipo presentó una estructura cilíndrica vertical, montada sobre soporte metálico, lo que facilitó su operación y estabilidad durante el proceso.

El cuerpo del fermentador fue fabricado en acero inoxidable, material seleccionado por su resistencia a la corrosión, inercia química y facilidad de limpieza, características adecuadas para fermentaciones alcohólicas y acéticas. El sistema contó con tapa hermética, lo que permitió mantener condiciones controladas y reducir riesgos de contaminación.

Figura 7. *Fermentador batch de acero inoxidable de 100 L con tapa hermética y válvulas de entrada y salida*



4.3 Plan de implementación

Tabla 9. *Preparación del sustrato y acondicionamiento del mosto de mucílago de cacao*

Etapas del proceso	Descripción técnica
Recolección del mucílago de cacao	El mucílago de cacao fue recolectado durante el proceso de beneficio del grano y filtrado para eliminar impurezas sólidas, garantizando un sustrato homogéneo y apto para el proceso fermentativo.
Dilución del sustrato	Se utilizó un litro de mucílago de cacao, el cual fue diluido en tres litros de agua potable, con el propósito de reducir la viscosidad del medio y facilitar la actividad microbiana.
Homogeneización del mosto	La mezcla de mucílago y agua fue agitada manualmente hasta lograr una distribución uniforme de los componentes, asegurando condiciones homogéneas en todo el volumen del sustrato.
Tratamiento térmico	El mosto fue sometido a calentamiento controlado hasta alcanzar aproximadamente 80 °C, con la finalidad de reducir la carga microbiana indeseada y estabilizar el sustrato previo a la fermentación.
Enfriamiento del sustrato	Posteriormente, el mosto se dejó enfriar de manera natural hasta alcanzar una temperatura adecuada para el desarrollo de los microorganismos fermentativos.
Ajuste inicial del Ph	El pH del sustrato fue verificado y ajustado cuando fue necesario, con el objetivo de crear condiciones favorables para el inicio de la fermentación alcohólica.
Trasvase al fermentador	El mosto acondicionado fue transferido al fermentador batch, asegurando condiciones de limpieza y evitando la contaminación del sistema.
Sellado del sistema	El fermentador fue cerrado herméticamente mediante una tapa equipada con trampa de aire, permitiendo la liberación de gases generados durante la fermentación y evitando el ingreso de contaminantes externos.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

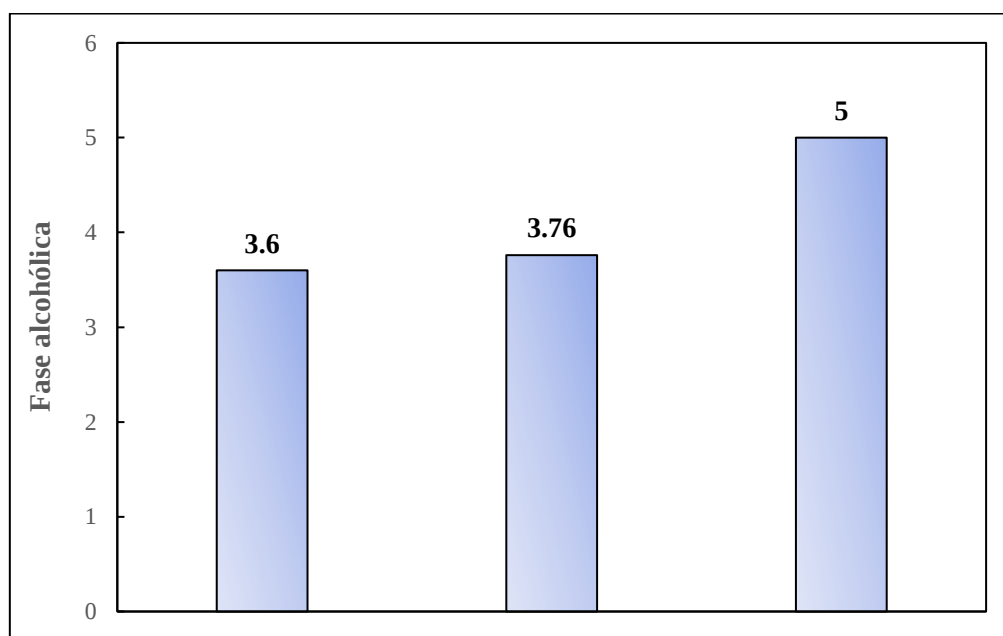
5.1 Fase alcohólica

5.1.1 Comportamiento de los sólidos solubles (°Brix), pH y contenido alcohólico del mucílago de cacao durante la fase alcohólica

Los resultados obtenidos durante la fase alcohólica de la fermentación del mucílago de cacao en el fermentador anaeróbico demostraron un descenso progresivo del contenido de sólidos solubles, registrándose un valor promedio de 3,60 °Brix, lo que indicó un consumo significativo de azúcares fermentables por la actividad microbiana.

El pH promedio fue de 3,76, reflejando un ambiente ácido propicio para el desarrollo correcto de la fermentación y la posterior transición hacia la fase acética. En cuanto al contenido alcohólico, se observó un valor constante del 5,00 %, lo que confirmó la eficiencia del sustrato en este caso la levadura que permite la fermentación alcohólica en la conversión de los azúcares del mucílago en etanol.

Figura 8. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos durante la fase alcohólica de la fermentación del mucílago de cacao en un fermentador anaeróbico



La disminución del contenido de sólidos solubles durante la fase alcohólica demostró un consumo progresivo de los azúcares presentes en el mucílago de cacao, atribuible a la actividad metabólica de la levadura (Vera-Loor et al., 2020). Este comportamiento corroboró que el sustrato presentó una apropiada disponibilidad de carbohidratos fermentables, los cuales

fueron convertidos eficientemente en etanol, condición necesaria para el desarrollo posterior de la fermentación acética.

El pH registrado durante la fase alcohólica mostró valores ácidos, lo que indicó la formación de metabolitos secundarios propios del proceso fermentativo. Esta acidificación del medio favoreció la estabilidad microbiológica del sistema y creó condiciones adecuadas para la transición hacia la fase acética, al limitar el crecimiento de microorganismos indeseables y favorecer poblaciones fermentativas específicas (Luna-Calderón & Ayala-Armijos, 2018).

El contenido alcohólico constante alcanzado durante la fase alcohólica evidenció una fermentación estable y eficiente, reflejando una adecuada adaptación de la levadura al sustrato y a las condiciones anaeróbicas establecidas (Vera-Loor et al., 2020). La producción uniforme de etanol confirmó que el proceso generó un sustrato alcohólico apto para la oxidación posterior del alcohol en ácido acético durante la siguiente etapa del proceso (Palacios-Vallejos et al., 2019).

5.2 Fase Acética

5.2.1. Contenido de sólidos solubles (°Brix) durante la fase acética

Se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados para la variable analizada, de acuerdo con el análisis estadístico realizado, el cual mostró un p-valor de 0,0012, indicando significancia estadística ($p < 0,05$). El tratamiento Mixto presentó el valor promedio más alto, con una media de $2,47 \pm 0,52$, diferenciándose estadísticamente de los tratamientos con menores valores. El valor más bajo correspondió al tratamiento Levadura, con una media de $0,67 \pm 0,52$, siendo estadísticamente inferior respecto al tratamiento Mixto.

Tabla 10. Efecto del tipo de inóculo sobre la variable evaluada en la fermentación acética del mucílago de cacao

Inóculo	Medias	E.E.		
Mixto	2,47	0,52	a	
Kéfir	1,5	0,52	a	b
Kombucha	1,23	0,52	a	b
Levadura	0,67	0,52		b
p-valor				0,0012
CV (%)				21,55

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El mayor valor observado en el tratamiento con consorcio microbiano mixto se explicó por la interacción metabólica entre levaduras y bacterias ácido-acéticas, la cual favoreció tanto

la producción inicial de etanol como su posterior oxidación a ácido acético. Este comportamiento fue consistente con lo reportado por Córdova-García et al. (2022), quienes señalaron que los sistemas fermentativos con cultivos mixtos presentan mayor estabilidad y eficiencia en procesos de fermentación acética de sustratos líquidos ricos en azúcares.

Según Quiñonez-Cedeño (2024), los procesos fermentativos de mucílago de cacao, donde la ausencia de bacterias acéticas restringió el avance de la fase acética.

5.2.1 Contenido de potencial de hidrogeno pH durante la fase acética

Se registraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, según el análisis estadístico realizado, el cual mostró un p-valor de 0,0004, indicando significancia estadística ($p < 0,05$). El tratamiento Kombucha presentó el valor promedio más alto, con una media de $6,11 \pm 0,22$, diferenciándose estadísticamente del resto de los tratamientos. En contraste, los tratamientos Levadura ($4,37 \pm 0,22$), Kéfir ($4,15 \pm 0,22$) y Mixto ($3,92 \pm 0,22$) no mostraron diferencias significativas entre sí al compartir la misma letra estadística. El valor promedio más bajo correspondió al tratamiento Mixto, lo que indicó una mayor acidificación del sustrato en comparación con los demás inóculos evaluados.

Tabla 11. Efecto del tipo de inóculo microbiano sobre el pH del mucílago de cacao durante la fermentación acética

Inóculo	Medias	E.E.	
Kombucha	6,11	0,22	a
Levadura	4,37	0,22	b
Kéfir	4,15	0,22	b
Mixto	3,92	0,22	b
p-valor			0,0004
CV (%)			8,32

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El mayor pH registrado en el tratamiento con kombucha se explicó por su menor eficiencia en la acidificación del medio en comparación con los demás inóculos, comportamiento similar al reportado en fermentaciones acéticas de sustratos frutales (Jayabalan et al., 2014).

Los tratamientos con levadura, kéfir y consorcio mixto presentaron valores de pH significativamente menores, lo que indicó una mayor formación de ácidos orgánicos, resultado

coherente con estudios en fermentación acética de mucílago y pulpas de frutas (Hernández-Rodríguez, 2022).

5.3 Rendimiento

5.3.1.1 Sólidos solubles (°Brix), pH y Volumen destilado (ml)

Los resultados obtenidos después del proceso de destilación evidenciaron diferencias en los sólidos solubles, el pH y el volumen de destilado entre los tratamientos evaluados. El Tratamiento 1 (Kéfir) presentó el mayor contenido residual de sólidos solubles (1,0 °Brix), lo que indicó una menor remoción de compuestos solubles tras la destilación, mientras que el Tratamiento 3 (Kombucha) registró el menor valor (0,4 °Brix), reflejando una mayor eficiencia en la eliminación de azúcares remanentes.

Tabla 12. Resultados obtenidos después del proceso de destilación del mucílago de cacao

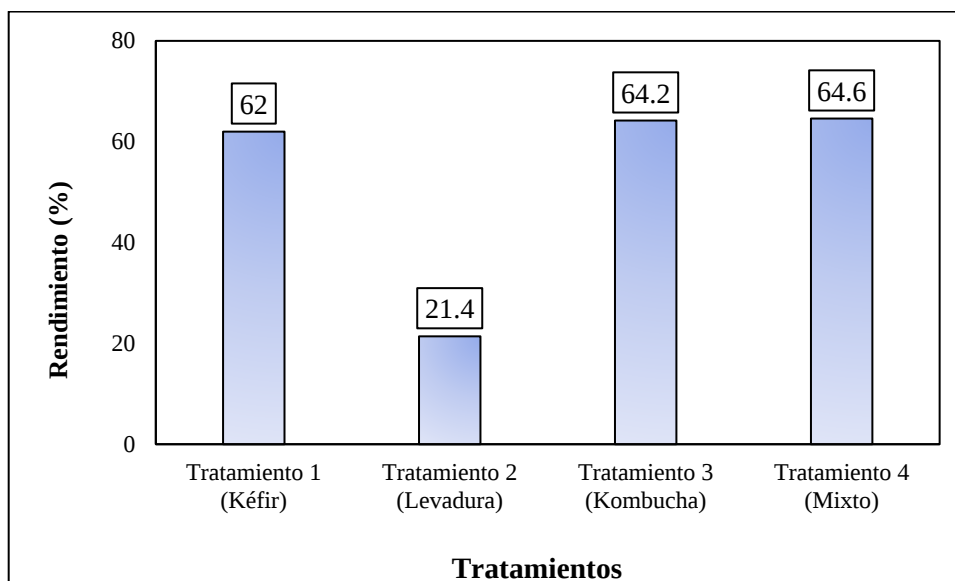
Tratamiento	Sólidos solubles (°Brix)	pH	Volumen destilado (mL/500mL)
Tratamiento 1 (Kéfir)	1,0	3,75	310
Tratamiento 2 (Levadura)	0,7	4,05	107
Tratamiento 3 (Kombucha)	0,4	3,88	321
Tratamiento 4 (Mixto)	0,5	4,10	323

En cuanto al pH, los valores se mantuvieron en un rango ácido moderado, destacándose el Tratamiento 4 (Mixto) con el valor más alto (4,10) y el Tratamiento 1 (Kéfir) con el más bajo (3,75). Respecto al volumen destilado, los mayores rendimientos se observaron en los tratamientos Mixto (323 mL) y Kombucha (321 mL), mientras que el Tratamiento 2 (Levadura) presentó el menor volumen (107 mL).

Los resultados del rendimiento porcentual del destilado obtenido a partir del mucílago de cacao evidenciaron diferencias entre los tratamientos evaluados. El tratamiento mixto presentó el mayor rendimiento, con un 64,6 %, seguido por el tratamiento con kombucha (64,2 %) y el tratamiento con kéfir (62,0 %), lo que indicó una mayor eficiencia en la recuperación del producto. En contraste, el tratamiento con levadura registró el menor rendimiento (21,4 %), reflejando una menor cantidad de destilado obtenido bajo las condiciones evaluadas.

Este comportamiento fue consistente con lo descrito por Palacios-Vallejos et al. (2019), quien indica que en la fermentación del mucílago de cacao, caracterizado por una elevada actividad microbiana y una rápida transformación de azúcares en metabolitos fermentativos

Figura 9. Rendimiento porcentual del destilado obtenido a partir del mucílago de cacao



5.4 Análisis de costos por tratamiento

El análisis económico justificó diferencias en el costo total entre los tratamientos evaluados. El Tratamiento 1 Kéfir presentó el menor costo de producción 8,60 USD, asociado al uso de un solo inóculo. El Tratamiento 2 Levadura y el Tratamiento 3 Kombucha mostraron costos intermedios, influenciados principalmente por el tipo de inóculo empleado. En discrepancia, el Tratamiento 4 Mixto registró el mayor costo total (11,10 USD), debido a la combinación de varios cultivos microbianos, lo que incrementó el gasto en insumos biológicos. Estos resultados revelaron la complejidad que tuvo el inóculo ya que ejerce una incidencia directa sobre el costo del proceso fermentativo.

Tabla 13. Costos de producción por tratamiento en la fermentación acética del mucílago de cacao

Insumo / Costo (USD)	T1 Kéfir	T2 Levadura	T3 Kombucha	T4 Mixto
Levadura	0,60	0,60	0,60	0,60
Azúcar	1,00	1,00	1,00	1,00
Sustrato	0,50	0,50	0,50	0,50
Kéfir / Búlgaros	0,50	—	—	0,50
Kombucha	—	—	2,00	3,10
Gas	1,00	1,00	1,00	1,00
Transporte	1,50	1,50	1,50	1,50
Lienzo (tela)	3,00	3,00	3,00	3,00
Ligas	0,50	0,50	0,50	0,50
Costo total (USD)	8,60	9,20	9,90	11,10

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

A través de la fermentación alcohólica del mucílago de cacao se obtuvo un sustrato adecuado, caracterizado por 3,60 °Brix, pH 3,76 y un contenido alcohólico del 5,00 %, lo que evidenció un consumo eficiente de azúcares fermentables y condiciones favorables para la fase acética.

Se estableció de manera exitosa la fermentación acética del sustrato alcohólico mediante la actividad metabólica de bacterias acéticas, logrando la oxidación del etanol a ácido acético. En este proceso se determinó que el tratamiento Mixto fue el más eficiente, al presentar el mayor rendimiento porcentual (64,6 %), Contenido de sólidos solubles (2,47 °Brix) y los valores más bajos de pH (3,92), lo que evidenció una mayor conversión del alcohol en ácido acético en comparación con los tratamientos.

El análisis económico permitió determinar diferencias en los costos de producción del ácido acético entre los tratamientos evaluados, evidenciándose que el tratamiento con kéfir presentó el menor costo total (8,60 USD), mientras que el tratamiento Mixto registró el mayor costo (11,10 USD).

RECOMENDACIONES

- Se recomienda perfeccionar la fase alcohólica de la fermentación del mucílago de cacao, cuidando las condiciones controladas de inoculación, pH y disponibilidad de azúcares, con la finalidad de garantizar la obtención de un sustrato alcohólico mucho más estable y adecuado para la correcta fermentación acética.
- Se sugiere emplear el tratamiento Mixto en la fase de fermentación acética del sustrato alcohólico, debido a su eficiencia reflejada en un mayor rendimiento porcentual y un pH más bajo, lo que favorece la conversión del etanol en ácido acético.
- Se recomienda realizar un análisis costo–beneficio integral, considerando tanto el rendimiento productivo como el costo de los insumos, para determinar la viabilidad económica del proceso y optar por el tratamiento que ofrezca el mejor equilibrio entre eficiencia técnica y costo de producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afoakwa, E. O., Kongor, J. E., Takrama, J. F., & Budu, A. S. (2013). Changes in acidification, sugars and mineral composition of cocoa pulp during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *Facultad de Ciencia y Tecnología de Los Alimentos*, 3(1), 1-10.
- Afoakwa, E. O., Quao, J., Budu, A. S., Takrama, J., & Saalia, F. K. (2011). Effect of pulp preconditioning on acidification, proteolysis, sugars and free fatty acids concentration during fermentation of cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 62(7), 755-764.
- Álvarez, C., Pérez, E., & Lares, M. (2002). Morfología de los frutos y características físico-químicas del Mucílago del cacao de tres zonas del Estado Aragua. *Agronomía Tropical*, 52(4), 497-506.
- Andrade-Almeida, J., Rivera García, J., Chire Fajardo, G., & Ureña Peralta, M. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao *Theobroma cacao* L. de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4), 1-12.
- Anecacao. (2018). *Sector exportador de cacao*. Asociación nacional de exportación de cacao. <http://www.anecacao.com/es/estadisticas/estadisticas-actuales.html>
- Arias, A. A. A., Guerrero, J. N. Q., & Batista, R. M. G. (2022). Evaluación del efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos en Cacao CCN-51. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(3), 72-79.
- Avendaño Arrazate, C. H., Gallardo Mendez, R. A., & Ogata, N. (2010). *Cacao; Diversidad en Mexico* (Número 633.747/A948). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Balcázar-Suarez, C. A., & León-Espinoza, C. J. (2024). *Co fermentación alcohólica de mucilago de cacao y cáscara de banano maduro para obtener etanol de segunda generación* [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/24147>
- Barazarte, H., Sangronis, E., & Unai, E. (2008). La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.): Una posible fuente comercial de pectinas. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 58(1), 64-70.
- Barén, C. (2013). *Utilización del mucílago de cacao (Theobroma cacao L.), tipo nacional y ccn-51 en la obtención de dos jaleas a partir de tres formulaciones, Quevedo, Ecuador 2013*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica Estatal De Quevedo].

<https://repositorio.uteq.edu.ec/items/01eae011-5fde-4870-a28e-b38ac650116b>

- Bengoa, A. A., Iraporda, C., Garrote, G. L., & Abraham, A. G. (2019). Kefir micro-organisms: Their role in grain assembly and health properties of fermented milk. *Journal of applied microbiology*, 126(3), 686-700.
- Bourdichon, F., Casaregola, S., Farrokh, C., Frisvad, J. C., Gerds, M. L., Hammes, W. P., Harnett, J., Huys, G., Laulund, S., & Ouwehand, A. (2012). Food fermentations: Microorganisms with technological beneficial use. *International journal of food microbiology*, 154(3), 87-97.
- Bourrie, B. C., Willing, B. P., & Cotter, P. D. (2016). The microbiota and health promoting characteristics of the fermented beverage kefir. *Frontiers in microbiology*, 7, 196946.
- Campoverde, J. P., & Guerra, H. G. (2025). *Composición química y cinética de degradabilidad in situ de banano barraganete (Musa balbisiana, AAB) como alimento alternativo en ovinos* [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/46735>
- Cavalieri, D., McGovern, P. E., Hartl, D. L., Mortimer, R., & Polsinelli, M. (2003). Evidence for *S. cerevisiae* fermentation in ancient wine. *Journal of molecular evolution*, 57(Suppl 1), S226-S232.
- Córdova-García, M. J., Moreira-Mendoza, C. A., & Latorre-Castro, G. B. (2022). Cinética de fermentación acética utilizando *Acetobacter Aceti* como agente biológico. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249., 5(10), 81-94.
- Ganatsios, V., Nigam, P., Plessas, S., & Terpou, A. (2021). Kefir as a functional beverage gaining momentum towards its health promoting attributes. *Beverages*, 7(3), 48.
- García, S. V., & Moreta, F. A. (2013b). Optimización y aprovechamiento del residuo (exudado del mucílago) de la almendra fresca del cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN51 en la elaboración de vinagre. *Tsafiqui-Revista Científica en Ciencias Sociales*, (4), 7-19.
- Gómez, G., & Albeiro, N. S. (2022). *Evaluación del potencial antioxidante de los compuestos fenólicos obtenidos de la fermentación del mucilago del cacao (Theobroma cacao)*. [Tesis de Grado, Universidad Francisco de Paula Santander]. <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/7580>
- Google Maps. (2025). 0°15'35.0"N 79°25'35.0"W. https://www.google.com.ec/maps/@-0.2621007,-79.443577,2416m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDUyNi4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D

- Guehi, T. S., Dadie, A. T., Koffi, K. P., Dabonne, S., Ban-Koffi, L., Kedjebo, K. D., & Nemlin, G. J. (2010). Performance of different fermentation methods and the effect of their duration on the quality of raw cocoa beans. *International journal of food science & technology*, 45(12), 2508-2514.
- Hernández-Rodríguez, J. P. (2022). *Producción y caracterización de películas bioactivas de celulosa microbiana en un sustrato de moringa (Moringa oleífera) y recubrimientos de mucílago de linaza (Linum usitatissimum)* [Tesis de Grado]. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Huamaní-Yupanqui, H. A., Mansilla-Minaya, L. G., Florida-Rofner, N., & Neira-Trujillo, G. M. (2012). Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta agronómica*, 61(4), 339-344.
- INAMHI. (2022, abril 16). *Anuario meteorológico*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf.
- Jayabalan, R., Malbaša, R. V., Lončar, E. S., Vitas, J. S., & Sathishkumar, M. (2014). A review on kombucha tea—Microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity, and tea fungus. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 13(4), 538-550.
- Lin, Y., Zhang, W., Li, C., Sakakibara, K., Tanaka, S., & Kong, H. (2012). Factors affecting ethanol fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* BY4742. *Biomass and bioenergy*, 47, 395-401.
- López, S. E., & Gil Rivero, A. E. (2017). Características germinativas de semillas de *Theobroma cacao* L.(*Malvaceae*)" cacao". *Arnaldoa*, 24(2), 609-618.
- Luna, T. A. (2018). *Producción de etanol a partir del mucílago de cacao (Theobroma cacao) mediante fermentación alcohólica*. [bachelorThesis, Universidad Técnica de Machala].
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/13283>
- Maiorella, B., Blanch, H. W., & Wilke, C. R. (1983). By-product inhibition effects on ethanolic fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnology and bioengineering*, 25(1), 103-121.
- Maquilon, J. M. P., Maquilon, J. S. P., Zambrano, C. E. Z., & Castro, J. G. C. (2025). Caracterización Química y Biopreservación de Confituras de Ananas Comosus (Piña) y Citrus Sinensis (Naranja) con Uso de Mucílago de Cacao para su Conservación. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(2), 5678-5705.

- Matiz, H. (2025). *Alternativas biotecnológicas para el aprovechamiento del mucílago de cacao en el oriente caldense, mediante recopilación de información bibliográfica* [Universidad Nacional Abeirta a Distancia]. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/67682>
- Nazaruddin, R., Seng, L., Hassan, O., & Said, M. (2006). Effect of pulp preconditioning on the content of polyphenols in cocoa beans (*Theobroma cacao*) during fermentation. *Industrial Crops and Products*, 24(1), 87-94.
- Nunes, C. da S. O., de Carvalho, G. B. M., da Silva, M. L. C., da Silva, G. P., Machado, B. A. S., & Uetanabaro, A. P. T. (2017). Cocoa pulp in beer production: Applicability and fermentative process performance. *PLoS One*, 12(4), e0175677.
- Palacios-Vallejos, K., Alcívar-Alcívar, Lady, Pico, C., Posligua-Laz, G., Romero-Mendoza, M., & Rosero-Delgado, E. (2019a). Diseño de un biorreactor para la obtención de ácido acético a partir del vino de mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.): Artículo de investigación. *Revista de Ciencias Agropecuarias ALLPA*. ISSN: 2600-5883., 2(4), 18-28.
- Parapouli, M., Vasileiadis, A., Afendra, A.-S., & Hatziloukas, E. (2020). *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. *AIMS microbiology*, 6(1), 1.
- Puentes-Páramo, Y., Menjivar-Flores, J., & Aranzazu-Hernández, F. (2014). Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Bioagro*, 26(2), 99-106.
- Quiñonez-Cedeño, A. N. (2024). *Obtención de ácido acético a base del fermento natural del mucílago de cacao* [bachelorThesis, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/13212>
- Rosas-Patiño, G., Sánchez-Castillo, V., & Patiño-Torres, C. (2025). Respuesta del cacao (*Theobroma cacao*) clon CCN-51 a la fertilización en condiciones agroclimáticas del Trapecio Amazónico Colombiano. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 28(1).
- Suárez, Y. V. B., Vallejo, M. N. O., Moína, H. L. B., & Freiré, G. E. L. (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.
- Torija, M. J., Rozes, N., Poblet, M., Guillamón, J. M., & Mas, A. (2003). Effects of fermentation temperature on the strain population of *Saccharomyces cerevisiae*. *International journal of food microbiology*, 80(1), 47-53.

- Torres, C. A. V., Ocampo, R. D., Rodríguez, W. M., Velasco, R. S., Chang, J. F. V., & Cedeño, C. B. (2016). Utilización del mucílago de cacao, tipo nacional y trinitario, en la obtención de jalea. *Revista ESPAMCIENCIA ISSN 1390-8103*, 7(1), 51-58.
- Vera-Loor, J. E., Cedeño-Palacios, N. B., & Mera-Vélez, S. A. (2020a). Elaboración de vinagre de vino a partir del mucílago y exudado de cacao criollo (*Theobroma cacao* l.): Artículo de revisión bibliográfica. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación. ISSN: 2737-6249.*, 3(6), 2-13.
- Villagómez, S., & Argüello, F. A. (2013). Optimización y aprovechamiento del residuo (exudado del mucílago) de la almendra fresca del cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN51 en la elaboración de vinagre. *Tsafiqui-Revista Científica en Ciencias Sociales*, (4), 7-19.
- Villarreal-Soto, S. A., Beaufort, S., Bouajila, J., Souchard, J., & Taillandier, P. (2018). Understanding kombucha tea fermentation: A review. *Journal of food science*, 83(3), 580-588.

ANEXOS

Anexo 1. *Medición volumétrica del sustrato fermentado*



Anexo 2. *Muestra de kéfir utilizada como inóculo microbiano*



Anexo 3. *Preparación del mosto de mucílago de cacao*



Anexo 4. *Tratamiento térmico del mucílago de cacao*



Anexo 5. *Agitación manual del sustrato durante el calentamiento*



Anexo 6. *Trasvase del sustrato al recipiente de medición*



Anexo 7. *Pesaje del inóculo microbiano*



Anexo 8. *Carga del sustrato al sistema de fermentación*



Anexo 9. *Destilación del sustrato fermentado*





Gordillo Rodríguez Michael Andrey-Plagio

3%
Textos
sospechosos

- < 1% Similitudes (ignorado)
 - 0% similitudes entre comillas
 - 0% entre las fuentes mencionadas
- 3% Idiomas no reconocidos
- 12% Textos potencialmente generados por IA (ignorado)

Nombre del documento: Gordillo Rodríguez Michael Andrey-Plagio.docx
ID del documento: 1f9819e28ba5a578f9ea21f0117fc5f1ef231f1
Tamaño del documento original: 1,34 MB

Depositante: ELIZABETH TACURI TROYA
Fecha de depósito: 2/2/2026
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 2/2/2026

Número de palabras: 6822
Número de caracteres: 46.857

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Ashley Nahomi Solórzano Rodríguez - Plagio.docx Ashley Nahomi Solórzano Rodríguez - Plagio.docx Viene de de mi biblioteca	3%		Palabras idénticas: 3% (23 palabras)
2	Johao Fernando Cevallos García - Plagio.docx Johao Fernando Cevallos García - Plagio.docx Viene de de mi biblioteca	2%		Palabras idénticas: 2% (104 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	dspace.unach.edu.ec https://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/13212/1/Angel_Quintero_Obtención_de_debito_al...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
2	repositorio.uteq.edu.ec Aprovechamiento del mucílago de cacao Mocambo (Th... https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/7051	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)
3	Documento de otro usuario Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)
4	repositorio.upch.edu.pe https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/fundec/20500/12866/1436/Aldemiro_Salazar_Ah...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)

216321367