



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 de la cáscara del plátano *Musa AAB* a través de un
fermentador anaeróbico”**

AUTORA: Ashley Nahomi Solórzano Rodríguez

TUTORA: Ing. Elizabeth Telli Tacuri Troya, Mg

El Carmen, diciembre del 2026

	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 48

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 de la estudiante **Ashley Nahomi Solórzano Rodríguez**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, período académico 2025 (2), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **“Fermentación acética de la cáscara del plátano *Musa AAB* 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, 30 de enero del 2025.

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



**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE
MANABÍ EXTENSIÓN EL CARMEN**

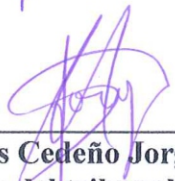
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto Integrador, titulado **“Fermentación acética de la cáscara del plátano *Musa* AAB a través de un fermentador anaeróbico”**, cuya autora es **Ashley Nahomi Solórzano Rodríguez** de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria y como Tutor de Trabajo de Titulación el Ing. Elizabeth Telli Tacuri Troya, Mg.

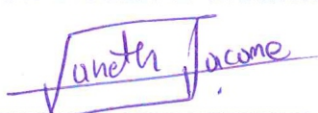
El Carmen, febrero de 2026



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



Ing. Vivas Cedeño Jorge Sifrido, Mg.
Miembro del tribunal de titulación



Ing. Jácome Gómez Janeth Rocío, PhD.
Miembro del tribunal de titulación



Uleam



DECLARACIÓN DE AUTORIA

La responsabilidad de este proyecto de Titulación: **“Fermentación acética de la cáscara del plátano *Musa* AAB a través de un fermentador anaeróbico”** corresponde exclusivamente a **Ashley Nahomi Solórzano Rodríguez** con C.I 1207915974 y los derechos patrimoniales del mismo a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

El Carmen – Manabí

Autora

Ashley Nahomi Solórzano Rodríguez
C.I 1207915974



DEDICATORIA

*“La agricultura es el empleo más saludable, más útil y más noble del hombre.” **George Washington***

A Dios, por guiarme y darme la fortaleza necesaria para no rendirme en los momentos de dificultad. A mi familia, por su amor, apoyo incondicional y por ser la base de cada uno de mis logros.

Y a mí misma, por demostrarme que soy una mujer capaz de alcanzar todo aquello que me propongo, que pese a las adversidades he sabido mantenerme firme y hoy culmino con orgullo mi carrera de Ingeniería Agropecuaria.

Ashley Nahomi Solórzano Rodríguez

AGRADECIMIENTO

"Quiero que mis hijos crezcan pensando que un agricultor es un superheroe" ***Christian F.***

A mi familia, por ser el pilar fundamental que me permitió alcanzar la meta de convertirme en Ingeniera Agropecuaria. Su apoyo incondicional, comprensión y palabras de aliento fueron la fuerza que me sostuvo en los momentos de dificultad y quebranto.

Gracias por enseñarme que con esfuerzo, perseverancia y amor se pueden superar los obstáculos y alcanzar los sueños. Este logro no es solo mío, sino también de ustedes, quienes con paciencia y fe me acompañaron en cada paso de este camino.

Ashley Nahomi Solórzano Rodríguez

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	II
TRIBUNAL DE TITULACIÓN	III
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVOS.....	5
CAPÍTULO I.....	6
MARCO TEÓRICO	6
1.1 Panorama técnico y productivo del cultivo de plátano	6
1.2 Desperdicios musáceos	6
1.2.1 Estimación de residuos por hectárea (materia fresca)	7
1.2.2 Corroboración con estudios en Ecuador.....	7
1.3 Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2296 (INEN, 2003)	7
1.4 Economía circular	8
1.5 Ácido acético.....	9
1.5.1 Efecto bactericida del ácido acético presente en el vinagre	9
1.6 Vinagre como producto fermentativo	10
CAPITULO II	11
ESTUDIO DEL ARTE	11

CAPITULO III	14
MATERIALES Y METODOS.....	14
3.1 Localización de la unidad experimental.....	14
3.2 Caracterización agroecológica de la zona	14
3.3 Materiales	15
3.4 MÉTODOS.....	16
3.4.1 Método empírico	16
3.4.2 Método experimental.....	16
3.5 Variables del estudio	16
3.5.1 Variables independientes.....	16
3.5.2 Variables dependientes.....	17
3.6 Diseño experimental.....	17
3.7 Tratamientos.....	17
3.8 Análisis estadístico	17
3.9 Manejo del experimento.....	18
CAPÍTULO IV.....	20
4.1 DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	20
4.2 Diseño y selección de tecnologías a implementar	21
4.3 Plan de implementación	23
CAPÍTULO V.....	26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
5.1 Fase alcohólica	26
5.1.1 Comportamiento de los sólidos solubles (°Brix), pH y contenido alcohólico de la cáscara de plátano durante la fase alcohólica	26
5.2 Fase Acética	27
5.2.1. Contenido de sólidos solubles (°Brix) durante la fase acética	27
5.2.1 Contenido de potencial de hidrogeno pH.....	28

5.3 Rendimiento	29
5.3.2 Rendimiento (%)	29
5.4 Análisis de costos	30
CAPÍTULO VI.....	32
CONCLUSIONES	32
RECOMENDACIONES	33
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	XXXV
ANEXOS.....	XXXV

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos establecidos por la normativa NTE INEN 2296 para el vinagre	10
Tabla 2. Características climatológicas de la localidad.....	14
Tabla 3. Tratamientos del estudio	17
Tabla 4. Esquema del análisis de varianza	18
Tabla 5. Costos de implementación del sistema experimental.....	23
Tabla 6. Preparación del sustrato y acondicionamiento del mosto	23
Tabla 7. <i>Seguimiento cinético de la fermentación alcohólica y transición acética</i>	24
Tabla 8. <i>Refuerzo microbiano y estabilización del proceso acético</i>	24
Tabla 9. <i>Destilación y control fisicoquímico final</i>	24
Tabla 10. Efecto de los tratamientos microbianos sobre el contenido de sólidos solubles (°Brix, %) del sustrato fermentado.....	27
Tabla 11. <i>Efecto de los tratamientos microbianos sobre el potencial de hidrógeno (pH) del sustrato fermentado</i>	28
Tabla 12. Resultados obtenidos después del proceso de destilación de la cascara de plátano	29
Tabla 13. <i>Costos de producción por tratamiento en la fermentación acética de la cáscara de plátano</i>	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio	14
Figura 2. Refractómetro digital utilizado para la determinación de sólidos solubles (°Brix) en los sustratos fermentados	20
Figura 3. Fermentador batch de acero inoxidable de 100 L con tapa hermética y válvulas de entrada y salida.....	22
Figura 4. Comportamiento de los sólidos solubles (°Brix), pH y contenido de alcohol durante la fase alcohólica de la fermentación de la cáscara de plátano (<i>Musa AAB</i>)	26
Figura 5. Rendimiento porcentual del destilado obtenido durante la fermentación acética de la cáscara de plátano (<i>Musa AAB</i>) bajo diferentes tratamientos microbianos	30

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Medición del volumen del destilado obtenido a partir del sustrato fermentado de cáscara de plátano (Musa AAB) mediante probeta graduada	XXXV
Anexo 2. <i>Determinación del contenido alcohólico del sustrato fermentado utilizando alcoholímetro durante la fase de evaluación fisicoquímica</i>	XXXV
Anexo 3. <i>Medición del contenido alcohólico del mosto de cáscara de plátano (Musa AAB) mediante alcoholímetro previo al proceso de destilación</i>	XXXVI
Anexo 4. <i>Registro de la temperatura del sustrato durante el tratamiento térmico utilizando termómetro digital de inmersión</i>	XXXVI
Anexo 5. <i>Disposición de las unidades experimentales (tachos) correspondientes a los diferentes tratamientos fermentativos evaluados</i>	XXXVI
Anexo 6. <i>Certificado de similitud</i>	XXXVII

RESUMEN

El estudio titulado “*Fermentación acética de la cáscara del plátano (Musa AAB) a través de un fermentador anaeróbico*” tuvo como objetivo evaluar la obtención de ácido acético a partir de la valorización de la cáscara de plátano mediante un proceso fermentativo controlado. El experimento se desarrolló bajo un Diseño Completamente al Azar, con cuatro tratamientos microbianos: T1 (levadura *Saccharomyces* sp.), T2 (consorcio mixto: kéfir + levadura + kombucha), T3 (kéfir) y T4 (kombucha), con tres repeticiones por tratamiento. Durante la fase alcohólica, el sustrato alcanzó valores promedio de 3,03 °Brix, pH 4,01 y 5,43 % de alcohol etílico, lo que evidenció un consumo efectivo de azúcares fermentables y una adecuada conversión a etanol, generando un sustrato favorable para la fermentación acética. En la fase acética, se observaron diferencias entre tratamientos en el contenido de sólidos solubles y pH. Los valores finales de °Brix oscilaron entre 0,1 y 0,7, mientras que el pH se ubicó entre 3,58 y 4,05, reflejando distintos niveles de acidificación y eficiencia fermentativa según el inóculo empleado. El tratamiento con kombucha (T4) se destacó como el más eficiente, al presentar un pH de 3,98, 0,6 °Brix residual, ausencia de alcohol residual y el mayor volumen destilado. En términos de rendimiento, T4 alcanzó el 71,00 %, superando a los tratamientos con kéfir (61,00 %), mixto (60,80 %) y levadura (21,40 %). La fermentación acética mostró un rendimiento variable según el inóculo utilizado, destacándose el tratamiento con kombucha, que alcanzó el mayor rendimiento porcentual.

Palabras Claves: fermentación, acidez, microorganismos, cáscara de plátano, ácido acético.

ABSTRACT

The study entitled “*Acetic fermentation of banana peel (Musa AAB) using an anaerobic fermenter*” aimed to evaluate the production of acetic acid through the valorization of banana peel by means of a controlled fermentative process. The experiment was conducted under a Completely Randomized Design, with four microbial treatments: T1 (yeast *Saccharomyces* sp.), T2 (mixed consortium: kefir + yeast + kombucha), T3 (kefir), and T4 (kombucha), with three replicates per treatment. During the alcoholic phase, the substrate reached average values of 3.03 °Brix, pH 4.01, and 5.43 % ethyl alcohol, indicating effective consumption of fermentable sugars and adequate conversion to ethanol, thus generating a suitable substrate for acetic fermentation. In the acetic phase, differences among treatments were observed in soluble solids content and pH. Final °Brix values ranged from 0.1 to 0.7, while pH values ranged between 3.58 and 4.05, reflecting different levels of acidification and fermentative efficiency depending on the inoculum used. The kombucha treatment (T4) was identified as the most efficient, presenting a pH of 3.98, 0.6 residual °Brix, absence of residual alcohol, and the highest volume of distillate recovered. In terms of yield, T4 achieved 71.00 %, exceeding the kefir (61.00 %), mixed (60.80 %), and yeast (21.40 %) treatments. Overall, acetic fermentation performance varied according to the inoculum employed, with kombucha showing the highest efficiency and yield.

Keywords: fermentation, acidity, microorganisms, banana peel, acetic acid.

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, la producción de musáceas ha representado una de las actividades más significativas para la economía agrícola, especialmente en el cantón El Carmen, provincia de Manabí. Este territorio se ha consolidado como un referente en la producción y exportación de plátano, siendo el barraganete (*Musa paradisiaca* AAB) uno de los cultivos de mayor relevancia económica (Cevallos-Zambrano, 2022).

Impacto económico

Actualmente, se cultivan cerca de 60.000 hectáreas, destinadas tanto al mercado interno como a la exportación, lo que convierte al plátano en una de las principales fuentes de ingreso económico y empleo para las familias locales (Cuesta-Salinas & Muñoz-Cajamarca, 2024). De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos, en el año 2021 se registraron 164.085 hectáreas de plátano en el país, reflejando un crecimiento del 2,15 % con relación al 2020 (INEC, 2024).

De esta producción, alrededor de 380,49 millones de cajas se destinaron a la exportación, mientras que el consumo local alcanzó aproximadamente los 30 kg por persona (Gómez-Álvarez & Martín-Rodríguez, 2021). En el caso específico de El Carmen, se estima que el 50 % de las familias dependen económicamente de este cultivo, percibiendo en promedio 6,25 dólares por caja comercializada (Briones, 2022).

No obstante, esta alta productividad también genera un volumen considerable de residuos musáceos que, al no ser aprovechados, se convierten en un problema ambiental y económico (Macay et al., 2023). Los residuos vegetales en la agricultura incluyen frutos dañados, podas, deshierbes y subproductos que no llegan al mercado.

Impacto ambiental

Tradicionalmente, estos desechos se destinan al compostaje o vermicompostaje; sin embargo, la magnitud de la producción platanera en Manabí evidencia la necesidad de explorar estrategias innovadoras de valorización (Campoverde & Guerra, 2025). Entre estas, la biotecnología ofrece alternativas viables al aprovechar la composición rica en carbohidratos de la cáscara de plátano, un subproducto con alto potencial fermentativo (Cevallos-Zambrano, 2022).

No obstante, el auge productivo trae consigo una problemática que suele pasar desapercibida: la generación de grandes volúmenes de residuos agroindustriales,

principalmente cáscaras, que al no ser aprovechados de forma adecuada se convierten en un factor de contaminación ambiental (Mondragón-García et al., 2018).

El proceso de fermentación acética se basa en dos etapas bioquímicas: la fermentación alcohólica, llevada a cabo principalmente por levaduras del género *Saccharomyces*, y la fermentación acética, en la cual bacterias como *Acetobacter aceti* oxidan el etanol para transformarlo en ácido (Mitina et al., 2025). Este compuesto, más conocido como vinagre, es ampliamente utilizado en la gastronomía, la medicina y la industria cosmética debido a sus propiedades conservantes y organolépticas (Liu et al., 2024).

Estos desechos, que podrían convertirse en materia prima para procesos biotecnológicos, generalmente se acumulan sin tratamiento, lo que refleja un desaprovechamiento de recursos con potencial de valorización (Causado-Rodríguez & Reatiga-Charris, 2013).

Impacto social

En la provincia de Manabí, la producción artesanal de vinagre a partir de guineo ha cobrado relevancia por su aplicación en encurtidos y ajíes, aunque los métodos tradicionales suelen ser rústicos y de bajo control técnico (García, 2017).

La incorporación de un enfoque científico en la fermentación acética de la cáscara de plátano (*Musa AAB*) representa una oportunidad para reducir el impacto ambiental de los desechos agroindustriales y generar un producto de valor agregado con aplicaciones comerciales (González-Arcos, 2015). Además, el uso de fermentadores controlados permite optimizar variables críticas como temperatura, pH, oxigenación y disponibilidad de nutrientes, incrementando la eficiencia del proceso.

En el cantón El Carmen, provincia de Manabí, el plátano constituye un pilar fundamental de la economía local, ya que representa la principal fuente de ingresos para muchas familias rurales y un producto de alta demanda tanto nacional como internacional. Como señala Cevallos-Zambrano (2022), este cultivo no solo sostiene el consumo interno, sino que también dinamiza la economía mediante la exportación.

El ácido acético, componente principal del vinagre, es reconocido por sus aplicaciones en la gastronomía, la medicina y la industria cosmética, debido a sus propiedades conservantes y organolépticas (Luján et al., 2018). Su obtención se da a partir de la oxidación del etanol en condiciones controladas mediante bacterias acéticas (Liu et al., 2024).

Ante esta realidad, se abre una brecha de investigación relacionada con la implementación de sistemas fermentativos más eficientes, como los biorreactores, que permitan transformar residuos agroindustriales en productos con valor agregado y con parámetros de calidad equiparables a los exigidos a nivel comercial.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo general evaluar el ácido acético obtenido a partir de la fermentación de la cáscara de plátano (*Musa AAB*) en un fermentador anaeróbico. Como objetivos específicos, se planteó determinar las características físicas y químicas del ácido acético producido a partir de la cáscara de plátano, así como analizar el rendimiento de la fermentación acética en relación con los parámetros establecidos para vinagres comerciales, con el fin de aportar una alternativa técnica y sostenible para la valorización de residuos agroindustriales.

JUSTIFICACIÓN

El cantón El Carmen, en la provincia de Manabí, se caracteriza por ser una de las principales zonas productoras de plátano en Ecuador, actividad que constituye la base económica de numerosas familias rurales. Además de los agricultores, existe una cadena de actores vinculados a la producción, entre ellos las peladoras, quienes participan activamente en el proceso postcosecha.

No obstante, la dinámica productiva genera grandes cantidades de cáscaras que son desechadas sin aprovechamiento, lo que representa no solo un problema ambiental, sino también una pérdida de recursos que podrían transformarse en ingresos adicionales para la comunidad (Meneses et al., 2010).

La valorización de este residuo mediante fermentación acética ofrece una alternativa viable para generar un producto de alto consumo como es el vinagre (Cuesta-Salinas & Muñoz-Cajamarca, 2024). El ácido acético, además de ser un insumo esencial en la gastronomía, tiene aplicaciones en la medicina, la industria química y la cosmetología, lo que amplía sus posibilidades de comercialización (Cevallos-Zambrano, 2022).

Para los pequeños productores y trabajadores asociados al cultivo y procesamiento del plátano, esta alternativa se convierte en una oportunidad de diversificación económica a partir de un recurso que hasta ahora carece de valor en el mercado local (Cevallos-Zambrano, 2022). La incorporación de fermentadores en este proceso representa una innovación tecnológica accesible, capaz de mejorar la eficiencia y estandarización del producto final.

A diferencia de los métodos artesanales, el control de variables como temperatura, oxigenación y pH garantiza un vinagre con características fisicoquímicas más estables, lo que incrementa su competitividad frente a los estándares de calidad exigidos en el comercio (González-Arcos, 2015).

De esta forma, los productores y peladoras de plátano pueden no solo reducir pérdidas, sino también insertarse en un mercado con mayor valor agregado. Desde el punto de vista científico, la investigación contribuye a fortalecer el conocimiento sobre la biotecnología aplicada a residuos agroindustriales, ofreciendo un modelo de aprovechamiento sostenible que combina eficiencia técnica con impacto social.

Al evaluar el rendimiento y la calidad del ácido acético obtenido a partir de cáscaras de plátano, se generan bases sólidas para escalar esta práctica hacia proyectos comunitarios que

promuevan la economía circular y la innovación productiva en el sector agrícola (Cuesta-Salinas & Muñoz-Cajamarca, 2024; López et al., 2024).

En este sentido, se alinea con las metas de sostenibilidad, fomenta la reducción de la contaminación ambiental y fortalece la resiliencia económica de pequeños productores y trabajadores de El Carmen, quienes podrían consolidar nuevas oportunidades en torno a la elaboración de ácido acético como producto de valor agregado.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el ácido acético obtenido a partir de la fermentación de la cáscara de plátano (*Musa* AAB) en un fermentador anaeróbico.

Objetivos específicos

- Determinar las características físicas y químicas del ácido acético producido a partir de la cáscara de plátano (*Musa* AAB).
- Analizar el rendimiento de la fermentación acética de la cáscara de plátano (*Musa* AAB) en relación con los parámetros establecidos para vinagres comerciales.
- Determinar los costos de producción del ácido acético.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Panorama técnico y productivo del cultivo de plátano

Ecuador se destaca como uno de los principales exportadores de plátano fresco en el mundo, con una superficie cultivada que ronda las 152.654 hectáreas y una producción de alrededor de 840.599 toneladas en los últimos informes oficiales (Lara-García et al., 2021a). En ese contexto, Manabí y Guayas concentran aproximadamente la mitad de la producción nacional, generando unos 65.000 empleos directos e indirectos (Toledo et al., 2023).

Dentro de esa estructura productiva, Manabí juega un rol protagónico: estimaciones locales indican que el cantón El Carmen alberga entre el 90 % y 95 % del área platanera municipal, posicionándose como epicentro del cultivo en esa provincia (Toledo et al., 2023). A nivel de pequeñas explotaciones agrícolas, se estima que cerca del 85 % de los productores de plátano operan con plantaciones de entre 1 y 3 hectáreas, caracterizándose por bajos niveles de tecnificación y limitados recursos para innovación (Agrocalidad, 2024).

En cuanto a su destino, entre el 70 % de la producción nacional se destina al consumo interno y el resto a exportación (Chinga et al., 2018). El Ecuador mantiene una posición destacada en el mercado internacional como exportador de fruta fresca, con destinos como Estados Unidos, Unión Europea y mercados del Cono Sur (Cedeño-Zambrano et al., 2022).

1.2 Desperdicios musáceos

En Ecuador, la producción de musáceas genera un volumen elevado de residuos agrícolas que se convierten en un problema ambiental y de manejo postcosecha (Lara-García et al., 2021b). Estos desechos se originan principalmente en la cosecha y el consumo masivo del plátano, destacando la acumulación de pseudotallos, hojas, raquis y cáscaras (Ortiz-Ulloa et al., 2021).

Estudios técnicos indican que, en promedio, una hectárea cultivada puede generar más de 3 toneladas de pseudotallo, 480 kg de hojas, 160 kg de tallo y alrededor de 440 kg de cáscara, los cuales, al no recibir un tratamiento adecuado, suelen permanecer en los sitios de cultivo, acumulándose durante la temporada seca y descomponiéndose lentamente (Lara-García et al., 2021b).

Zaini et al. (2023), mencionan que esta situación refleja el bajo nivel de aprovechamiento de biomasa en las plantaciones de plátano, a pesar de que estos residuos poseen potencial de uso en la elaboración de compost, bioles y en procesos de bioconversión industrial (Badanayak et al., 2023).

El desafío central radica en que la mayoría de los pequeños y medianos productores carecen de acceso a tecnologías que permitan transformar este material, lo que limita la generación de valor agregado y mantiene la presión ambiental en zonas productoras (Cevallos-Zambrano, 2022).

1.2.1 Estimación de residuos por hectárea (materia fresca)

- Escenario bajo (5 t/ha de fruta): Residuos totales 20,9 t/ha. Desglose: pseudotallos 15,0 t/ha, raquis 0,8 t/ha, hojas 2,4 t/ha, inflorescencias y cáscaras 2,2 t/ha (fruta de descarte 0,5 t/ha).
- Escenario típico (12 t/ha de fruta): Residuos totales 50,2 t/ha. Desglose: pseudotallos 36,0 t/ha, raquis 1,92 t/ha, hojas 5,76 t/ha, inflorescencias y cáscaras 5,28 t/ha (descarte 1,2 t/ha).
- Escenario alto (24 t/ha de fruta): Residuos totales 100,3 t/ha. Desglose: pseudotallos 72,0 t/ha, raquis 3,84 t/ha, hojas 11,52 t/ha, inflorescencias y cáscaras 10,56 t/ha (descarte 2,4 t/ha). Esta cota coincide con estimaciones de campo que sitúan los residuos agrícolas del banano en el orden de ~90 t/ha por ciclo.

1.2.2 Corroboración con estudios en Ecuador

A escala país, un trabajo en Ecuador (banano de exportación) estimó una relación residuo/producto 3,79 (base seca) y cuantificó la biomasa residual anual en 2,65 Mt (seca); aunque ese estudio se centró en Cavendish (AAA), sugiere magnitudes de residuo elevadas por unidad de fruta producida, coherentes con los cálculos anteriores cuando se llevan a base fresca. Además, la evaluación de ciclo de vida de banano ecuatoriano identifica la gestión del raquis como un punto crítico, visibilizando la carga de residuos en poscosecha

1.3 Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2296 (INEN, 2003)

Tal como establece la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2296 (INEN, 2003), se definen los parámetros obligatorios que deben cumplirse en la producción de vinagre, los cuales

incluyen requisitos relacionados con su composición, el tipo de producto, el envasado, el proceso de destilación y su aptitud para el consumo directo. Esta normativa, vigente desde el año 2003 en Ecuador, proporciona el marco regulatorio que permite determinar la calidad mínima que debe presentar el vinagre en el mercado. Dentro de sus definiciones, se considera vinagre al *“producto líquido, apto para el consumo humano, producido exclusivamente con productos idóneos que contengan almidón y/o azúcares por el procedimiento de doble fermentación, alcohólica y acética”* (INEC, 2003).

1.4 Economía circular

La economía circular se define como un modelo de producción y consumo que busca generar estabilidad económica, proteger el ambiente y disminuir los impactos contaminantes. Su propósito es impulsar el desarrollo sostenible mediante el aprovechamiento eficiente de los recursos y la gestión adecuada de los residuos (Raudales-Garcia et al., 2024). En este sentido, Seguí, González-Ordaz & Vargas-Hernández (2017), explican que la normativa contempla desde tratamientos básicos de eliminación, considerados no valorizables, hasta procesos que reincorporan los desechos a la cadena productiva.

Entre estos se destacan la incineración sin recuperación de energía, el backfilling o relleno para recuperar paisajes, la valorización energética que transforma los residuos en fuentes de calor o combustible, el reciclaje de materiales y la producción de compost a través de biodegradación controlada (Cevallos-Zambrano, 2022).

A partir de la segunda mitad del siglo XX comenzó a reconocerse la estrecha relación entre crecimiento económico y conservación ambiental, pues hasta entonces ambos ámbitos se analizaban de forma independiente (Martínez & Porcelli, 2018). Garabiza et al. (2021), señalan que los efectos negativos de la industrialización impulsaron una reflexión global sobre la necesidad de integrar tecnologías más limpias que redujeran los impactos ambientales. De esta manera, se identificó que los problemas ambientales trascienden lo técnico e incluyen dimensiones sociales, políticas y económicas, con consecuencias tangibles como el cambio climático y el deterioro de la capa de ozono (Porcelli & Martínez, 2018).

En este escenario emergió el concepto de sustentabilidad, entendido como la búsqueda de un equilibrio entre la economía, la sociedad y el ambiente. Carrillo-González & Pomar-Fernández (2021), plantean que este enfoque promueve la valoración integral del entorno natural desde perspectivas culturales, sociales, éticas y económicas.

En la actualidad, varios países han adoptado medidas que reflejan una mayor conciencia ambiental y la necesidad de implementar soluciones innovadoras para reducir la presión sobre los ecosistemas. En Ecuador, por ejemplo, se han desarrollado proyectos que buscan aprovechar los residuos sólidos orgánicos para generar biogás, una fuente de energía limpia utilizada en actividades domésticas como la cocción de alimentos, lo cual representa una alternativa sostenible frente al consumo de combustibles fósiles (FAO, 2020).

1.5 Ácido acético

El ácido acético, cuya fórmula molecular es CH_3COOH , corresponde a un ácido orgánico débil conocido sistemáticamente como ácido etanoico según la IUPAC (Rosado-Flores et al., 2017). Este compuesto es el principal responsable del sabor y olor característicos del vinagre. Se trata de un líquido incoloro, de olor fuerte e irritante, que puede solidificarse en forma de cristales similares al hielo a temperaturas inferiores a 17°C (Díaz et al., 2020).

Su solubilidad se explica por la capacidad del ion acetato ($[\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2]^-$), base conjugada del ácido acético, para formar enlaces de hidrógeno, lo que lo hace miscible en agua, alcoholes, glicerina, éter y otros disolventes orgánicos (Díaz et al., 2020). Además, este ácido se utiliza ampliamente en la producción de fármacos, plásticos, tintes, insecticidas y aditivos alimentarios, lo que evidencia su versatilidad industrial (Piñero et al., 2010).

1.5.1 Efecto bactericida del ácido acético presente en el vinagre

Diversos estudios han demostrado que el ácido acético posee propiedades antimicrobianas, cuya efectividad depende de la concentración en solución. En concentraciones del 5 %, este ácido inhibe el crecimiento de *Staphylococcus aureus* y, en proporciones cercanas al 0,1 %, resulta efectivo frente a *Escherichia coli* (Santos et al., 2008).

El vinagre blanco, por su mayor concentración relativa de ácido acético, ha sido propuesto como alternativa a desinfectantes sintéticos, mostrando capacidad bactericida en rangos de 3 % a 50 %, incluso en aplicaciones odontológicas como la desinfección de cepillos dentales (Herrera-Sandoval et al., 2012).

Asimismo, se ha reportado que el vinagre de manzana a concentraciones de 2,5 % y 5 % presenta un efecto antibacteriano comparable al del hipoclorito de sodio al 5,25 % sobre cepas de *Enterococcus faecalis*, lo cual se atribuye a su capacidad para acidificar el medio y dificultar el desarrollo de microorganismos patógenos (García, 2017).

1.6 Vinagre como producto fermentativo

El vinagre se define como una solución de ácido acético obtenida mediante la doble fermentación: primero alcohólica y posteriormente acética (García, 2017). Durante este proceso, pueden generarse otros ácidos orgánicos como el tartárico, láctico, málico y cítrico, aunque el acético es el predominante (Herrera-Sandoval et al., 2012).

Gracias a sus propiedades químicas, el vinagre no solo es utilizado en gastronomía, sino que también se compara con agentes desinfectantes tradicionales como el hipoclorito de sodio por su efecto antibacteriano frente a bacterias patógenas como *E. coli*, *Salmonella typhimurium* y algunos hongos (Piñero et al., 2010).

Estas características lo convierten en un producto natural con potencial tanto en la industria alimentaria como en aplicaciones sanitarias (Herrera-Sandoval et al., 2012).

Tabla 1. Requisitos establecidos por la normativa NTE INEN 2296 para el vinagre

Criterio	Especificación normativa
Composición general	Si la composición del vinagre no cumple con los parámetros establecidos, el producto debe ser rechazado.
Características sensoriales	El vinagre debe presentar color uniforme, así como sabor y olor característicos.
Ausencia de impurezas	No debe contener anguílula del vinagre ni materias o sedimentos en suspensión. Además, debe estar libre de turbiedad ocasionada por la “madre del vinagre”.
Requisitos microbiológicos	Debe estar exento de microorganismos patógenos, aerobios mesófilos, coliformes totales, bacterias acidúricas, así como de mohos y levaduras.

Fuente: Adaptado de NTE INEN 2296 (INEN, 2003).

La Tabla 1 muestra los requisitos establecidos por la normativa NTE INEN 2296 para el vinagre, considerando criterios relacionados con la composición general, las características sensoriales, la ausencia de impurezas y los requisitos microbiológicos

CAPITULO II

ESTUDIO DEL ARTE

El estudio de Viñamagua N(2022), se orientó a la formulación de un potenciador de sabor para carnes rojas a partir de vinagre de banano (*Musa paradisiaca*) y harina de cáscara de camarón (*Litopenaeus vannamei*), utilizando un Diseño Completamente al Azar con tres tratamientos basados en diferentes proporciones de ambos ingredientes. El vinagre se obtuvo a partir de 19 kg de banano, alcanzando un rendimiento del 47,36 %, mientras que la harina de camarón presentó un rendimiento del 9,49 % a partir de 4,7 kg de exoesqueletos. El análisis sensorial determinó que el tratamiento con 40 % de vinagre de banano y 20 % de harina de camarón presentó la mayor aceptabilidad en color, olor, sabor y textura. Asimismo, el análisis microbiológico confirmó que el producto cumplió con los límites establecidos por la norma NTE INEN 2532:2010, evidenciando que la combinación de vinagre de banano y harina de camarón mejoró las características organolépticas de las carnes rojas.

Intriago-Ponce et al. (2019), señaló que la importación de vinagre y productos sucedáneos en Ecuador se mantiene de forma constante, lo que evidencia la necesidad de alternativas de producción local. El vinagre se definió como un líquido ácido obtenido mediante la fermentación acética del vino, proceso que se inicia a partir de azúcares fermentables. El estudio tuvo como objetivo evaluar el rendimiento del vinagre producido a partir de la pulpa de banano (*Musa paradisiaca*) mediante una fermentación bifásica alcohólica y acética, así como estimar su viabilidad a escala industrial y el diseño de los reactores necesarios. Los resultados indicaron que la fermentación alcohólica presentó una producción de etanol estable, alcanzando un rendimiento del 75 %, mientras que la fermentación acética registró un rendimiento del 16,1 %. Se concluyó que el control del crecimiento microbiano y el ajuste adecuado de las variables del proceso son determinantes para mejorar los rendimientos en la fermentación acética.

De manera complementaria, se evaluó la fermentación de diversas variedades de banana, determinándose el contenido de ácido acético del vinagre obtenido mediante volumetría de neutralización. Los resultados evidenciaron que la industrialización de la banana representa una alternativa con potencial para incrementar los beneficios económicos de los productores, tal como lo señala Melgarejo et al. (2024), Asimismo, la encuesta reflejó un alto interés por parte de la comunidad en la industrialización de la materia prima, y se identificó que la variedad Dominico-Oro presentó el mayor rendimiento de ácido acético entre las variedades evaluadas.

Benalcázar et al. (2020), determinó que el estado de madurez de la materia prima influye directamente en las características fisicoquímicas del vinagre, particularmente en los valores de °Brix y pH, los cuales aumentaron conforme se incrementó el grado de madurez del fruto. No obstante, las mayores variaciones se observaron entre los ingredientes base, ya que el plátano presentó valores significativamente superiores a los obtenidos con piña. Este comportamiento se atribuyó al alto contenido de almidón del plátano, el cual, durante el proceso de maduración, se hidroliza en azúcares simples, incrementando la disponibilidad de carbohidratos fermentables y, en consecuencia, los valores de °Brix y pH del producto final. Los vinagres obtenidos presentaron valores finales de pH cercanos a 3, rango compatible con los valores reportados para vinagres comerciales (2,4–3,4). Asimismo, se consideró la posible influencia de otros ácidos orgánicos presentes en los ingredientes base, como el ácido cítrico, málico, succínico y propiónico, particularmente en la piña, los cuales pudieron incidir en las características fisicoquímicas del producto final.

Los ácidos orgánicos desempeñan un papel fundamental en los frutos maduros, ya que, junto con los azúcares, constituyen los principales compuestos solubles responsables del sabor. Asimismo, estos componentes se consideran indicadores clave del índice de madurez, el cual determina el momento óptimo de cosecha según el uso previsto del fruto. En este contexto, la investigación determinó el índice de madurez de diferentes variedades de plátano como etapa previa a la obtención de ácido acético (Cevallos, 2022).

En un estudio sobre vinagre a partir de cáscaras de banana, los autores evaluaron diferentes edades del fruto y métodos de pretratamiento (hervido o sin hervir) para comparar las propiedades fisicoquímicas del vinagre resultante con los vinagres comerciales. Encontraron que el vinagre de cáscara de banana fue más claro, su extracto seco total fue menor comparado con el vinagre comercial y tuvo una actividad antioxidante superior. También se determinó que su contenido de polifenoles totales era similar al de vinagres balsámicos comerciales (Prisacaru et al., 2021).

Investigadores convirtieron agua de coco descartada (residuo) en vinagre mediante la aplicación de bacterias acéticas aisladas de desechos frutales. En este trabajo se describe la metodología de aislamiento de bacterias ácido-acéticas (AAB) de residuos frutales, su aplicación en el medio alcohólico procedente del agua de coco y los resultados en términos de rendimiento de ácido acético, mostrando cómo un subproducto agrícola puede transformarse en vinagre (Yasmin et al., 2025).

Un estudio centrado en residuos de piña propone la valorización de los subproductos del procesamiento de piña como estrategia ecológica para agregar valor. Se fermentaron vinos de pulpa y cáscara de piña y luego fueron sometidos a acetificación empleando cepas silvestres de bacterias acéticas, utilizando el método de Orleans seguido de enriquecimiento con extractos vegetales. Los resultados mostraron que era viable producir vinagre con niveles aceptables de acidez usando residuos del procesamiento industrial (Bertan et al., 2022).

Un trabajo experimental llevó a cabo la producción de vinagre a partir de cáscaras de piña en dos etapas de fermentación (alcohólica y acética). La cáscara se dejó fermentar durante 48 horas para convertir azúcares en etanol mediante *Saccharomyces cerevisiae*, seguido de acetificación con *Acetobacter aceti* durante 9 días con aireación continua. Se evaluaron parámetros como pH, densidad, índice refractivo, viscosidad y porcentaje de ácido acético, y los autores reportaron que el vinagre producido cumplió con propiedades aceptables respecto a estándares existentes (Tafawa et al., 2011).

La producción y evaluación de vinagre de mango fue objeto de un estudio en Nigeria donde los investigadores procesaron fruta de mango variedad Sherry en jugo mediante prensado mecánico y luego realizaron fermentación alcohólica a 30 °C durante dos semanas, seguida de fermentación acética también por dos semanas con bacterias aisladas del vino (Adebayo-Oyetoro et al., 2017).

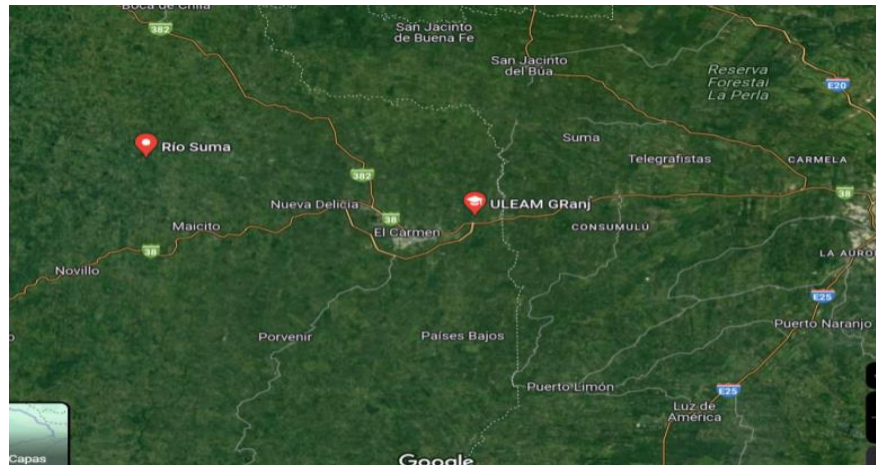
CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

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 espacio académico se encuentra orientado al diseño y ejecución de proyectos aplicados en transformación agroindustrial, con énfasis en el aprovechamiento sostenible de los recursos locales.

Figura 1. 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 2. Características climatológicas de la localidad

Característica	Descripción
Clima	Trópico Húmedo
Temperatura Media Anual	24 °C
Temperatura Promedio Anual	23 °C
Humedad Relativa	86%
Precipitación Media Anual	2659 mm
Altitud	249 msnm
Estaciones	Verano: De mayo a diciembre, con clima seco, Invierno: De enero a mayo, con mayor humedad y presencia de garúas permanentes, influenciado por la proximidad a la Cordillera de la Costa.

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

- Cáscara de plátano barraganete
- 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 investigación adoptó un enfoque cuantitativo exploratorio, en el que se manejaron variables numéricas tales como pH, acidez total titulable, grados alcohólicos y sólidos solubles (°Brix). A partir de estas mediciones se establecieron comparaciones entre ensayos, con el propósito de determinar las condiciones de fermentación con mayor rendimiento en la producción de ácido acético (Rojas-Arenas et al., 2020).

Todas las pruebas se realizaron en el laboratorio de Procesos y Control de Calidad de la carrera de Agroindustria de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen.

3.4.2 Método experimental

Los ensayos se desarrollaron utilizando mosto obtenido a partir de cáscaras frescas de plátano (*Musa AAB*), las cuales fueron previamente seleccionadas en estado adecuado de madurez, lavadas, troceadas y sometidas a un pretratamiento térmico. La formulación de cada unidad experimental se estandarizó a 5.464 g, compuesta por 4.000 mL de agua, 1.000 g de azúcar, 300 g de pulpa de plátano barraganete (*Musa AAB*), 100 g de material vegetativo empleado como clarificante y 10 g de ácido cítrico.

Los tratamientos contemplaron dos fases sucesivas: (i) fermentación alcohólica con levaduras del género *Saccharomyces* para la producción de etanol, y (ii) fermentación acética con bacterias acéticas para la conversión del etanol en ácido acético. Este diseño experimental permitió comparar la eficiencia en la producción de ácido acético bajo condiciones controladas de laboratorio (Córdova-García et al., 2022).

3.5 Variables del estudio

3.5.1 Variables independientes

- Cáscara de plátano

- Microorganismos Acetificadores

3.5.2 Variables dependientes

- Mosto sólido
- Mosto líquido
- Peso Total
- pH
- oBrix
- %v/v Alcohol
- Rendimiento

3.6 Diseño experimental

Se implementó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con 4 tratamientos y 3 repeticiones; las medias serán comprobadas usando la prueba de Tukey con un 5% de nivel de significancia.

3.7 Tratamientos

Tabla 3. *Tratamientos del estudio*

Unidades experimentales	Microorganismos
T1	Levadura (<i>Saccharomyces</i> sp.)
T2	Kéfir + Levadura (<i>Saccharomyces</i> sp.) + Kombucha
T3	Kéfir
T4	Kombucha

3.8 Análisis estadístico

Se aplicó un ANOVA de un factor con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ para detectar diferencias estadísticas entre tratamientos. Cuando se identificaron diferencias significativas, se procedió a la comparación de medias mediante la prueba de Tukey, lo que permitió establecer con rigor cuáles tratamientos presentaron mejores resultados en términos de eficiencia fermentativa y calidad fisicoquímica del ácido acético obtenido a partir de la cáscara de plátano (*Musa* AAB) en fermentador anaeróbico.

Los resultados se presentaron mediante tablas y figuras, permitiendo comparar el comportamiento de los tratamientos en función de las variables fisicoquímicas y del rendimiento del proceso fermentativo.

Tabla 4. *Esquema del análisis de varianza*

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

3.9 Manejo del experimento

1. Se seleccionó la materia prima, utilizando plátano (*Musa AAB*) en estado óptimo de cosecha; el material vegetativo clarificante fue recolectado en la etapa de desbellote.
2. La materia prima fue lavada con agua purificada, eliminándose impurezas y material no deseado.
3. Las partes vegetativas fueron picadas y pesadas; asimismo, se midieron el volumen de agua y la cantidad de aditivos según la formulación establecida.
4. Se trabajó con una unidad experimental de 5.464,00 g, compuesta por 4.000 mL de agua, 1.000 g de azúcar, 300 g de pulpa de plátano barraganete (*Musa AAB*), 100 g de material vegetativo empleado como clarificante y 10 g de ácido cítrico, garantizando una mezcla homogénea.
5. La formulación fue sometida a pasteurización a 85 °C durante 30 minutos y posteriormente enfriada hasta alcanzar 35 °C.
6. Una vez alcanzada esta temperatura, se incorporaron 14 g de levadura *Saccharomyces cerevisiae* y se realizó la homogenización del sustrato.
7. Todos los recipientes, materiales y equipos fueron previamente esterilizados, y se utilizó equipo de protección personal para evitar contaminaciones microbianas que pudieran alterar el sustrato.
8. El sustrato preparado fue colocado en los biorreactores, donde se inició el proceso fermentativo.
9. La fermentación y maduración se desarrollaron durante un período de 21 días.
10. Al finalizar el proceso, se realizó la separación de la fracción líquida y sólida del mosto.

11. Durante el proceso fermentativo se efectuó la medición de las variables fisicoquímicas establecidas en el estudio.
12. Finalmente, el producto obtenido fue envasado en botellas de vidrio de 750 mL, previamente esterilizadas, selladas con corcho, protegidas con estuche y correctamente etiquetadas.

CAPÍTULO IV

4.1 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

La propuesta consistió en el diseño e implementación de un sistema experimental de valorización de residuos agroindustriales, basado en el aprovechamiento de la cáscara de plátano (*Musa AAB*) como sustrato para la producción de ácido acético, mediante un proceso controlado de fermentación alcohólica y acética en condiciones de laboratorio.

El sistema se estructuró en cuatro tratamientos experimentales, diferenciados por el tipo de microorganismos empleados: levadura (*Saccharomyces* sp.), kéfir, kombucha y una combinación de estos cultivos, con el propósito de evaluar su influencia en el comportamiento fermentativo y en las características fisicoquímicas del producto obtenido (Díaz et al., 2020).

El proceso inició con la preparación del sustrato base, a partir de cáscaras de plátano previamente lavadas, troceadas y mezcladas con agua potable y sacarosa, ajustando el contenido de sólidos solubles y el pH inicial del medio. Este sustrato fue sometido a una fermentación alcohólica, en la cual la levadura *Saccharomyces cerevisiae* transformó los azúcares fermentables en etanol, generando las condiciones necesarias para la etapa posterior.

Como parte del sistema propuesto, se incluyó un proceso de destilación del sustrato fermentado, con el objetivo de separar y evaluar el destilado, verificando parámetros como pH y sólidos solubles. De manera complementaria, se realizó la recolección de datos sin destilación, lo que permitió comparar el comportamiento del sustrato antes y después del tratamiento térmico. El sistema experimental integró mediciones periódicas de variables fisicoquímicas clave, tales como pH, grados Brix, contenido alcohólico y acidez, las cuales constituyeron indicadores fundamentales para evaluar la eficiencia del proceso fermentativo y la calidad del ácido acético obtenido.

Figura 2. *Refractómetro digital utilizado para la determinación de sólidos solubles (°Brix) en los sustratos fermentados*



4.2 Diseño y selección de tecnologías a implementar

El diseño y la selección de las tecnologías a implementar se basaron en criterios de eficiencia operativa, control del proceso fermentativo, reproducibilidad experimental y adecuación a condiciones de laboratorio, con el objetivo de optimizar la producción de ácido acético a partir de cáscara de plátano (*Musa* AAB). Las tecnologías seleccionadas permitieron controlar de manera precisa las variables críticas del proceso, tales como pH, sólidos solubles, concentración alcohólica, temperatura y oxigenación, garantizando condiciones homogéneas durante las diferentes etapas experimentales (Piñero et al., 2010).

a) Tecnología de control fisicoquímico

Para el monitoreo del proceso se emplearon instrumentos de medición específicos, tales como pH-metro calibrado, refractómetro y alcoholímetro/densímetro, los cuales permitieron registrar de manera periódica los cambios en pH, grados Brix y contenido alcohólico. Esta tecnología fue fundamental para verificar el consumo de azúcares, la generación de etanol y la posterior acidificación del medio durante las fases alcohólica y acética.

b) Tecnología de fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica se desarrolló mediante la inoculación de *Saccharomyces cerevisiae*, microorganismo seleccionado por su alta eficiencia en la conversión de azúcares fermentables en etanol. El uso de esta tecnología biológica permitió generar el sustrato alcohólico necesario para la etapa acética, manteniendo condiciones controladas de pH y temperatura que favorecieron el crecimiento de la levadura y minimizaron contaminaciones indeseadas.

c) Tecnología de fermentación acética

Para la fermentación acética se implementó el uso de cultivos simbióticos como kombucha y kéfir, los cuales aportaron bacterias acéticas del género *Acetobacter* y *Komagataeibacter*. Esta tecnología permitió la oxidación biológica del etanol a ácido acético, favorecida por condiciones controladas de oxigenación y acidez, fortaleciendo la eficiencia del proceso y la calidad del producto final.

d) Tecnología de destilación

Como parte del sistema propuesto se incorporó una tecnología de destilación convencional, utilizada para la separación del destilado y la evaluación fisicoquímica posterior. El destilador permitió trabajar con volúmenes estandarizados de 500 mL de sustrato

fermentado, aplicando temperaturas controladas entre 70 y 90 °C. Esta tecnología facilitó la recolección del destilado y la verificación de parámetros como pH y °Brix, asegurando la ausencia de azúcares residuales en el producto obtenido.

3.2.1. Descripción del fermentador

El fermentador utilizado en la investigación correspondió a un fermentador batch de acero inoxidable con capacidad nominal de 100 litros, diseñado para procesos de fermentación líquida bajo condiciones controladas. El equipo presentó una estructura cilíndrica vertical, montada sobre un soporte metálico elevado, lo que proporcionó estabilidad mecánica y facilitó las labores de operación, muestreo y limpieza.

El cuerpo del fermentador fue fabricado en acero inoxidable, material seleccionado por su resistencia a la corrosión, inercia química y facilidad de higienización, características esenciales para procesos de fermentación alcohólica y acética. El equipo contó con una tapa hermética, la cual permitió un cierre adecuado del sistema, reduciendo el riesgo de contaminación externa y asegurando condiciones controladas durante el proceso fermentativo.

El equipo fue empleado en modo de fermentación discontinua (batch), lo que permitió el desarrollo de los diferentes tratamientos experimentales bajo condiciones homogéneas. Su capacidad de 100 L posibilitó trabajar con volúmenes suficientes para asegurar la representatividad del proceso, así como para realizar evaluaciones fisicoquímicas posteriores, incluyendo mediciones de pH, sólidos solubles y contenido alcohólico.

Figura 3. *Fermentador batch de acero inoxidable de 100 L con tapa hermética y válvulas de entrada y salida*



Tabla 5. *Costos de implementación del sistema experimental*

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total (USD)
Fermentador batch de acero inoxidable (100 L) con tapa hermética y válvulas de entrada y salida	unidad	1	450	450
Gas para calentamiento (tanques)	tanque	4	3	12
Levadura comercial (<i>Saccharomyces</i> sp.)	paquete	1	1,5	1,5
Azúcar (sacarosa)	kg	1	3	3
Total de costos directos				466,5

El costo total real del sistema experimental para la producción de ácido acético a partir de cáscara de plátano (*Musa AAB*) fue de USD 466,50, de los cuales se imputó únicamente el 50 %, equivalente a USD 233,25, debido al uso compartido de equipos e insumos. El fermentador batch de acero inoxidable de 100 L concentró la mayor carga económica, representando aproximadamente el 96,5 % del costo total, dado que constituyó el equipo principal para las etapas de fermentación alcohólica y acética. Los costos operativos tuvieron una incidencia marginal: el consumo de gas para la destilación representó alrededor del 2,6 %, mientras que los insumos fermentativos, correspondientes a levadura comercial (*Saccharomyces* sp.) y sacarosa, aportaron en conjunto menos del 1 % del presupuesto total.

4.3 Plan de implementación

Tabla 6. *Preparación del sustrato y acondicionamiento del mosto*

Etapas del proceso	Descripción técnica
Preparación del sustrato lignocelulósico	Se fraccionaron 200 g de cáscara de plátano verde (<i>Musa AAB</i>) por unidad experimental, reduciendo el tamaño de partícula para incrementar el área superficial y favorecer la liberación de carbohidratos fermentables.
Tratamiento térmico	Se adicionaron 3 L de agua potable por unidad y se sometió el sistema a calentamiento hasta 80 °C, con el objetivo de ablandar la matriz vegetal, solubilizar azúcares y reducir la carga microbiana contaminante.
Enriquecimiento carbonado	Se incorporaron 200 g de sacarosa por unidad durante la ebullición, incrementando el potencial fermentativo del mosto.
Reposo térmico	El mosto fue transferido a los tachos y se dejó reposar durante 20 min para estabilizar la temperatura.
Ajuste de acidez	Se adicionaron 10 g de ácido cítrico por unidad para favorecer la selectividad microbiana y prevenir el desarrollo de microorganismos

Etapas del proceso	Descripción técnica
	indeseados.
Enfriamiento controlado	El sustrato se enfrió hasta un rango de 30–40 °C, temperatura óptima para la inoculación de levaduras.
Caracterización inicial	Se determinaron pH (2,87–2,80) y sólidos solubles (7,1 °Brix), estableciendo la línea base del proceso.
Inoculación alcohólica	Se adicionaron 25 mL de levadura activada (<i>Saccharomyces</i> sp.) en los tratamientos correspondientes.
Cierre del sistema	Los tachos fueron sellados e implementados con sistema de liberación de CO ₂ mediante botellas y mangueras, permitiendo fermentación anaeróbica controlada.

Tabla 7. Seguimiento cinético de la fermentación alcohólica y transición acética

Parámetro	Resultado técnico
Retiro del sistema anaeróbico	Se eliminó el sistema de liberación de gases para permitir transición a condiciones parcialmente aeróbicas.
Reemplazo del material de sellado	Se colocó lienzo respirable, favoreciendo la difusión de oxígeno.
Muestreo fermentativo	Se extrajeron 500 mL por unidad experimental para análisis.
Concentración alcohólica	El mosto alcanzó un promedio de 7 % v/v de etanol, evidenciando una fermentación alcohólica eficiente.
Consumo de azúcares	Los sólidos solubles disminuyeron a 2,4 °Brix, indicando conversión metabólica de carbohidratos.
Evolución del pH	El pH descendió a 3,03, reflejando acumulación de ácidos orgánicos.
Inoculación acética	Se adicionaron 10 g de kombucha en los tratamientos correspondientes para iniciar la oxidación biológica del etanol.

Tabla 8. Refuerzo microbiano y estabilización del proceso acético

Etapas	Descripción técnica
Inoculación con kéfir	Se adicionaron 5 g de kéfir en los tratamientos respectivos, aportando bacterias ácido-lácticas y acéticas.
Activación de levadura	Se preparó un cultivo iniciador con 100 mL de agua y sacarosa, estimulando la viabilidad celular.
Refuerzo alcohólico	Se incorporaron 250 g de levadura por unidad experimental en los tratamientos con <i>Saccharomyces</i> , asegurando disponibilidad de etanol residual para la fermentación acética.

Tabla 9. Destilación y control fisicoquímico final

Etapas	Descripción técnica
Ensamblaje del sistema	Se armó un destilador convencional, verificando la hermeticidad del sistema.
Carga del destilador	Se introdujeron 500 mL de sustrato fermentado por ensayo.
Evaporación controlada	Se aplicó calentamiento gradual entre 70–90 °C, favoreciendo la volatilización selectiva.
Condensación	El serpentín se mantuvo sumergido en agua para maximizar la eficiencia de condensación.
Recolección del destilado	El condensado fue colectado en probeta graduada.
Control de calidad	El pH del destilado no superó 4 y los °Brix se mantuvieron cercanos a 0, confirmando ausencia de azúcares residuales.
Envasado	El producto fue envasado para su conservación y posterior análisis normativo.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

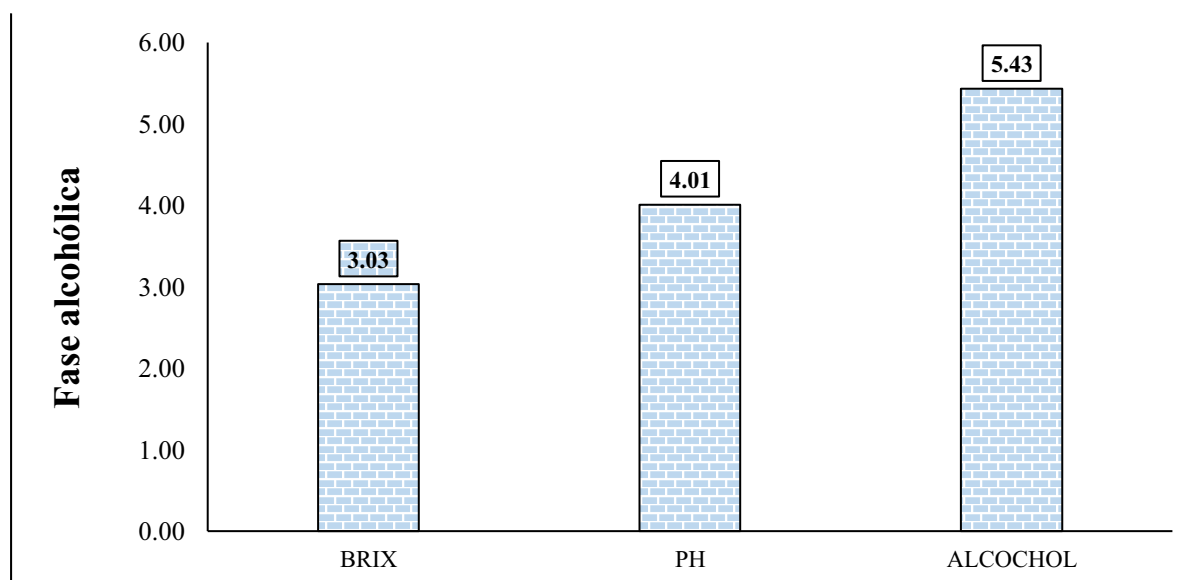
5.1 Fase alcohólica

5.1.1 Comportamiento de los sólidos solubles (°Brix), pH y contenido alcohólico de la cáscara de plátano durante la fase alcohólica

Durante la fase alcohólica del proceso fermentativo se evidenció una disminución del contenido de sólidos solubles, registrándose un valor promedio de 3,03 °Brix, lo que indicó un consumo significativo de azúcares fermentables por la actividad metabólica de las levaduras.

El pH promedio de 4,01 reflejó una ligera acidificación del medio, asociada a la formación de metabolitos secundarios durante la fermentación, manteniéndose dentro de un rango favorable para la actividad de *Saccharomyces cerevisiae* y para la posterior transición hacia la fase acética. En cuanto al contenido de alcohol, se alcanzó un valor promedio de 5,43 %, lo que evidenció una eficiente conversión de azúcares en etanol.

Figura 4. Comportamiento de los sólidos solubles (°Brix), pH y contenido de alcohol durante la fase alcohólica de la fermentación de la cáscara de plátano (*Musa AAB*)



La investigación realizada por Prisacaru et al. (2021) reportó que los vinagres elaborados de cáscara de plátano presentaron valores de extracto seco más bajos que los vinagres comerciales tradicionales y demostraron alta actividad antioxidante y contenido de

polifenoles, lo cual sugiere que esta materia prima residual puede producir ácido acético con propiedades bioactivas comparables a productos comercial.

Melgarejo et al. (2024), han obtenido vinagre con acidez de hasta 6 % (v/v) utilizando plátanos maduros fermentados con *Saccharomyces cerevisiae* y bacterias acéticas, destacando que la etapa alcohólica produce niveles de etanol adecuados para la conversión acética en periodos prolongados de fermentación.

5.2 Fase Acética

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

Se encontró que sí existieron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados para el contenido de sólidos solubles (°Brix), con un valor de $p = 0,0348$ y un coeficiente de variación de 22,65 %, lo que indicó una variabilidad aceptable para procesos fermentativos con sustratos de origen agroindustrial. El tratamiento T3 (Kéfir) presentó la media más alta, con un valor de $1,30 \pm 0,24$ °Brix, seguido por el tratamiento T2 (Kéfir + Levadura + Kombucha), que registró $1,07 \pm 0,24$ °Brix. En contraste, las medias más bajas correspondieron a los tratamientos T4 (Kombucha) y T1 (Levadura), con valores de $0,77 \pm 0,24$ °Brix y $0,73 \pm 0,24$ °Brix, respectivamente, evidenciando un mayor consumo de azúcares fermentables en estos tratamientos.

Tabla 10. Efecto de los tratamientos microbianos sobre el contenido de sólidos solubles (°Brix, %) del sustrato fermentado

Tratamiento	Medias	E.E.	
T3 Kéfir	1,3	0,24	a
T2 Kéfir + Levadura + Kombucha	1,07	0,24	a
T4 Kombucha	0,77	0,24	a
T1 Levadura	0,73	0,24	a
p-valor			0,0348
CV (%)			22,65

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

Resultados similares fueron reportados por en estudios sobre fermentación acética, donde se observó que los tratamientos con consorcios microbianos complejos presentaron valores residuales de sólidos solubles más elevados en comparación con fermentaciones dominadas únicamente por *Saccharomyces cerevisiae* (Viñamagua,2022).

Benalcázar et al. (2020), reportó valores finales de °Brix entre 1,0 y 1,5 %, atribuidos a una competencia metabólica entre levaduras y bacterias acéticas.

De acuerdo con Marsh et al. (2014), quienes caracterizaron microbiológicamente fermentaciones de kombucha y kéfir, los sistemas que incluyen bacterias ácido-lácticas y acéticas suelen presentar mayores concentraciones residuales de carbohidratos, debido a que parte de los azúcares es desviada hacia la producción de ácidos orgánicos, polisacáridos y biomasa microbiana.

5.2.1 Contenido de potencial de hidrogeno pH

Se encontró que existieron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados para el potencial de hidrógeno (pH), con un valor de $p = 0,0023$ y un coeficiente de variación de 13,81 %, lo que indicó una variabilidad baja a moderada y una adecuada precisión experimental. El tratamiento T3 (Kéfir) presentó la media más alta, con un valor de $4,66 \pm 0,35$, seguido por el tratamiento T2 (Kéfir + Levadura + Kombucha), que registró $4,51 \pm 0,35$, ubicándose en un grupo estadístico intermedio. Por su parte, los valores más bajos de pH correspondieron a los tratamientos T4 (Kombucha) y T1 (Levadura), con medias de $4,42 \pm 0,35$ y $3,78 \pm 0,35$, respectivamente, evidenciando una mayor acidificación del medio asociada a la actividad fermentativa y a la producción de ácidos orgánicos.

Tabla 11. Efecto de los tratamientos microbianos sobre el potencial de hidrógeno (pH) del sustrato fermentado

Tratamiento	Medias	E.E.	
T3 Kéfir	4,66	0,35	a
T2 Kéfir + Levadura + Kombucha	4,51	0,35	ab
T4 Kombucha	4,42	0,35	b
T1 Levadura	3,78	0,35	b
p-valor			0,0023
CV (%)			13,81

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

Resultados comparables fueron reportados por Marsh et al. (2014) al evaluar fermentaciones con kombucha y cultivos simbióticos, donde se observaron valores finales de pH entre 4,0 y 4,8, dependiendo de la composición microbiana y del tiempo de fermentación.

En estudios sobre fermentación alcohólica con *Saccharomyces cerevisiae*, Viñamagua, (2022), señaló que la actividad metabólica de la levadura genera una disminución progresiva

del pH, asociada a la producción de ácidos orgánicos secundarios y compuestos derivados del metabolismo del etanol.

5.3 Rendimiento

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

Los resultados correspondientes a los sólidos solubles (°Brix), pH y volumen destilado evidenciaron un comportamiento diferenciado entre los tratamientos evaluados. El Tratamiento 1 (Levadura *Saccharomyces sp.*) presentó el mayor contenido de sólidos solubles residuales (0,7 °Brix) y el menor volumen destilado (107 mL), lo que indicó una conversión limitada del sustrato durante el proceso fermentativo.

En contraste, el Tratamiento 2 (Mixto) registró un contenido reducido de sólidos solubles (0,5 °Brix), un pH más bajo (3,58) y un volumen destilado elevado (304 mL), lo que evidenció una mayor eficiencia en la transformación del sustrato. El Tratamiento 3 (Kéfir) mostró el menor valor de °Brix (0,1), acompañado de un pH de 3,88 y un volumen destilado de 305 mL, reflejando un consumo casi total de los sólidos fermentables. Finalmente, el Tratamiento Kombucha alcanzó el mayor volumen destilado (355 mL), con valores intermedios de °Brix (0,6) y pH (3,98), lo que indicó una alta recuperación del producto final.

Tabla 12. Resultados obtenidos después del proceso de destilación de la cascara de plátano

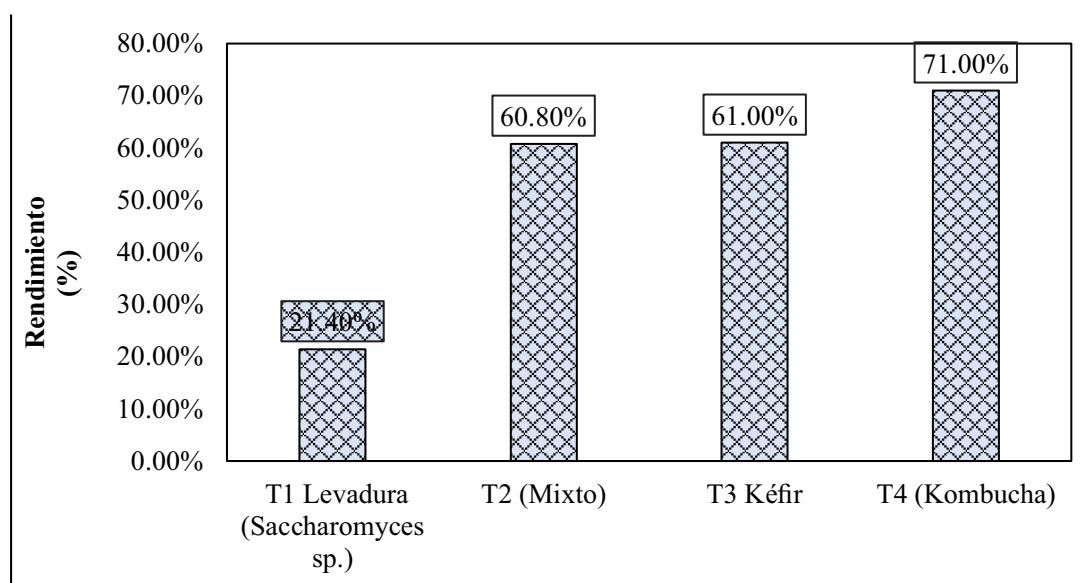
Tratamientos	Sólidos solubles (°Brix)	pH	Volumen destilado (mL)
Tratamiento 1 Levadura (<i>Saccharomyces</i>)	0,7	4,05	107ml
Tratamiento 2 (Mixto)	0,5	3,58	304ml
Tratamiento 3 Kéfir	0,1	3,88	305ml
Tratamiento 4 Kombucha	0,6	3,98	355ml

5.3.2 Rendimiento (%)

El rendimiento porcentual del destilado obtenido a partir de la fermentación de la cáscara de plátano (*Musa AAB*) mostró diferencias marcadas entre los tratamientos evaluados. El Tratamiento 1 (Levadura *Saccharomyces sp.*) presentó el menor rendimiento, con un valor de 21,40 %, evidenciando una menor eficiencia en la recuperación del producto bajo las condiciones establecidas.

En contraste, los tratamientos que incorporaron consorcios microbianos registraron rendimientos significativamente mayores. El Tratamiento 2 (Mixto) alcanzó un rendimiento de 60,80 %, mientras que el Tratamiento 3 (Kéfir) presentó un valor similar de 61,00 %, lo que indicó una mayor conversión del sustrato en producto destilado. El Tratamiento 4 (Kombucha) destacó como el más eficiente, al registrar el mayor rendimiento porcentual (71,00 %), reflejando una superior recuperación del destilado en comparación con los demás tratamientos.

Figura 5. Rendimiento porcentual del destilado obtenido durante la fermentación acética de la cáscara de plátano (*Musa AAB*) bajo diferentes tratamientos microbianos



Este comportamiento fue consistente con lo descrito para la fermentación de la cáscara de plátano, caracterizado por una elevada actividad microbiana y una rápida transformación de azúcares en metabolitos fermentativos (Intriago-Ponce et al., 2019).

5.4 Análisis de costos

El tratamiento con kéfir presentó el menor costo total de producción (8,60 USD); sin embargo, registró el rendimiento más bajo del destilado (21,40 %). Este comportamiento indicó que, aunque el uso de kéfir reduce los costos operativos, su eficiencia para la conversión del sustrato en producto final fue limitada bajo las condiciones evaluadas, lo que disminuyó su viabilidad productiva a pesar del menor gasto económico.

El tratamiento con levadura mostró un costo de producción bajo (8,70 USD) y un rendimiento intermedio (60,80 %), evidenciando una mayor eficiencia en comparación con el

tratamiento con kéfir. La utilización exclusiva de *Saccharomyces* sp. permitió una conversión más efectiva del sustrato, manteniendo costos controlados, lo que posicionó a este tratamiento como una alternativa viable desde el punto de vista técnico–económico.

El tratamiento con kombucha presentó un costo intermedio (10,10 USD), pero alcanzó el mayor rendimiento porcentual del destilado (71,00 %). Estos resultados indicaron una alta eficiencia del proceso fermentativo, atribuida a la acción del consorcio microbiano presente en la kombucha, el cual favoreció la conversión del sustrato y la recuperación del producto, compensando el mayor costo inicial con un mejor desempeño productivo.

El tratamiento mixto registró el mayor costo total (11,20 USD) y un rendimiento elevado (61,00 %). Aunque su desempeño fue superior al de los tratamientos con kéfir y levadura, no superó el rendimiento alcanzado por la kombucha. Esto evidenció que la combinación de inóculos incrementó los costos sin generar una mejora proporcional en la eficiencia del proceso, lo que redujo su competitividad frente al tratamiento con kombucha.

Tabla 13. *Costos de producción por tratamiento en la fermentación acética de la cáscara de plátano*

Tratamientos	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
Búlgaros de agua (Kéfir)	0,50	—	—	—
Kombucha	—	—	2,00	—
Kombucha + Levadura + Kéfir	—	—	—	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
Total (USD)	8,60	8,70	10,10	11,20

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

A partir de la fermentación alcohólica y acética de la cáscara de plátano (*Musa AAB*), se obtuvo ácido acético con características fisicoquímicas propias de un vinagre. La fase alcohólica permitió generar un sustrato adecuado, con 3,03 °Brix, pH 4,01 y 5,43 % de alcohol, condiciones que favorecieron la transición hacia la fase acética. En esta etapa, el tratamiento con kombucha se destacó como el más eficiente, al presentar una adecuada acidificación del medio pH de 3,98, un bajo contenido residual de sólidos solubles 0,6 °Brix y el mayor volumen destilado 71 %.

La fermentación acética mostró un rendimiento variable según el inóculo utilizado, destacándose el tratamiento con kombucha, que alcanzó el mayor rendimiento porcentual (71,00 %), seguido por los tratamientos kéfir (61,00 %), por lo tanto, el uso de consorcios microbianos favoreció la eficiencia del proceso, obteniéndose un producto con condiciones compatibles con los parámetros generales de vinagres comerciales.

El análisis de costos evidenció que el tratamiento con kéfir presentó el menor costo de producción (8,60 USD), mientras que el tratamiento con kombucha, aunque registró un costo intermedio (10,10 USD), ofreció el mejor equilibrio entre rendimiento y eficiencia productiva.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda emplear kombucha como inóculo principal en la fermentación acética de la cáscara de plátano (*Musa AAB*), debido a su mayor eficiencia en la conversión del etanol en ácido acético y su mayor rendimiento porcentual.
- Se sugiere optimizar y estandarizar las condiciones de la fase alcohólica (°Brix inicial, pH y tiempo de fermentación), con el fin de garantizar un sustrato alcohólico adecuado que favorezca la eficiencia de la fermentación acética.
- Se recomienda realizar evaluaciones a mayor escala y análisis costo–beneficio, considerando que el tratamiento con kombucha presentó el mejor equilibrio entre rendimiento y costo de producción, lo que permitiría determinar su viabilidad técnica y económica a nivel productivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adebayo-Oyetoro, A., Adenubi, E., & Ogundipe, O. (2017). Production and quality evaluation of vinegar from mango. *Cogent Food & Agricultura*, 3(1), 4-8.
- agrocalidad. (2024). *MUSÁCEAS – Servicios*. <https://www.agrocalidad.gob.ec/Musaceas/>
- Badanayak, P., Jose, S., & Bose, G. (2023). Banana pseudostem fiber: A critical review on fiber extraction, characterization, and surface modification. *Journal of Natural Fibers*. (world). <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15440478.2023.2168821>
- Benalcázar, Mora, M. A., Ponce, & Zambrano Llaguno, S. S. (2020). *Evaluación del Proceso de Obtención de Vinagre a Partir de: Piña (Ananas Comosus), Plátano (Musa paradisiaca L) en la Zona de Santo Domingo de los Tsáchilas*.
- Bertan, F. A. B., da Silva Pereira Ronning, E., Marchioro, M. L. K., Oldoni, T. L. C., Dekker, R. F. H., & da Cunha, M. A. A. (2022). Valorization of pineapple processing residues through acetification to produce specialty vinegars enriched with red-Jambo extract of *Syzygium malaccense* leaf. *Scientific Reports*, 12, 19384. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23968-2>
- Briones, E. E. (2022). *Factores que inciden en la variación del precio de la caja de plátano barraganete (Musa paradisiaca) de exportación en el Cantón El Carmen*. [Tesis de Grado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/5174>
- 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>
- Carrillo González, G., & Pomar Fernández, S. (2021). La economía circular en los nuevos modelos de negocio. *Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento*, 9(23).
- Causado Rodríguez, E., & Reatiga Charris, I. (2013). Cadena logística de subproductos residuales en la industria de tajada de plátano para exportación. *Dimensión Empresarial*, 11(2), 9-16.
- Cedeño-Zambrano, J. R., García-Párraga, J. V., Solórzano-Cobeña, C. M., Jiménez-Flores, L. A. J., Ulloa-Cortazar, S. M., López-Mejía, F. X., Avellán-Vásquez, L. E., Bracho-Bravo, B. Y., & Sánchez-Urdaneta, A. B. (2022). Fertilización con magnesio en plátano ‘Barraganete’(Musa AAB) Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 35(1), 8-19.

- Cevallos, G. J. (2022). *Obtención de ácido acético a partir de plátano (Musa AAB), El Carmen, Manabí*. [Tesis de Grado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/5153>
- Cevallos Zambrano, G. J. (2022). *Obtención de ácido acético a partir de plátano (Musa AAB), El Carmen, Manabí*. [Tesis de Grado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/5153>
- Chinga, A. E. P., Aldaz, J. C. C., Carrillo, V. O. R., & More, M. J. M. (2018). Los efectos de la pymes en el desarrollo socio-económico en la producción de plátano barraganete en el Ecuador. *Ciencia Digital*, 2(1), 317-332.
- 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.
- Cuesta Salinas, J. E., & Muñoz Cajamarca, S. M. (2024). *Obtención de vinagre a través de la fermentación con base en el Orito (Musa Acuminata. AA) en sus diferentes etapas de maduración y su aplicación gastronómica* [Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/45318>
- Díaz, J. F. M., Bazán, E. L. U., Manchay, R. D., & Cruz, L. D. R. (2020). Análisis de la concentración de ácido acético de seis marcas de vinagre de manzana. *Medicina naturista*, 14(2), 79-83.
- FAO. (2020). *The State of Food and Agriculture 2020: Overcoming water challenges in agriculture*. UN-Water. <https://www.unwater.org/news/state-food-and-agriculture-2020-overcoming-water-challenges-agriculture>
- Garabiza, B., Prudente, E., & Quinde, K. (2021). La aplicación del modelo de economía circular en Ecuador: Estudio de caso. *Revista espacios*, 42(02), 222-237.
- García, I. (2017). *Determinación de concentración óptima de ácido acético-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de cáscara de plátano (Musa paradisiaca) en Pucallpa* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ucayali]. <https://hdl.handle.net/20.500.14621/3626>
- Gómez Álvarez, G., & Martín Rodríguez, G. (2021). *Obtención artesanal de bioetanol mediante desechos de la cáscara de plátano* [Tesis de Ingeniería, Fundación Universidad de América]. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8687>
- González Arcos, P. B. (2015). *Producción y micro-escalado de vinagre a partir de residuos vegetales de plátano (Musa Paradisiaca) para su aplicación como bactericida orgánico*

- en agricultura* [bachelorThesis, Quito: Universidad de las Américas, 2015].
<http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/4628>
- González Ordaz, G. I., & Vargas-Hernández, J. G. (2017). La economía circular como factor de la responsabilidad social. *Economía coyuntural*, 2(3), 105-130.
- Herrera Sandoval, L. V., Caballero, S. G., Claro Numa, A., Torres Pinzón, H., & Martínez López, C. A. (2012). Actividad antimicrobiana del ácido acético 5% y el cepillo Colgate 360° antibacterial®: Un estudio in vitro. *Rev. Fac. Odontol. Univ. Antioq*, 62-75.
- INEC. (2003). *NTE INEN 2296: Requisitos Técnicos para el Vinagre en Ecuador*. Norma Técnica Ecuatoriana. <https://www.studocu.com/bo/document/universidad-del-valle/quimica-organica-de-los-procesos-bioquimicos-i/norma-para-vinagre/90119293>
- INEC. (2024). *Estadísticas Agropecuarias* [Estadísticas Agropecuarias]. SUPERFICIE CON USO AGROPECUARIO. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Intriago-Ponce, M., López-Zambrano, L., Loor-García, C., Mayorga-Zambrano, J., & Zambrano-Zambrano, G. (2019). EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE VINAGRE OBTENIDO DE LAPULPA DE BANANO (*MUSA PARADISIACA*) MEDIANTE FERMENTACIÓN BIFÁSICA ALCOHÓLICA Y ACÉTICA. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN*, 3(5), 19-30.
- Lara-García, S., Vera-Aviles, D., Cabanilla-Lamulle, M., & González-Osorio, B. (2021a). Desarrollo comunitario: Producción de Musácea en dos zonas de la costa ecuatoriana. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, 27(Esp.3), 340-354.
- Lara-García, S., Vera-Aviles, D., Cabanilla-Lamulle, M., & González-Osorio, B. (2021b). Desarrollo comunitario: Producción de Musácea en dos zonas de la costa ecuatoriana. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, 27(Esp. 3), 340-354.
- Liu, D., Hu, Z., Li, M., Han, B., Liang, Y., Hayat, M. D., Sun, Y., Jin, D., Li, J., & Wang, B. (2024). Synergistic effect on corrosion behavior of X80 steel influenced by *Pseudomonas aeruginosa* and *Acetobacter aceti*. *Separation and Purification Technology*, 351, 128135.
- López, C. P., García, D. S. D. de, & Cardozo, K. G. G. (2024). Producción de Vinagre a Partir de Banana (*Musa Paradisiaca*) y los Efectos Económicos. *Revista Científica de la Universidad Nacional de Villarrica del Espíritu Santo*, 8(1), 31-52.
- Luján, M. D. R. M., Munguía, A. R., & Inungaray, M. L. C. (2018). Aprovechamiento de subproductos agronómicos. *Tlatemoani: revista académica de investigación*, 9(29), 115-127.

- Macay, M. A., Moreira, A. A. C., Mendoza, M. E. Z., & Vera, J. V. I. (2023). Uso de Raquis de Plátano (*Musa AAB*) para la Producción de Ensilaje Como Estrategia de Economía Circular. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), 4848-4862. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.8074
- Marsh, A. J., O'Sullivan, O., Hill, C., Ross, R. P., & Cotter, P. D. (2014). Sequence-based analysis of the bacterial and fungal compositions of multiple kombucha (tea fungus) samples. *Food microbiology*, 38, 171-178.
- Martínez, A. N., & Porcelli, A. M. (2018). Estudio sobre la economía circular como una alternativa sustentable frente al ocaso de la economía tradicional (primera parte). *Lex: Revista de la Facultad de Derecho y Ciencia Política de la Universidad Alas Peruanas*, 16(22), 301-334.
- Melgarejo, C. P. L., de García, D. S. D., & Cardozo, K. G. G. (2024). Producción de Vinagre a Partir de Banana (*Musa Paradisiaca*) y los Efectos Económicos. *Revista Científica de la Universidad Nacional de Villarrica del Espíritu Santo*, 8(1), 31-52.
- Meneses, M. M., Agatón, L. L., Gutiérrez, L. F. M., Mendieta, L. E. G., & Botero, J. D. (2010). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de Caldas. *Revista Digital Educación en Ingeniería*, 5(9), 128-139.
- Mitina, I., Grajdieru, C., Sturza, R., Mitin, V., Rubtov, S., Balanuta, A., Behta, E., Deaghileva, A., Inci, F., & Haciosmanoğlu, N. (2025). Molecular Detection of *Acetobacter aceti* and *Acetobacter pasteurianus* at Different Stages of Wine Production. *Foods*, 14(1), 132.
- Mondragón-García, J. M., Serna-Jiménez, J. A., García-Alzate, L. S., Jaramillo-Echeverry, L. M., Mondragón-García, J. M., Serna-Jiménez, J. A., García-Alzate, L. S., & Jaramillo-Echeverry, L. M. (2018). Caracterización fisicoquímica de los subproductos cáscara y vástago del plátano Dominico hartón. *Revista ION*, 31(1), 21-24. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018003>
- Ortiz-Ulloa, J. A., Abril-González, M. F., Pelaez-Samaniego, M. R., & Zalamea-Piedra, T. S. (2021). Biomass yield and carbon abatement potential of banana crops (*Musa* spp.) in Ecuador. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(15), 18741-18753.
- Piñero, R., Piñero A, R., & Brunni, F. (2010). Utilidad del ácido acético en la endoscopia del esófago. *Gen*, 64(4), 339-341.
- Porcelli, A. M., & Martínez, A. N. (2018). Análisis legislativo del paradigma de la economía circular. *Revista Direito GV*, 14(3), 1067-1105.
- Prisacaru, A. E., Ghinea, C., Apostol, L. C., Ropciuc, S., & Ursachi, V. F. (2021). Physicochemical Characteristics of Vinegar from Banana Peels and Commercial

- Vinegars before and after In Vitro Digestion. *Processes*, 9(7), 1193.
<https://doi.org/10.3390/pr9071193>
- Raudales-García, E. V., Acosta-Tzin, J. V., & Aguilar-Hernández, P. A. (2024). Economía circular: Una revisión bibliométrica y sistemática. *Región científica*, 3(1), 2024192-2024192.
- Rojas Arenas, I. D., Durango Marín, J. A., & Rentería Vera, J. A. (2020). Investigación formativa como estrategia pedagógica: Caso de estudio ingeniería industrial de la IU Pascual Bravo. *Estudios pedagógicos (Valdivia)*, 46(1), 319-338.
- Rosado Flores, M. J., Ocon Roncal, R. E., Navarrete Mejía, P. J., & Loayza Alarico, M. J. (2017). Utilidad de la citología e inspección visual con ácido acético en la detección de lesiones neoplásicas de cuello uterino Centro Médico Oncomujer 2013-2014. Lima, Perú. *Horizonte Médico (Lima)*, 17(4), 15-18.
- Santos, G. C. dos, Júnior, U. G. da S., Neto, J. A. da F., & Filho, E. V. de C. (2008). Método alternativo de produção de vinagre com reaproveitamento de cascas de frutas. *Revista Principia*, (16), 62-67. <https://doi.org/10.18265/1517-03062015v1n16p62-67>
- Tafawa, I., Misau, A., & Mohammed, J. (2011). (PDF) Production of vinegar from pineapple peel. *REVISTA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA AVANZADA Y TECNOLOGÍA*, 2(3), 656-661.
- Toledo, L., Chiguano, R. L. C., & Salazar, O. V. (2023). Influencia de la agricultura en la economía y su contraste frente a los objetivos de desarrollo sostenible: Caso Ecuador. *Universidad-Verdad*, (83), 28-49.
- Viñamagua. (2022). *Formulación de un potenciador de sabor para carnes rojas a partir de vinagre de banano (Musa paradisiaca) y harina de camarón (Litopenaeus vannamei)* [Tesis de grado]. Universidad Agraria del Ecuador.
- Yasmin, S., Emon, D. D., Rana, J., Ferdoush, Z., Fahad, Z. H., & Aziz, M. G. (2025). Conversion of coconut water to vinegar by acetic acid bacteria isolated from fruit waste: A two-stage fermentation and quality analysis. *Applied Food Research*, 5(2), 101319. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101319>
- Zaini, H. M., Saallah, S., Roslan, J., Sulaiman, N. S., Munsu, E., Wahab, N. A., & Pindi, W. (2023). Banana biomass waste: A prospective nanocellulose source and its potential application in food industry – A review. *Heliyon*, 9(8), e18734. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18734>

ANEXOS

Anexo 1. *Medición del volumen del destilado obtenido a partir del sustrato fermentado de cáscara de plátano (Musa AAB) mediante probeta graduada*



Anexo 2. *Determinación del contenido alcohólico del sustrato fermentado utilizando alcoholímetro durante la fase de evaluación fisicoquímica*



Anexo 3. *Medición del contenido alcohólico del mosto de cáscara de plátano (Musa AAB) mediante alcoholímetro previo al proceso de destilación*



Anexo 4. *Registro de la temperatura del sustrato durante el tratamiento térmico utilizando termómetro digital de inmersión*



Anexo 5. *Disposición de las unidades experimentales (tachos) correspondientes a los diferentes tratamientos fermentativos evaluados*



Anexo 6. Certificado de similitud

1716321367