


| | | | | |
|---|---|-----------------------|------------|----------|
|  | UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA | | | |
| | Documento | Código | Fecha | Revisión |
| FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO | | F-AC-DBL-007 | 08-07-2021 | B |
| DIVISIÓN DE BIBLIOTECA | | Dependencia | Aprobado | Pág. |
| | | SUBDIRECTOR ACADEMICO | | 1(1) |

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

| | | | |
|---|--|------------------|---------|
| AUTORES | Sharon Michell Claro Guerrero | | |
| FACULTAD | Ingeniería | | |
| PLAN DE ESTUDIOS | Ingeniería Mecánica | | |
| DIRECTOR | Carolina Abril Carrascal | | |
| TÍTULO DE LA TESIS | Evaluación fisicoquímica del bioetanol obtenido del mucilago de café de la especie <i>coffea arábica</i> de la vereda las Acacias en Pueblo Nuevo, Norte de Santander; para aumentar la sostenibilidad del beneficiadero | | |
| TITULO EN INGLES | Physicochemical evaluation of bioethanol obtained from coffee mucilage of the Arabica coffee species from the Las Acacias village in Pueblo Nuevo, Norte de Santander; to increase the sustainability of the mill | | |
| RESUMEN (70 palabras) | | | |
| La investigación evalúa la obtención de bioetanol del mucilago de café en la finca Las Acacias en Pueblo Nuevo, Norte de Santander. Se estudiaron parámetros de fermentación, destacando la importancia de azúcares fermentables, pH, pasteurización y temperatura. La propagación de levadura y la hidrólisis enzimática son fundamentales en el proceso de obtención. El proyecto puede generar ganancias anuales de \$10,875,750, respaldando su viabilidad económica y sostenibilidad al reducir la contaminación y contribuir al desarrollo rural. | | | |
| RESUMEN EN INGLES | | | |
| The research evaluates the obtaining of bioethanol from coffee mucilage on the Las Acacias farm in Pueblo Nuevo, Norte de Santander. Fermentation parameters were studied, highlighting the importance of fermentable sugars, pH, pasteurization and temperature. Yeast propagation and enzymatic hydrolysis are essential in the production process. The project can generate annual profits of \$10,875,750, supporting its economic viability and sustainability by reducing pollution and contributing to rural development. | | | |
| PALABRAS CLAVES | Biocombustibles; bioetanol; biomasa; mucilago de café. | | |
| PALABRAS CLAVES EN INGLES | Biofuels; bioethanol; biomass; coffee mucilage. | | |
| CARACTERÍSTICAS | | | |
| PÁGINAS: 86 | PLANOS: | ILUSTRACIONES:32 | CD-ROM: |



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88
 atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

Evaluación fisicoquímica del bioetanol obtenido a partir del mucílago de la especie *coffea arábica* de la vereda las Acacias en Pueblo Nuevo, Norte de Santander; para aumentar la sostenibilidad del beneficiadero.

Sharon Michell Claro Guerrero

Facultad de ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Mecánica

M.S.c Carolina Abril Carrascal

20 de junio del 2023

Agradecimientos

Agradezco de manera muy especial a mis padres, cuyo amor, apoyo incondicional y sacrificios han sido la fuente de mi inspiración y motivación durante todo este proceso. Sin su constante aliento, no habría llegado hasta aquí.

Agradezco también a Juan Esteban y Camilo, quienes han sido pilares fundamentales en mi vida y quienes comprendieron y compartieron mis momentos de dedicación a esta tesis. Su paciencia y comprensión fueron esenciales.

Mi gratitud se extiende hacia mi abuela Rosario, cuyas historias y sabiduría han sido una fuente inagotable de inspiración. Sus palabras de aliento y sabios consejos siempre llegaron en el momento justo.

Agradezco de manera especial a mi directora de tesis, la M.S.c Carolina Abril Carrascal, cuya orientación, dedicación y experiencia en el campo de la investigación fueron fundamentales para el éxito de este trabajo. Su apoyo constante, guía y paciencia hicieron posible este logro.

A todos los mencionados, y a todos aquellos que de una u otra forma contribuyeron a este proyecto, les expreso mi más sincera gratitud. Sin su apoyo y aliento, este trabajo no habría sido posible.

Indice

| | |
|---|----|
| Capítulo 1. Evaluación fisicoquímica del bioetanol obtenido a partir del mucílago de la especie <i>Coffea arábica</i> de la vereda Las Acacias en Pueblo Nuevo, Norte de Santander; para aumentar la sostenibilidad del beneficiadero. | 12 |
| 1.1 Planteamiento del problema..... | 12 |
| 1.2 Formulación del problema..... | 13 |
| 1.3 Objetivos..... | 14 |
| 1.3.1 Objetivo general. | 14 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 14 |
| 1.4 Justificación. | 14 |
| 1.5 Delimitaciones | 17 |
| 1.5.1 Delimitación geográfica | 17 |
| 1.5.2 Delimitación temporal..... | 17 |
| 1.5.3 Delimitación conceptual..... | 17 |
| 1.5.4 Delimitación operativa | 17 |
| Capítulo 2. Marco referencial | 18 |
| 2.1 Marco histórico..... | 18 |
| 2.1.1 A Nivel mundial..... | 18 |
| 2.1.2 Antecedentes en Colombia | 19 |
| 2.1.3 A nivel local..... | 20 |
| 2.2 Marco conceptual..... | 21 |

| | |
|--|----|
| 2.2.1 Origen del café | 21 |
| 2.2.2 Historia del café en Colombia | 21 |
| 2.2.3 Especies y variedades del Café | 22 |
| 2.2.4 Variedades del café en Colombia..... | 23 |
| 2.2.5 Producción del café en Colombia | 26 |
| 2.2.6 Beneficio del café Lavado | 28 |
| 2.2.7 Beneficio convencional del café | 31 |
| 2.2.8 Beneficio ecológico del café..... | 31 |
| 2.2.9 Beneficio ecológico del café sin vertimientos | 32 |
| 2.2.10 Mucilago de café | 32 |
| 2.2.11 Biocombustibles..... | 33 |
| 2.2.12 Bioetanol..... | 33 |
| 2.2.13 Obtención del bioetanol..... | 34 |
| 2.2.14 Productos que se obtienen de la fermentación alcohólica. | 36 |
| 2.2.15 Hidrolisis enzimática. | 37 |
| 2.2.16 Refractometría. | 37 |
| 2.2.17 Densidad..... | 38 |
| 2.2.18 Graduación alcohólica. | 39 |
| 2.3 Marco Teórico. | 41 |
| 2.3.1 Energías Renovales | 41 |
| 2.3.2 Relación de la ingeniería y el café en Colombia..... | 42 |

| | |
|--|----|
| 2.4 Marco legal..... | 44 |
| 2.4.1 Normas Respecto a la producción, calidad y comercialización del bioetanol en Colombia | 44 |
| 2.4.2 Legislación ambiental..... | 45 |
| 2.4.3 Legislación agrícola | 46 |
| 2.4.4 Legislación de investigación científica. | 46 |
| 2.5 Marco contextual | 46 |
| Capítulo 3. Diseño metodológico..... | 48 |
| 3.1 Tipo de investigación. | 48 |
| 3.2 Población y muestra | 49 |
| 3.2.1 Población | 49 |
| 3.2.2 Muestra..... | 49 |
| 3.3 Técnicas de recolección de información. | 49 |
| 3.4 Recolección de información. | 49 |
| 3.5 Cronograma De Actividades. | 50 |
| 3.6 Fases del proyecto de investigación..... | 50 |
| Capítulo 4. Desarrollo de actividades propuestas | 56 |
| 4.1 Fase I. Identificar parámetros de fermentación y características fisicoquímicas del mucilago de la especie <i>coffea arábica</i> para su futuro aprovechamiento en la generación de bioetanol en la finca las Acacias Pueblo Nuevo, Norte de Santander. | 56 |
| 4.1.1 Revisión bibliográfica. | 56 |
| 4.1.2 Identificación de las condiciones de fermentación para el mucílago..... | 57 |

| | |
|--|----|
| 4.1.3 Identificación de características fisicoquímicas como la densidad, grados brix y pH del mucilago. | 58 |
| 4.2 Fase II. Diseñar un método experimental que permita la recuperación, fermentación y destilación del mucilago para la obtención de bioetanol y su posterior caracterización fisicoquímica. | 58 |
| 4.2.1 Recuperación del mucílago..... | 58 |
| 4.2.2 Realización del montaje experimental para obtención del bioetanol. | 58 |
| 4.3 Fase III. Determinar la viabilidad técnica y económica de bioetanol obtenido a partir de mucílago, mediante un estudio de factibilidad en la finca Las Acacias, Pueblo Nuevo, Norte de Santander. | 68 |
| 4.3.1 Estudio de Viabilidad técnica. | 68 |
| 4.3.2 Evaluación de los factores económicos del proyecto..... | 71 |
| 4.3.3 Estimación de la viabilidad del proyecto..... | 74 |
| Conclusiones | 76 |
| Recomendaciones | 78 |
| Referencias..... | 79 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. <i>Cronograma de Actividades</i> | 50 |
| Tabla 2. <i>Parámetros esenciales en el proceso de fermentación</i> | 58 |
| Tabla 3 <i>Especificaciones del diseño experimental en el proceso de fermentación</i> | 62 |
| Tabla 4. <i>Resultados medición de densidad, °brix y pH antes de la fermentación</i> | 62 |
| Tabla 5. <i>Resultados medición de densidad, °Bx y pH después de la fermentación</i> | 63 |
| Tabla 6. <i>Bioetanol obtenido por cada muestra de 100 ml de mucilago</i> | 64 |
| Tabla 7. <i>Grados brix obtenidos antes y después de la fermentación alcohólica</i> | 66 |
| Tabla 8. <i>% de rendimiento de las muestras de bioetanol obtenido</i> | 68 |
| Tabla 9. <i>Cotización equipos</i> | 71 |
| Tabla 10. <i>Presupuesto mano de obra materiales e insumos</i> | 72 |
| Tabla 11 <i>Análisis de precios unitarios</i> | 72 |
| Tabla 12. <i>Cálculos del VAN, VNA, TIR, y PR</i> | 74 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. <i>Especie coffea Arábica, Típica</i> | 23 |
| Figura 2. <i>Especie Coffea Arábica, Borbón</i> | 24 |
| Figura 3. <i>Especie coffea Arábica, Caturra</i> | 24 |
| Figura 4. <i>Especie Coffea Arábica, Variedad Colombia</i> | 25 |
| Figura 5. <i>Especie Coffea Arábica, Castillo</i> | 25 |
| Figura 6. <i>Especie Coffea Arábica, Tabí</i> | 26 |
| Figura 7. <i>Café lavado</i> | 27 |
| Figura 8. <i>Café Natural</i> | 27 |
| Figura 9. <i>Café Honey</i> | 27 |
| Figura 10. <i>Cerezas del café</i> | 28 |
| Figura 11. <i>Despulpadora de cilindro vertical</i> | 29 |
| Figura 12. <i>Despulpadora de discos</i> | 29 |
| Figura 13. <i>Despulpadora Horizontal</i> | 30 |
| Figura 14. <i>Lavador mecánico del Ecomill</i> | 30 |
| Figura 15. <i>Secadoras mecánicas</i> | 31 |
| Figura 16. <i>Esquema de integración y material energética de una fábrica de azúcar</i> | 34 |
| Figura 17 <i>Reacciones enzimáticas en la Glucolisis</i> | 35 |
| Figura 18. <i>Plan general de investigación en cosecha de café</i> | 44 |
| Figura 19. <i>Cafetales finca Las Acacias Pueblo Nuevo, Norte de Santander</i> | 52 |
| Figura 20. <i>Módulo Becolsub de la finca las Acacias Pueblo Nuevo, Norte de Santander</i> | 52 |
| Figura 21. <i>Diagrama de flujo proceso de obtención bioetanol condición A</i> | 53 |
| Figura 22. <i>Diagrama de flujo proceso de obtención bioetanol condición B</i> | 54 |
| Figura 23. <i>Diagrama de flujo proceso de obtención bioetanol condición C</i> | 54 |
| Figura 24. <i>Medición de densidad, brix y pH del mucilago de la finca las Acacias</i> | 59 |

| | |
|--|----|
| Figura 25 <i>Montaje experimental de la pasteurización</i> | 60 |
| Figura 26. <i>Comparación de resultados de medición de °brix antes y después de la hidrolisis enzimática</i> | 60 |
| Figura 27. <i>Propagación de levadura para las condiciones A y B</i> | 61 |
| Figura 28. <i>Montaje de fermentación, balones aforados</i> | 62 |
| Figura 29. <i>Montaje experimental para la destilación</i> | 63 |
| Figura 30. <i>Gráfico de relación de los °brix del fermentado y los ml de bioetanol obtenido</i> . | 65 |
| Figura 31. <i>Resultados medición de pH en las muestras de bioetanol obtenido</i> | 67 |
| Figura 32. <i>Modulo becolsub finca las Acacias</i> | 70 |

Introducción

En Colombia, el café lavado, es producido a partir de la variedad *Coffea arábica*, que se distingue por sus notas suaves y frutales, lo que lo ha convertido en un producto icónico a nivel mundial. Sin embargo, el proceso de producción del café lavado, que incluye etapas como la recolección, despulpado, remoción de mucílago, lavado y secado, conduce a la generación de un subproducto llamado mucílago (Quintero Puerta, 1999). Este residuo, si no se trata adecuadamente, puede tener un impacto ambiental negativo afectando las fuentes hídricas con las que entra en contacto (Fernández Cortés, Soto Rodríguez, & Vargas Marín, 2004).

El proceso de eliminación del mucílago presenta alternativas diversas, siendo el método de fermentación natural el más común, pero no siempre el más eficiente ni ecológico. Se ha identificado que el uso de enzimas industriales o lavadoras mecánicas puede ser más efectivo, sin comprometer la calidad del café. La adopción de tecnologías como los lavadores mecánicos ha aumentado, especialmente gracias a los esfuerzos de investigación realizados por Cenicafé, el centro de investigaciones de café en Colombia (Peñuela Martínez, Pabón Usaqué, & Oliveros Tascón, 2011).

No obstante, el uso de lavadoras mecánicas ha llevado a la generación de grandes cantidades de mucílago, lo que plantea un desafío ambiental considerable. Por cada millón de sacos de 60 kg de café almendra exportado, se producen aproximadamente 55 toneladas de mucílago fresco, equivalente a la contaminación generada por una población de 310.000 personas durante un año (Rodríguez Valencia & Zambrano Franco, 2011).

Ante este panorama, surge la necesidad de buscar estrategias que permitan aprovechar estos subproductos del café para aumentar la sostenibilidad de las fincas cafeteras y reducir su impacto ambiental. En este contexto, este proyecto de investigación se centra en la Finca

Las Acacias en Pueblo Nuevo, Norte de Santander, con el propósito de explorar la posibilidad de convertir el mucílago en biocombustible, específicamente bioetanol.

El objetivo principal de este estudio es evaluar las características fisicoquímicas del bioetanol obtenidas a partir del mucílago de la especie *Coffea arábica* de la vereda Las Acacias en Pueblo Nuevo, Norte de Santander, con el fin de aumentar la sostenibilidad del beneficiario. Además, dentro de los objetivos específicos se plantea la identificación de parámetros de fermentación, densidad, acidez y grados Brix del mucílago, el diseño de un método experimental para la recuperación, fermentación y destilación del mucílago, y la determinación de la viabilidad técnica y económica de la producción de bioetanol a partir de este subproducto.

La importancia de este proyecto radica en abordar el problema de la contaminación generada por el mucílago de café, así como en el potencial de este subproducto para la producción de bioetanol como una fuente de energía sostenible y renovable. La producción de café es una actividad económica relevante en Colombia, pero también genera una cantidad significativa de residuos, y la eliminación inadecuada de estos residuos puede tener graves consecuencias ambientales. Por esta razón se busca convertir un problema en una solución, contribuyendo a la reducción de la huella hídrica gris de la industria cafetera y promoviendo una economía limpia y sostenible.

Este proyecto representa un paso importante hacia la mitigación del impacto ambiental en la industria del café y la promoción de prácticas sostenibles en la región cafetera de Colombia.

Capítulo 1. Evaluación fisicoquímica del bioetanol obtenido a partir del mucílago de la especie *Coffea arábica* de la vereda Las Acacias en Pueblo Nuevo, Norte de Santander; para aumentar la sostenibilidad del beneficiadero.

1.1 Planteamiento del problema.

El café lavado es el tipo de café más producido en Colombia, se cataloga en el mundo por tener unas notas suaves y frutales, esto es, debido a que la variedad que se cultiva es conocida como *coffea arábica*. El beneficio de esta especie se procesa por vía húmeda y se lleva a cabo en diversas etapas, incluyendo la recolección, el despulpado, la remoción de mucílago, el lavado y el secado; teniendo como resultado, café pergamino seco (Quintero Puerta, 1999).

Existen varios métodos para eliminar el mucílago, el primero es el convencional y se denomina fermentación natural; este proceso es el más simple y menos costoso porque utiliza la naturaleza y poca infraestructura. Sin embargo, esto no implica que siempre se haga correctamente, lo que puede ocasionar fallas en el producto final (Peñuela Martínez & Olivero, 2010).

La remoción de mucílago también se puede hacer acelerando el método de fermentación natural usando enzimas fabricadas por la industria, este método es muy eficiente si se realiza utilizando las cantidades específicas para la cantidad de café que se busca lavar, siguiendo todas las instrucciones del fabricante, a pesar de que estos productos no tienen alto costo, los caficultores suelen no utilizarlo. Por último, se encuentra el lavado mecánico, esta técnica ayuda a eliminar el mucílago del café de forma rápida teniendo como resultado características similares a los de fermentación natural, de lo que se puede concluir que este tipo de lavado no afecta la calidad física, ni la organoléptica del café (Peñuela Martínez, Pabón Usaquén, & Oliveros Tascón, 2011).

El uso de los lavadores mecánicos ha aumentado gracias a las tecnologías de Cenicafé, esta organización es conocida como el centro de investigaciones de café en Colombia, donde se encargan de hacer investigación en todas las áreas importantes de la caficultura para mejorar todas sus tecnologías. Hablando del área de la mecánica cafetera, específicamente de los lavadores, éstos se han logrado adaptar a grandes y a pequeños caficultores (Sanz Uribe, Oliveros Tascón, Ramírez, Peñuela Martínez, Ramos Giraldo, 2013).

Las cantidades de mucílago que se obtienen utilizando los lavadores mecánicos en épocas de cosecha son bastante grandes, por cada millón de sacos de 60 kg de café almendra exportado se producen aproximadamente 55500 toneladas de mucílago fresco, lo que equivale a la contaminación durante 1 año de orina y excretas de una población de 310.000 personas, La razón de esta alta contaminación radica en que la gran mayoría de las fincas cafeteras no tienen un proceso industrializado que les ayude a realizar el debido tratamiento de este subproducto antes de desecharlo (Rodríguez Valencia & Zambrano Franco , 2011).

Resulta importante buscar estrategias de aprovechamiento para estos subproductos que se obtienen producto del lavado del café, con el fin de buscar sostenibilidad en las fincas cafeteras y disminuir el impacto ambiental.

1.2 Formulación del problema.

¿Cómo aprovechar el residuo del lavado del café para generar biocombustible y aumentar la sostenibilidad de la finca Las Acacias, en Pueblo Nuevo, Norte de Santander?

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.*

Evaluar las características fisicoquímicas del bioetanol obtenido a partir del mucílago de la especie *Coffea arábica* de la vereda Las Acacias en Pueblo Nuevo, Norte de Santander; para aumentar la sostenibilidad del beneficiadero.

1.3.2 *Objetivos específicos.*

- Identificar parámetros de fermentación, densidad, acidez, y grados brix del mucílago de la especie *coffea arábica* para su futuro aprovechamiento en la generación de bioetanol en la finca las Acacias Pueblo Nuevo, Norte de Santander.
- Diseñar un método experimental que permita la recuperación, fermentación y destilación del mucílago para la obtención de bioetanol y su posterior caracterización fisicoquímica.
- Determinar la viabilidad técnica y económica de bioetanol obtenido a partir de mucílago, mediante un estudio de factibilidad en la finca Las Acacias, Pueblo Nuevo, Norte de Santander.

1.4 Justificación.

La producción de café es una actividad económica de gran relevancia en Colombia, pero lamentablemente, ésta industria también genera una cantidad significativa de residuos, entre los cuales destaca el mucílago, una sustancia pegajosa que se desprende de los granos de café durante el proceso de lavado. Este mucílago es altamente soluble en agua y su eliminación inadecuada puede tener graves consecuencias ambientales (Fernández Cortés, Soto Rodríguez, & Vargas Marín, 2004).

Se estima que, por cada litro de aguas residuales resultantes de los desechos de café, se contaminan entre 3 mil y 5 mil litros de agua. Esta contaminación se traduce en una alta

demanda bioquímica de oxígeno en los cuerpos de agua receptores, lo que afecta negativamente a la fauna y flora locales (Flores Pardo, Valencia Castillo, Velez Duran, Jurado Rosero, & Lozano Moreno, 2022). De hecho, se ha identificado que el 55% de la huella hídrica gris de la industria agrícola colombiana proviene de los desechos y subproductos del café (Arevalo , Lozano , & Sabogal , 2011).

Los residuos de café, en particular el mucílago, poseen un alto potencial como materia prima para la producción de bioetanol, ya que contienen entre un 6.2% y un 7.4% de azúcares, de los cuales el 63% son azúcares fermentables, lo que significa que pueden ser fermentados por microorganismos para producir etanol (Rodríguez Valencia & Zambrano Franco, 2011). Se plantea esta opción como una alternativa para reducir la contaminación generada durante el proceso de beneficio del café (Fernández Cortes, Soto Rodríguez, & Vargas Marín, 2004).

En el contexto actual, donde se busca reducir la contaminación ambiental, la producción de biocombustibles se ha vuelto ampliamente aceptada debido a su potencial como fuente de energía sostenible y renovable. Uno de los métodos para producir bioetanol es utilizando desechos agrícolas y de alimentos como materia prima (Llenque Díaz, Quintana Díaz, Torres Lino, & Segura Vega, 2020).

Actualmente, las materias primas utilizadas para la producción de bioetanol se dividen en dos generaciones. La primera generación incluye azúcares y cereales como el maíz, la cebada, el trigo, así como otros cultivos como la remolacha azucarera y el sorgo. La segunda generación comprende la biomasa lignocelulosa, obtenida de fuentes como residuos forestales, cultivos de forraje, bagazos y madera (Silva Rubio, 2012).

El mucílago de café se encuentra dentro de las materias primas de primera generación. En comparación con la remolacha, que contiene 8 gramos de azúcar por cada 100 gramos de

teóricos, contiene 7 gramos de azúcar por cada 100 gramos de mucílago (Cholota Palate & Mora Ruiz, 2010).

La finca cafetera Las Acacias, ubicada en Norte de Santander, utiliza un módulo Becolsub en su proceso de beneficio. Esta tecnología fue desarrollada por CENICAFE (centro nacional de investigaciones de café) con el objetivo de lograr un beneficio ecológico que reduzca significativamente el consumo de agua en comparación con el método tradicional durante el despulpado. A través de esta innovación, se logró una reducción del 74% en la contaminación generada por el proceso. El 26% restante de la contaminación atribuye al mucílago (Rea Mejía y otros, 1997).

El uso de módulo Becolsub permite obtener un mucílago de café de alta pureza gracias al funcionamiento de la máquina que realiza el despulpado y, posteriormente, el café de manera inmediata con un desmucilagador, utilizando una cantidad mínima de agua (Sanz uribe, Oliveros Tascón, Ramirez Gómez, López Posada, & Velásquez Henao, 2011).

La intención de este proyecto de investigación es reducir el porcentaje de contaminación generado por el mucílago de café, aprovechándolo para la producción de bioetanol. Se busca determinar el mejor enfoque experimental con las variaciones necesarias para obtener un producto de alta calidad que pueda tener una aplicación efectiva en las cafeteras. La meta es proporcionar una solución rentable y sostenible para los desechos generados en esta etapa del beneficio del café, convirtiéndolos en un biocombustible y para promover una economía limpia. Además, se evaluará su impacto ambiental en comparación con la disposición convencional del mucílago. El objetivo final es ofrecer una alternativa beneficiosa que los caficultores del Catatumbo puedan implementar en sus

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación geográfica

Este proyecto está dirigido hacia los caficultores de la Finca Las Acacias de Pueblo Nuevo; sin embargo, se puede aplicar en cualquier finca cafetera del Catatumbo.

1.5.2 Delimitación temporal

Para llevar a cabo este proyecto el tiempo establecido fue aproximadamente 6 meses.

1.5.3 Delimitación conceptual

Los conceptos que se evidenciaron a lo largo del proyecto de investigación fueron: Bioetanol, Fermentación, Destilación, condensación, mucilago, lavadores mecánicos, sostenibilidad, Factibilidad.

1.5.4 Delimitación operativa

Para llevar a cabo este trabajo se estudió del tema, recibiendo asesorías del director de proyecto y a fuentes requeridas para adquirir el fortalecimiento de las ideas, se hizo uso del laboratorio de química de la UFPSO.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Marco histórico

2.1.1 A Nivel mundial

En el año 2013, se llevó a cabo una investigación sobre la validación del mucílago de café para la producción de etanol y abono orgánico. Este estudio recibió apoyo técnico y financiero de la Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario y Forestal de Nicaragua. Durante esta investigación, se evaluó la calidad del etanol obtenido y se utilizó los residuos del proceso de destilación para elaborar abono orgánico (Blandón Navarro & Castillo, B., & López, 2013).

Dentro de los proyectos relevantes que contribuyeron al proyecto de investigación, se encuentra la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central en Perú, donde se llevó a cabo un estudio relacionado con la obtención de etanol de alto rendimiento y ácido acético a partir del mucílago de café. En este proceso, se utilizaron aguas mieles, que consisten en el mucílago diluido en agua. Posteriormente, el alcohol etílico obtenido se transformó en ácido acético. (Rutti Marín, y otros, 2020).

En Honduras, se emprendió una investigación con el propósito de obtener bioetanol a partir del mucílago de café, con el objetivo de reducir la contaminación ambiental. Este estudio se llevó a cabo en el Departamento de Comayagua y Marcala. Durante el proceso de obtención, se aplicó tanto fermentación controlada como no controlada, demostrando en la investigación que varios factores como el tipo de fermentación, la pasterización, el filtrado y el tipo de destilación afectan el desempeño del bioetanol obtenido (Funes Caballero, y otros, 2011).

2.1.2 Antecedentes en Colombia

El Centro de Investigación de Café en Colombia (cenicafé) ha realizado varios estudios de gran relevancia para el desarrollo de este proyecto de investigación. Estos estudios proporcionan una base sólida de conocimiento sobre el mucílago del café. Uno de los primeros estudios realizados se enfocó en la caracterización química del mucílago del café bajo diferentes condiciones de fermentación y refrigeración, titulado "Composición química del mucílago del café según el tiempo de fermentación y refrigeración (Puerta Quintero & Rios Arias, 2014). Esta investigación nos proporciona información valiosa sobre la composición química de este subproducto en función de las condiciones de cada finca cafetera durante la fermentación.

Otro estudio relevante realizado por cenicafé se centra en la caracterización microbiológica y fisicoquímica de la pulpa de café, tanto sola como en conjunto con el mucílago, durante el proceso de lombricompostaje. El título de este estudio es "Caracterización microbiológica y fisicoquímica de la pulpa de café sola y con mucílago en proceso de lombricompostaje" (Blandon Castaño, Davila Arias, & Rodriguez Valencia, 2000). Allí se destaca el potencial del mucílago como fertilizante biológico debido a la riqueza microbiana que presenta, ofreciendo una perspectiva de su aplicación en las fincas cafeteras.

Finalmente, el estudio titulado "Obtención de alcohol utilizando el mucílago del café para determinar la factibilidad técnica y económica del proceso productivo" (Zambrano Franco & Rodriguez Valencia, 2011). Este estudio se considera crucial para la elaboración del modelo experimental, ya que se seleccionaron sus mejores resultados y se mejoraron los parámetros para la obtención del bioetanol.

En la ciudad de Popayán, se llevó a cabo un estudio sobre la "Obtención de bioetanol a partir de las aguas mieles y mucílago de café como alternativa de mitigación de efectos en los ecosistemas de las fincas Las Violetas, Vereda Los Robles, Timbio, y en la Finca Cristalina, Vereda Los Uvales, Piendamó, Departamento del Cauca" (Sanrria Samboni, 2019). Este estudio incluyó pruebas de oxidación, densidad y refracción del etanol obtenido, además de un análisis sobre cómo afectan los lixiviados del café a los sistemas acuáticos, comparando los resultados antes y después de la cosecha (Sanrria Samboni, 2019).

En el municipio de Pitalito, Huila, se llevó a cabo una investigación que tuvo como objetivo principal determinar las variables óptimas para la producción de bioetanol a partir del mucílago de café. El propósito fundamental de este estudio fue reducir la descarga de residuos en las fuentes de agua del departamento cafetero de dicho municipio. Como resultado de esta investigación, se establecieron directrices específicas para la hidrólisis, la concentración de levadura y el pH, lo que garantiza la obtención de una concentración de alcohol entre el 80% y el 90% ,este estudio tiene un impacto significativo en la sostenibilidad ambiental de la región (Guzman Salazar, Mahecha Vega, & Rozo Perdomo, 2022).

2.1.3 A nivel local.

Según el reporte del comité departamental de cafeteros de Norte de Santander, existen más de 16500 productores de café en el departamento, de los que en Ocaña hay aproximadamente 900 fincas, en las visitas realizadas a las diferentes zonas cafeteras de Ocaña se evidencia que el mucílago de café es desechado sin tener en cuenta los estándares de cuidado ambiental. A pesar de esta problemática, no se evidencia bibliografía en donde se utilice el mucilago del café en ninguna de sus aplicaciones.

2.2 Marco conceptual.

2.2.1 Origen del café

El café tiene sus orígenes en Etiopía, se estima que su consumo empezó alrededor del siglo IX, cuenta la leyenda que el descubrimiento se le atribuye a un pastor llamado Kaldi, que notó que las cabras cuando comían del fruto del café se volvían más activas, lo que le ocasiono intriga y al probar el fruto logro sentir más energía. Los árabes fueron los responsables de su expansión llegando a Turquía, Europa y a finales del siglo XVIII a América, sin embargo, Holanda hizo parte de la expansión del café por los nuevos continentes, lo que ocasiono que en el siglo XVIII fuera el líder de la producción total del café (Gotteland, 2007).

2.2.2 Historia del café en Colombia

La historia del café está ligada con la identidad y economía de Colombia, el Café llevo en el siglo XVIII por medio de la colonización española, sin embargo, no fue hasta el siglo XIX que se convirtió en una actividad económica importante.

Cuenta la leyenda que los cultivos de café en Colombia empezaron gracias a los padres jesuitas con un sacerdote en Norte de Santander que sus penitencias eran que sus feligreses sembraran café, debido a que las condiciones climáticas eran ideales para la siembra, su producción empezó a aumentar logrando expandirse por las diferentes localidades que se ven actualmente en el país como Antioquia, eje cafetero, Santander, valle del Cauca, entre otras.

A principios del siglo XX la economía dependía en gran medida de los ingresos generados por la exportación del café, lo que produjo el establecimiento de grandes fincas cafeteras y el desarrollo de infraestructura para el desarrollo de producción y transporte.

Sin embargo, la industria cafetera ha enfrentado grandes desafíos debido a las crisis internacionales en varias ocasiones, lo que hizo que se implementaran políticas para

estabilizar los precios y apoyar a los productores. Como resultado de dicho apoyo, surgió la Federación Nacional de cafeteros en el año 1927, que desde entonces se ha encargado de la promoción y protección de la industria cafetera en Colombia.

Por otro lado, el crecimiento de la industria también ha sido gracias al desarrollo e investigación, en el año 1950 se introdujo una variedad resistente a la Roya llamada Caturra lo que permitió aumentar la productividad y calidad del café, posteriormente se introdujeron otras variedades como Bourbon y castillo, ayudando a la diversificación del café cultivado.

A nivel mundial, el café colombiano es reconocido por su calidad y sabor excepcional, Actualmente Colombia es reconocida como uno de los mayores productores de café arábica suave, siendo también un símbolo cultural y parte integral de su identidad nacional (Antonio Bejarano, 1980).

2.2.3 Especies y variedades del Café

Alrededor del mundo, existen más de 100 especies que corresponden al género *coffea*; sin embargo, las dos que tienen mayor importancia económica son las siguientes (Velazques O, 2019):

- **Coffea Arábica.** Esta especie es la más cultivada en el mundo, ocupa aproximadamente el 60% de producción a nivel mundial. Esta variedad es conocida por su sabor suave, su acidez balanceada, aportando mejor calidad en comparación con otras especies de café (Orozco Castaño, 1986).

- **Coffea Canephora.** Esta especie se considera autoesteril ya que se fecundan con el polen que viene de otras plantas, la bebida que producen es conocida como café amargo, conocida también como café robusto (Orozco Castaño, 1986).

2.2.4 Variedades del café en Colombia

Las variedades de café que se siembran actualmente en Colombia hacen parte de la historia del mejoramiento del cafeto en Colombia, luego de la creación del centro de investigaciones de café- Cenicafe, la mejora de la genética le ayudo a los caficultores a superar las crisis producidas por las enfermedades que los afectaban tales como la Roya, a continuación, se muestran las variedades sembradas actualmente (Cortina, Acuña Zornoza, Moncada Botero, Herrera Pinilla, & Molina, 2013):

- **Típica.** Con esta variedad se inició la caficultura en Colombia, es una variedad de porte alto como se puede ver en la Figura 1. en la que los frutos pueden ser amarillos o rojos con una excelente calidad de taza.

Figura 1. *Especie coffea Arábica, Típica*



Nota. Árbol variedad Típica, Autor: (Zapata, Coffee, Rozon, & Coffee, 2020).

- **Borbón.** Llego a Colombia en el año 1928, es una variedad de porte alto con una calidad parecida a la Típica; debido a su productividad, del año 1951 al 1953 el centro de investigación cenicafe, repartió semillas de esta variedad especialmente en el departamento de Caldas, en la Figura 2 se muestra un árbol en proceso de maduración.

Figura 2. *Especie Coffea Arábica, Borbón.*



Nota. Árbol variedad Borbón, Autor: (Castellano, 2020).

- **Caturra.** Es una mutación de la Variedad Borbón, sus plantas son de porte bajo, llegó a Colombia en el año 1952, pero se difundió hasta el año 1970. Se caracteriza por tener buena productividad, aunque es susceptible a la roya.

Figura 3. *Especie coffea Arábica, Caturra.*



Nota. Árbol variedad Caturra, Autor: (Londoño, Henao, & Chaverra, 2022).

En la Figura 3. Se aprecia un árbol caturro en completo estado de maduración, listo para recolectar y empezar el proceso de beneficio.

- **Variedad Colombia.** Esta variedad la liberó cenicafé en el año 1980, fue la primera variedad compuesta creada por este centro de investigación (Figura 4). La productividad es superior a la de la variedad caturra, con una excelente calidad de taza.

Figura 4. *Especie Coffea Arábica, Variedad Colombia.*



Nota. Árbol Variedad Colombia, Autor: (Cortina, Acuña Zornoza, Moncada Botero, Herrera Pinilla, & Molina, 2013).

- **Catillo.** Esta variedad es resistente a la roya, es de producción media, la calidad de la taza es igual a la Caturra y Borbón (Figura 5.)

Figura 5. *Especie Coffea Arábica, Castillo.*



Nota. Árbol variedad Castillo, Autor: (Cortina, Acuña Zornoza, Moncada Botero, Herrera Pinilla, & Molina, 2013).

- **Tabí.** Esta variedad es de porte alto como se puede apreciar en la Figura 6, compuesta y resistente a la roya, surgió de cruzamientos entre las variedades típica, borbón y el Híbrido del timor, la producción es medianamente alta con un grano de tamaño grande. La calidad de la taza de esta variedad es considerada una de las más acertadas.

Figura 6. *Especie Coffea Arábica, Tabí.*



Nota. Árbol variedad Tabí, Autor: (Cortina, Acuña Zornoza, Moncada Botero, Herrera Pinilla, & Molina, 2013).

2.2.5 Producción del café en Colombia

El café se procesa tradicionalmente a nivel mundial de tres formas: la primera es el café lavado (Figura 7); la segunda forma es el café natural (Figura 8); por último, tenemos el café Honey (Figura 9). En Colombia, el café se procesa mediante el método húmedo. El café colombiano es reconocido a nivel mundial por ser uno de los mejores cafés lavados debido a su excelente calidad.

Figura 7. *Café lavado*



Nota. Producción de café lavado, Autor: (Elaboración Propia).

Figura 8. *Café Natural*



Nota. Proceso de Secado del café por el método de producción llamado café natural, Autor: (Dennis Tang, 2016).

Figura 9. *Café Honey*



Nota. Proceso de mielado, Autor: (Dennis Tang, 2016)

- **Café lavado en Colombia.** Se le llama café lavado al café que es producto de un beneficio húmedo lavado, en este proceso se transforma la cereza madura en café pergamino seco. El proceso consiste en eliminar todas las capas que cubren al grano como la pulpa, el mucilago, seguido de la eliminación del exceso del agua hasta conseguir una humedad de 11 al 12% para garantizar su conservación (**Oliveros Tascon & Sanz Uribe, 2011**).

Figura 10. *Cerezas del café*

Nota. Cerezas del café en estado completo de maduración listas para despulpar, Autor:



(Elaboración Propia).

2.2.6 Beneficio del café Lavado

El beneficio del café lavado lo comprenden las siguientes etapas: la recolección, despulpado, lavado, y secado del café, para hacer efectivas estas etapas existen diferentes equipos que hacen parte del beneficio.

- **La despulpadora.** Este equipo es utilizado en el proceso de despulpado, su labor es retirar la pulpa del café gracias a la acción de fuerzas de fricción causada por la superficie móvil (camisa) y la superficie fija (el pechero) (Alvarez Gallo, 1991). La despulpadora está diseñada para retirar la pulpa del café cuando se encuentra en completo estado de maduración como se observa en la Figura 10.

Figura 11. *Despulpadora de cilindro vertical.*



Nota. Autor: (Elaboración Propia).

Figura 12. *Despulpadora de discos.*



Nota. Autor: (Elaboración Propia).

Figura 13. *Despulpadora Horizontal*



Nota. Autor: (Elaboración propia).

- **Desmucilaginosos o lavadores mecánicos.** El mucílago del café se retira tradicionalmente mediante el proceso de fermentación natural. Sin embargo, este proceso a menudo presenta complicaciones debido a la necesidad de precisión en el punto de fermentación para el lavado del café, lo que puede resultar en defectos en la taza debido a la fermentación natural. Por esta razón, surge el desmucilaginoso o lavador mecánico (Figura 14) que es un equipo por donde pasa el café en baba que se encarga de eliminar rápidamente el mucílago sin afectar la calidad física y organoléptica del café (Oliveros Tascon & Roa Mejía, 1995).

Figura 14. *Lavador mecánico del Ecomill*



Nota. Autor: (Elaboración Propia).

- **Secador mecánico.** Son cámaras que por medio de aire caliente impulsado con un ventilador atraviesa el café para eliminar el exceso de humedad (Figura 15) (Sanchez Madriz, 2021).

Figura 15. Secadoras mecánicas



Nota. Autor: (Sanchez Madriz, 2021)

2.2.7 Beneficio convencional del café

El beneficio tradicional es el que se ha utilizado desde los comienzos de la historia del café en Colombia para su producción, en este proceso se utiliza agua en las etapas del despulpado, lavado, y transporte de los frutos, lo que genera un alto índice de contaminación, por el gasto excesivo de agua, se estima que se consume alrededor de 40 litros de agua por kilogramo de café pergamino seco (Rodríguez Valencia, Sanz Uribe, Oliveros Tascon, & Ramírez Gomez, 2015).

2.2.8 Beneficio ecológico del café

Debido a la contaminación generada por el beneficio tradicional, el centro de investigación de café en Colombia (Cenicafe), se vio en la tarea de buscar alternativas para

buscarle solución a este problema, por ende, surge este beneficio amigable con el medio ambiente que consiste en realizar el despulpado sin agua, con una tecnología llamada Modulo Becolsub, evitando pérdidas del producto y eliminando procesos innecesarios (Rodríguez Valencia, Sanz Uribe, Oliveros Tascon, & Ramírez Gomez, 2015).

2.2.9 Beneficio ecológico del café sin vertimientos

La tecnología Ecomill es la nueva propuesta de la Federación Nacional de Cafeteros para realizar beneficio del café de la forma más amigable con el medio ambiente. En este tipo de beneficio se hace un uso racional de agua, los subproductos se manejan de una forma en la que no se generan vertimientos. Todos los lixiviados generados en el proceso se recirculan sobre la pulpa para incorporarlos completamente, el resto de aguas utilizadas en recirculación son utilizadas en los sistemas de riego, logrando un proceso más sostenible y con cafés de excelente calidad (Rodríguez Valencia, Sanz Uribe, Oliveros Tascon, & Ramírez Gomez, 2015).

2.2.10 Mucilago de café

Es un sustrato que resulta del proceso de beneficio del café. El mucilago protege la almendra de café junto con la pulpa, este subproducto se retira gracias a la fermentación natural a temperatura ambiente o con ayuda de los lavadores mecánicos o desmucilaginosos (Puerta Quintero G. I., 2013).

Para mejorar el proceso de beneficio del café, es esencial comprender las degradaciones y la estabilidad del mucílago. Esto permite determinar las variables clave en la fermentación durante el lavado del café, lo que a su vez ayuda a comprender mejor los componentes de este péptido. En cuanto a su composición química, se encuentran los siguientes valores: un contenido de agua que oscila entre el 81% y el 91%, azúcares en un rango de 6.2% a 7.4%, siendo el 63% de estos azúcares reductores, un 0.43% de ceniza, un

0.93% de proteínas, un 0.12% de lípidos, un 8.55% de carbohidratos, un 0.17% de ácidos lácticos y un 0.12% de etanol (Puerta Quintero & Rios Arias, 2014).

2.2.11 Biocombustibles

Son aquellos combustibles que se obtienen de la biomasa, es decir, materia orgánica que puede ser de origen animal o vegetal. Los biocombustibles son biocarburantes como alcoholes, Esteres y otros compuestos orgánicos de base celulósica que ayudan a sustituir parte del uso de la gasolina.

Actualmente la materia orgánica utilizada para la producción de biocombustibles es el azúcar, el maíz, trigo o las semillas oleaginosas. El uso de biocombustibles tiene como objetivo reducir los gases de efecto invernadero logrando disminuir la contaminación ambiental. En la Figura 16 se puede apreciar un esquema de como utilizan los desechos de una planta de fabricación de azúcar en la producción de biocombustibles.

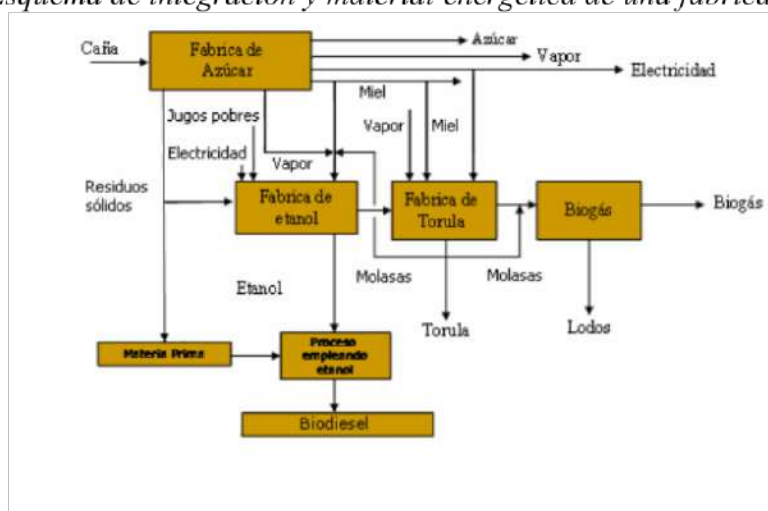
2.2.12 Bioetanol

Se conoce también como alcohol Etílico, siendo el producto de la fermentación de muchos materiales orgánicos, con la intervención de microorganismos que agilizan el proceso (Hernandez Nodarse, 2008), este ha sido utilizado ampliamente como biocombustible o muchas veces como un potenciador de la gasolina, este compuesto es completamente renovable debido a que cuando se quema libera dióxido de carbono, compuesto utilizado por las plantas en el proceso de la fotosíntesis para producir la biomasa, esto ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmosfera (Castro Martinez , Beltran Arreodondo , & Ortiz Ojeda , 2012).

2.2.13 Obtención del bioetanol

Debido a las crisis energéticas presentadas por los precios altos del petróleo, la producción de bioetanol actualmente ha sido considerada a nivel mundial, lo que ha llevado a trabajar en la búsqueda de materias primas de menor precio que puedan sustituir las tradicionales (Materias Azucaradas, productos intermedios para la producción de azúcar, jugos de frutas, etc.) (Hernandez Nodarse, 2008).

Figura 16. Esquema de integración y material energética de una fábrica de azúcar



Nota. Autor: (Hernandez Nodarse, 2008).

El proceso de obtención de etanol se compone de dos etapas fundamentales: la fermentación y la destilación, la etapa principal es la fermentación ya que es allí donde se produce el etanol y todos los productos secundarios. En muchas ocasiones el proceso de fermentación utiliza cultivos mixtos para aumentar la eficiencia en la transformación de la materia prima (Llangari Sibri, 2018).

- **La Fermentación alcohólica.** Es una reacción en la que se degradan moléculas complejas a moléculas simples en otras palabras los azúcares se degradan en alcohol y dióxido de carbono, los agentes responsables de que esto suceda son algunos microorganismos, ya que, en el proceso de descomposición de las moléculas, utilizan la

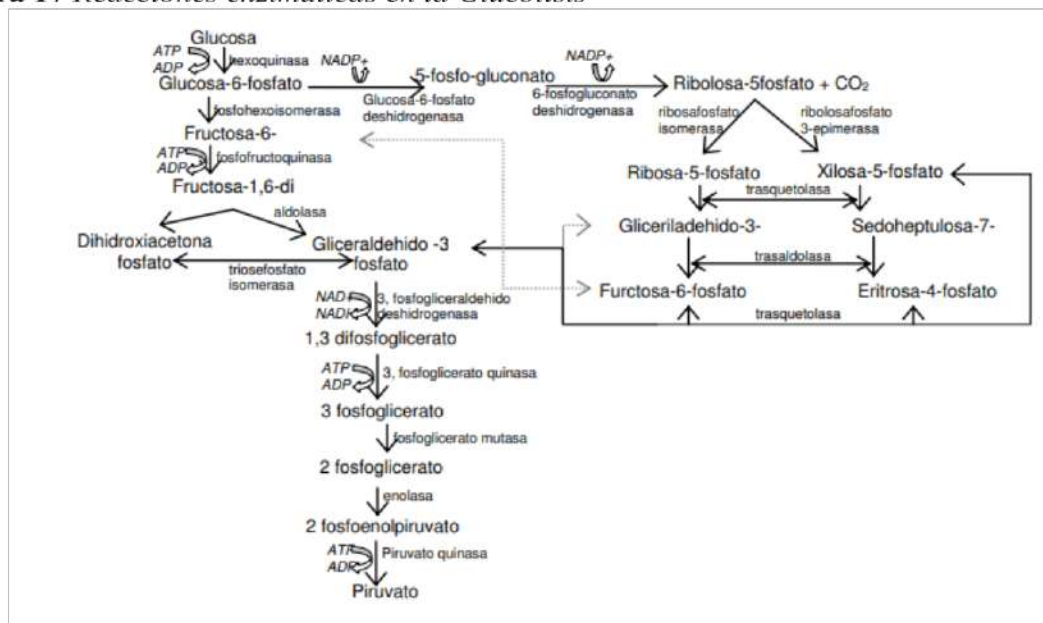
glucosa y todos aquellos nutrientes adicionales para reproducirse. En los procesos de fermentación alcohólica se espera un rendimiento teórico de 0,11 g de Etanol y 0,489g de CO₂ por un gramo de glucosa (Vazques & Dacosta, 2007).

La obtención de bioetanol, se da gracias a la fermentación alcohólica, este proceso sigue la misma vía del glucolisis (Figura 17), agregándole 2 fases adicionales (Llangari Sibri, 2018).

Fase 1. El Piruvato obtenido del proceso del glucolisis se convierte en Acetaldehído y dióxido de carbono, gracias a la enzima *piruvato descarboxilasa*.

Fase 2. El Acetaldehído es convertido en etanol gracias a la enzima Alcohol deshidrogenasa, en esta etapa el NADH es convertido en NAD⁺, Para seguir alimentando de energía el proceso del glucolisis.

Figura 17 Reacciones enzimáticas en la Glucolisis



Nota. La fermentación complementada con el glucolisis ayuda a producir energía en ausencia de oxígeno, Autor: (Acosta Romero, 2012).

- **Destilación.** “Es Un proceso en el cual una mezcla de vapor o liquido de dos o más sustancias es separado en sus componentes de pureza deseada, por la aplicación o remoción de calor”. La destilación consume grandes cantidades de energía en lo que tiene que ver con los requerimientos de calor y de su enfriamiento. El éxito de la separación de una mezcla por medio de este proceso depende de las diferencias de los puntos de ebullición de cada componente (Coello Ovando, 2019).

Destilación simple. Es un tipo de destilación que se utiliza para compuestos en los que los puntos de ebullición son muy diferentes (Grande Verdugo & Ortiz Blanco, 2019).

Destilación fraccionada. Es un tipo de destilación que se utiliza para compuestos en los que los puntos de ebullición son muy cercanos (Grande Verdugo & Ortiz Blanco, 2019).

Destilación al vacío. Es un método de destilación que se realiza con una presión reducida (Grande Verdugo & Ortiz Blanco, 2019).

2.2.14 Productos que se obtienen de la fermentación alcohólica.

Dentro de los productos obtenidos del proceso de fermentación, se incluyen los alcoholes, como el etanol, metanol, alcoholes alifáticos y alcoholes superiores. También se encuentran los aldehídos, como el acetaldehído; los ésteres, como el acetato de isobutilo o el acetato de isoamilo. Otro grupo de productos son los ácidos orgánicos, entre los que se encuentran los ácidos volátiles como el fórmico, acético, propiónico, butírico y láctico (Coello Ovando, 2019).

2.2.15 Hidrolisis enzimática.

Es un proceso bioquímico en el que las enzimas catalizan la ruptura de enlaces químicos en moléculas más grandes mediante la adición de moléculas de agua, es decir, estas enzimas facilitan la descomposición de esas moléculas complejas a moléculas simples. Un ejemplo de este proceso es la digestión de alimentos en el tracto gastrointestinal, en donde estas enzimas descomponen los carbohidratos en azúcares simples, las proteínas en aminoácidos y las grasas en ácidos grasos o glicerol para que todos los nutrientes puedan ser absorbidos por el organismo. Las enzimas son utilizadas para agilizar los procesos químicos por tal razón son utilizadas en numerosos procesos industriales y de laboratorio (Llangari Sibri, 2018).

2.2.16 Refractometría.

La refractometría es una técnica ampliamente utilizada para medir el índice de refracción de una muestra líquida. En muchos casos, se aplica no solo para determinar el índice de refracción, sino también para analizar la composición y diversas propiedades de sustancias líquidas (Chao Mujica, 2013). El índice de refracción es una propiedad característica de las sustancias y se emplea comúnmente para cuantificar los componentes presentes en una muestra. Un uso particularmente relevante de la refractometría es la medición de la concentración de azúcares en soluciones, lo que se conoce como grados Brix (Llangari Sibri, 2018).

- **Grados Brix.** Los grados Brix son una medida que indica el nivel de azúcar presente en una solución acuosa. Esta medición es de suma importancia en la industria de alimentos y bebidas, ya que el contenido de azúcar puede tener un impacto significativo en el sabor y la calidad de los productos finales. Para determinar los grados Brix de una solución, se emplean diversos instrumentos y técnicas de medición. Algunos de los instrumentos comúnmente utilizados incluyen el hidrómetro, el picnómetro, el refractómetro óptico (tanto portátil como

ABBE), el densímetro digital (tanto portátil como de sobremesa), y el refractómetro digital (tanto portátil como de sobremesa). El refractómetro digital es especialmente notable en este contexto, ya que utiliza un sensor óptico de alta resolución. Este sensor mide la reflexión total del haz de luz emitido por una fuente de luz LED especial después de que este impacta en la muestra. La reflexión total se convierte en grados Brix, concentraciones de azúcar o incluso valores personalizados, proporcionando así una medición precisa del contenido de azúcar en la solución (Ardila Gómez & Cuadros Delgadillo, 2021).

2.2.17 Densidad.

La densidad es una propiedad física de la materia que se refiere a la cantidad de masa contenida en un volumen determinado. En otras palabras, es la cantidad de materia que está comprimida en un espacio específico. Se suele expresar en unidades de masa por unidad de volumen, como kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) en el sistema métrico (Raviolo , Moscato , & Schnersch, 2005). Para medir la densidad de un objeto o sustancia, existen varias formas de hacerlo (Rodríguez & Javier, 2010):

- **Método de la masa y el volumen.** Este es el método más común y directo para medir la densidad. Consiste en medir la masa del objeto o sustancia con una balanza y determinar su volumen utilizando una regla, un calibrador u otro instrumento adecuado. Luego, la densidad se calcula dividiendo la masa por el volumen:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Densidad } (\rho) = \text{Masa } (m) / \text{Volumen } (V)$$

- **Método de la flotación.** Este método se utiliza para objetos sólidos que son menos densos que el líquido en el que se sumergen. Se basa en el principio de Arquímedes, que establece que un objeto parcialmente sumergido en un líquido experimenta una fuerza hacia arriba igual al peso del líquido desplazado por el objeto. Midiendo la masa del objeto y el volumen del líquido desplazado, puedes calcular la densidad del objeto.

- **Picnómetro.** Un picnómetro es un instrumento de laboratorio diseñado específicamente para medir la densidad de líquidos. Consiste en un frasco con un tapón especial y un cuello delgado que permite medir con precisión el volumen de líquido que contiene. Al pesar el picnómetro vacío y luego lleno con el líquido de interés, se puede calcular su densidad.
- **Método de densímetro.** Un densímetro es un dispositivo utilizado para medir la densidad de líquidos. Funciona midiendo la flotación de un flotador dentro del líquido de prueba. La densidad se lee en una escala graduada en el densímetro.
- **Fórmulas empíricas y tablas.** En algunos casos, especialmente con sustancias compuestas o mezclas, la densidad se determina utilizando fórmulas empíricas o consultando tablas de densidad que proporcionan valores típicos para diversas sustancias a diferentes temperaturas.

Al momento de calcular la densidad es importante tener en cuenta que la densidad d puede variar con la temperatura y la presión, por lo que es esencial especificar las condiciones bajo las cuales se realiza la medición de la densidad. Además, la densidad es una propiedad útil para identificar sustancias y comprender su comportamiento en diversas aplicaciones científicas y técnicas (Rodríguez & Javier, 2010).

2.2.18 Graduación alcohólica.

La graduación alcohólica, también conocida como contenido alcohólico o grado alcohólico, se refiere a la cantidad de alcohol etílico (etanol) presente en una bebida alcohólica, expresada generalmente como un porcentaje. Esta medida indica cuánto alcohol hay en relación con el volumen total de la bebida. Por ejemplo, si una bebida tiene una graduación alcohólica del 10%, significa que el 10% del volumen total de la bebida está compuesto por alcohol (J. Sancho, 1999).

Existen varios instrumentos y métodos para medir la graduación alcohólica de una bebida. Algunos de los instrumentos más comunes incluyen:

- **Alcoholímetro.** Es un instrumento específicamente diseñado para medir el contenido de alcohol en líquidos. Se sumerge en la bebida y muestra el porcentaje de alcohol por volumen (Espinoza Arcentales, Salazar, & Asanza, 2015).
- **Refractómetro.** Aunque originalmente se utiliza para medir el índice de refracción de la luz en líquidos, también se puede utilizar para estimar la graduación alcohólica. Sin embargo, es necesario aplicar una corrección para obtener resultados precisos (Cobo Cano, 2020).
- **Hidrómetro.** Este dispositivo se sumerge en la bebida y mide la densidad del líquido. La densidad cambia con la cantidad de alcohol presente, lo que permite calcular la graduación alcohólica (Medina González, García Coronado, & Núñez Acosta, 2007).
- **Espectrofotómetro.** Se utiliza para analizar la absorción de luz en una muestra de bebida. Los cambios en la absorción de luz se relacionan con la concentración de alcohol y se pueden utilizar para determinar la graduación alcohólica (García, 2018).
- **Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).** Es una técnica de laboratorio que separa y cuantifica los componentes de una muestra de bebida, incluido el alcohol. Proporciona resultados precisos y es ampliamente utilizado en la industria (Gutierrez, Hoyos, & Paez, 2007).

2.3 Marco Teórico.

2.3.1 Energías Renovables

Las energías renovables son aquellas fuentes de energía que se obtienen de recursos naturales que son prácticamente inagotables y se renuevan continuamente en un corto período de tiempo en comparación con la escala de tiempo humana. Estas fuentes incluyen la energía solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y la biomasa (Santamarta, 2004). La biomasa desempeña un papel significativo en la diversificación de las fuentes de energía y en la reducción de las emisiones de carbono. Su gestión sostenible y el desarrollo de tecnologías eficientes son fundamentales para maximizar su potencial como fuente de energía renovable en la transición hacia un futuro energético más limpio y sostenible (Cerdá, 2012). Dentro de los tipos de biomasa se encuentran (Fernandez, 2003):

- **Biomasa natural:** Esta biomasa se compone de materia orgánica que se encuentra en la naturaleza, como la madera, la hierba, los residuos de cultivos y otros materiales vegetales que crecen de forma natural. Puede utilizarse para producir energía mediante la combustión o la conversión en biogás.
- **Residuos orgánicos:** Los desechos orgánicos, como restos de alimentos, recortes de césped, y estiércol de animales, son una forma común de biomasa utilizada para la producción de biogás y compostaje.
- **Madera:** La madera es una de las fuentes de biomasa más ampliamente utilizadas. Puede ser utilizada para la generación de calor y electricidad a través de la combustión directa o la producción de pellets de madera. También se utiliza en la producción de bioetanol y productos químicos derivados.

- Cultivos energéticos: Algunos cultivos, como la caña de azúcar, el maíz y el sorgo, se cultivan específicamente para su uso en la producción de biocombustibles, como el etanol y el biodiesel.
- Residuos de la industria forestal y agrícola: Los subproductos de la industria forestal y agrícola, como aserrín, virutas de madera, paja y cáscaras de nueces, se utilizan para la producción de energía o productos químicos a partir de biomasa.
- Algas: Las algas son una fuente de biomasa que se utiliza para la producción de biocombustibles, como el biodiesel y el biogás. También se están investigando para su uso en la producción de productos químicos y alimentos.
- Residuos sólidos urbanos (RSU): Los desechos orgánicos de los residuos sólidos urbanos, como papel, cartón, madera y restos de alimentos, se pueden utilizar como biomasa para la generación de energía a través de la incineración o la producción de biogás.
- Residuos de la industria alimentaria: Los subproductos de la industria alimentaria, como cáscaras de frutas y verduras, también pueden utilizarse como biomasa para la producción de biogás o compostaje.
- Residuos de la industria papelera: La biomasa resultante de la producción de papel, como la pulpa de madera residual, se puede utilizar para la generación de energía.

2.3.2 Relación de la ingeniería y el café en Colombia

En Colombia, un área de aproximadamente 890,000 hectáreas ubicada entre 1,200 y 1,800 metros sobre el nivel del mar en las vertientes de las tres cordilleras del país se dedica a la producción de café de alta calidad para la exportación. Este café es el resultado del arduo trabajo de cerca de 600,000 familias, condiciones de suelo y clima específicas, cultivo de variedades adecuadas y una recolección cuidadosa de frutos maduros, seguida de un proceso de postcosecha. La ingeniería ha desempeñado un papel crucial en la evolución de la

agricultura, desarrollando tecnologías que han permitido aumentar la producción, optimizar el uso de mano de obra e insumos, reducir costos y promover la sostenibilidad de los recursos naturales.

En comparación con otros países, como Brasil, Colombia ha enfocado los aportes de la ingeniería en la caficultura en las etapas de cosecha, beneficio y secado. A finales de la década de los 60, se creó la sección de Beneficio de Café de Cenicafé, que se centró en desarrollar tecnologías para mejorar el proceso de transformación de los frutos de café en café pergamino seco, el estado en el que se comercializa internamente en Colombia. Más tarde, en la década de los 80, esta sección cambió su nombre a Disciplina de Ingeniería Agrícola y amplió su enfoque hacia la generación de tecnologías competitivas y sostenibles para la cosecha y la postcosecha del café, así como para las labores agrícolas relacionadas.

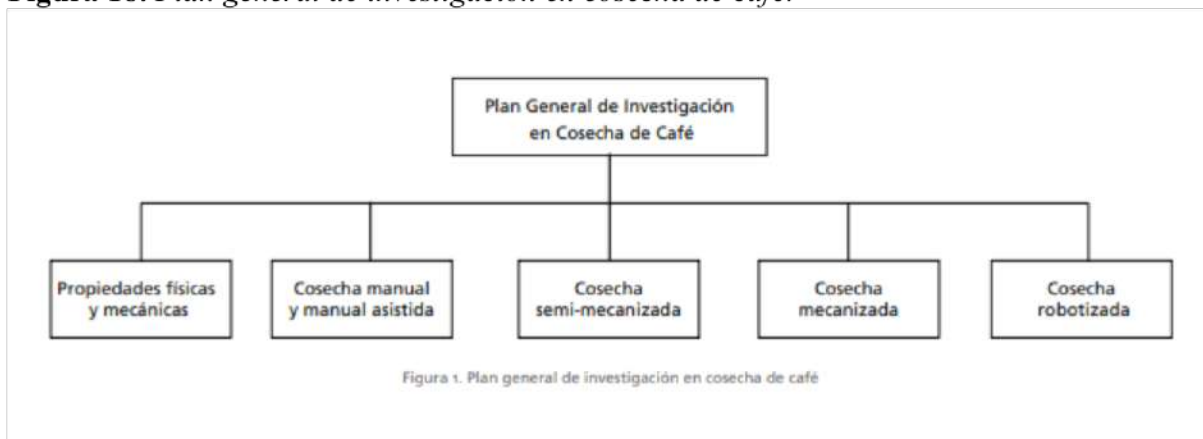
A pesar de que Colombia tiene limitaciones para el uso de equipos en la caficultura debido a la topografía, las condiciones climáticas, los suelos y el tamaño de las fincas, se han realizado esfuerzos para evaluar la viabilidad de tecnologías como una aspiradora portátil diseñada en Italia, que originalmente se usaba para recoger otros frutos del suelo en terrenos empinados. Los resultados indicaron que esta tecnología podía ser económicamente viable para las plantaciones de café en Colombia, lo que llevó a la fabricación local de equipos a un costo más bajo que el equipo italiano.

En cuanto a la cosecha de café en Colombia, es una labor realizada manualmente por recolectores que seleccionan cuidadosamente los frutos maduros. La recolección de café representa un costo significativo en la producción, contribuyendo con el 35-40% de los costos totales. La falta de cambios significativos en esta labor durante los últimos 200 años se atribuye a la forma tradicional de recolección y al pago por destajo, donde los recolectores ganan en función de la cantidad de café recogido. La transición de recipientes de fibras naturales a recipientes plásticos es uno de los cambios más notables.

A diferencia de otros países, en Colombia, la cosecha de café se realiza en múltiples pasadas a lo largo del año, lo que dificulta la implementación de tecnologías utilizadas en regiones con cosechas más concentradas. El desarrollo de tecnologías para reducir los costos de la cosecha y mejorar la eficiencia ha sido un enfoque importante de Cenicafé desde 1997, abordando aspectos como la mecánica de las estructuras de los árboles de café y el uso de herramientas motorizadas y maquinaria en la cosecha.

En resumen, Colombia es un importante productor de café de alta calidad, y la ingeniería ha desempeñado un papel esencial en la mejora de la producción y la reducción de costos en la caficultura colombiana, particularmente en las etapas de cosecha, beneficio y pos cosecha. Se han realizado esfuerzos para evaluar tecnologías que se adapten a las condiciones específicas del país y mejorar la eficiencia en la recolección de café (Oliveros Tascon & Sanz Uribe, 2011). En la figura 18 se muestra el plan general de investigación en cosecha de café.

Figura 18. *Plan general de investigación en cosecha de café.*



Nota. Autor (Oliveros Tascon & Sanz Uribe, 2011).

2.4 Marco legal

2.4.1 Normas Respecto a la producción, calidad y comercialización del bioetanol en

Colombia

- Ley 693 de 2001 “por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones”.

- Ley 939 de 2004 “por medio de la cual se subsanan los vicios de procedimiento en que incurrió en el trámite de la Ley 818 de 2003 y se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en Motores diésel y se dictan otras disposiciones”.

2.4.2 Legislación ambiental

- La Ley 99 de 1993 crea el Ministerio de Ambiente, organiza el Sistema Nacional Ambiental y define el ordenamiento ambiental territorial como “la función atribuida al Estado de regular y orientar el proceso de diseño y planificación de uso del territorio y de los recursos naturales renovables de la Nación, a fin de garantizar su adecuada explotación y su desarrollo sostenible” (Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo, 2016).

- Ley 1252 de 2008. "Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones" (Funcion Publica , 2008).

- Decreto 1076 2015“Esta versión incorpora las modificaciones introducidas al Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible a partir de la fecha de su expedición” (Funcion Publica , 2021).

- Decreto Ley 2811 de 1974 “Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente” (Federacion De Cafeteros , 2022).

- Ley 99 de 1993. “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones” (Federacion De Cafeteros , 2022).

- Ley 430 de 1998. “Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos” (Federacion De Cafeteros , 2022).

2.4.3 Legislación agrícola

- Ley 29 de 1990. “Por la cual se dictan disposiciones para el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico y se otorgan facultades extraordinarias.” (Funcion Publica , 1990).
- Ley 101 de 1993. Ley General de Desarrollo Agropecuario y Pesquero (Federacion De Cafeteros , 2022).
- Ley 301 de 1996. “Por la cual se crea el Consejo Nacional Agropecuario y Agroindustrial” (Federacion De Cafeteros , 2022).

2.4.4 Legislación de investigación científica.

- Ley de Derechos de Autor, Ley 23 de 1982. “Esta ley establece las normas de protección de los derechos de autor, es decir, las creaciones originales de carácter literario, artístico y científico, como las obras literarias, artísticas, científicas, entre otras”. (Servicio Legal, 2023).

2.5 Marco contextual

El presente proyecto de investigación se llevará a cabo en la Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, con el objetivo Evaluar el combustible de tipo bioetanol obtenido a partir del mucílago de la especie Coffea arábica de la vereda Las Acacias en Pueblo Nuevo, Norte de Santander; para aumentar la sostenibilidad del beneficiadero. En la actualidad, las fincas cafeteras están en gran auge debido a los precios actuales de exportación del café, lo que ha generado que muchos caficultores que se habían retirado de gremio, volvieran a producir.

En particular, la producción del café en la zona de Ocaña resulta ser altamente contaminante debido a que los lixiviados que se generan del proceso de lavado del café no se le realiza los tratamientos adecuados para que cumplan con los estándares ambientales.

Actualmente los diferentes países están invirtiendo en energías renovables debido a la preocupación por la escasez de los combustibles fósiles, por tal razón el presente proyecto de investigación busca aprovechar la biomasa resultante del proceso de lavado del café para la producción de bioetanol, que puede tener varias aplicaciones dentro de la región.

En este contexto, el proyecto se enfocará en determinar la factibilidad de la producción de bioetanol a partir del mucilago del café de la vereda las acacias.

Al lograr estos objetivos, se espera fomentar la implementación de la producción de bioetanol alternativa sostenible y viable para la generación de recursos extras en el sector cafetero.

Asimismo, se espera que los resultados de esta investigación sirvan como base para futuros proyectos relacionados con el aprovechamiento de los subproductos del café que ayuden a promover la transición hacia un sistema energético más limpio y sustentable en la región de Ocaña, Norte de Santander y sus alrededores.

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de investigación.

El presente proyecto de investigación se basó en una metodología que combina enfoques experimentales y correlacionales para abordar de manera integral el problema de investigación planteado, esta metodología permite obtener una comprensión profunda de las variables involucradas, así como establecer relaciones causales y asociativas entre ellas (Ortiz Meneses, Carrillo Moreno, & Rojas Plata, 2017).

La metodología experimental se utilizó para examinar cuales son las características que presenta el bioetanol obtenido del mucílago de café, para esto se diseñó y se llevó a cabo experimentos cuidadosamente planificados, donde se manipularon las condiciones para establecer relaciones de causa y efecto y obtener los resultados esperados, este enfoque permitió probar hipótesis específicas y obtener conclusiones sólidas sobre las relaciones establecidas en el proyecto.

Por otro lado, también se empleó un enfoque correlacional que permitió estudiar los resultados obtenidos del análisis experimental mediante técnicas estadísticas, esto ayudó a distinguir patrones, tendencias, complementando así los resultados obtenidos a través del enfoque experimental.

Las combinaciones de estos dos enfoques metodológicos brindaron una visión más completa de la problemática que se está investigando. Mientras que la metodología experimental permitió establecer relaciones de causa y efecto, la metodología correlacional ayudó a identificar posibles asociaciones y patrones en el contexto real. Con estos enfoques se logró tener una comprensión más sólida y fundamentada de los fenómenos estudiados, así como respaldar las conclusiones con evidencia empírica.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

El universo poblacional está constituido por todas las plantas de especie *coffea arábica* de variedad castillo establecidas en los lotes dispuestos para la recolección del mucílago de la finca las Acacias en Pueblo Nuevo, Norte de Santander.

3.2.2 Muestra

La muestra utilizada en este proyecto de investigación fue el mucílago obtenido de plantas de la especie *Coffea arábica*, específicamente de la variedad Castillo. Esta muestra se recolectó de dos lotes designados para la recolección, siendo el primer lote recolectado el 6 de enero de 2023 y el segundo lote el 28 de enero de 2023. La elección de estas fechas se debió a que la cosecha del café en esta zona de Colombia se lleva a cabo únicamente una vez al año, y se optó por recolectar el mucílago al final de la cosecha.

3.3 Técnicas de recolección de información.

La técnica utilizada para la recolección de información fue mediante pruebas de laboratorio como:

- Ensayo de densidad.
- Medición de pH de la muestra.
- Prueba de Refractometría a la muestra.
- Medición de concentración de alcohol.
- Cálculo de eficiencia del bioetanol.

3.4 Recolección de información.

Se recolectaron datos experimentales como volumen y masa, brix, pH de los procesos de fermentación y destilación, y con esos datos se harán los cálculos respectivos.

3.5 Cronograma De Actividades.

Tabla 1. Cronograma de Actividades.

| ACTIVIDADES DEL PROYECTO | MESES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|
| | MES 1 | | | | MES 2 | | | | MES 3 | | | | MES 4 | | | | MES 5 | | | | MES 6 | | | |
| | SEMANAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| FASE 1: Identificar parámetros de fermentación, y características fisicoquímicas del mucilago de la especie coffea arábica para su futuro aprovechamiento en la generación de bioetanol en la finca las Acacias Pueblo Nuevo, Norte de Santander. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Revisión bibliográfica | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Identificación de las condiciones de fermentación para el mucilago | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Identificación de características fisicoquímicas del mucilago. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FASE 2: Diseñar un método experimental que permita la recuperación, fermentación y destilación del mucilago para la obtención de bioetanol y su posterior caracterización fisicoquímica. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Recolección del mucilago. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Realización del montaje experimental y obtención del bioetanol | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caracterización del Bioetanol. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FASE 3: Determinar la viabilidad técnica y económica de bioetanol obtenido a partir de mucilago, mediante un estudio de factibilidad en la finca Las Acacias, Pueblo Nuevo, Norte de Santander. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estudio de Viabilidad técnica. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Evaluación de los factores económicos del proyecto, por medio de un análisis coste-beneficio. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estimación de la viabilidad del proyecto por medio de un estudio de factibilidad. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Nota. Autor: (Elaboración propia).

3.6 Fases del proyecto de investigación.

Fase 1-(Objetivo 1). Parámetros de fermentación y características del Mucilago.

Actividades:

- Revisión bibliográfica. Para llevar a cabo la revisión bibliográfica, se consultaron diversas bases de datos, como Scopus, ScienceDirect y DialDet, donde se examinaron una amplia variedad de recursos, incluyendo artículos, libros y contenido de acceso abierto. Además, como parte de esta investigación, se asistió a una capacitación en el Centro de Investigación CENICAFE (Centro Nacional de Investigaciones del Café), que abordó todos

los aspectos relacionados con el proceso de beneficio húmedo del café y subrayó la importancia de la ingeniería y la investigación en la producción de café. Para enriquecer la formación, se hizo un diplomado en mecánica cafetera ofrecido por la Fundación Manuel Mejía. Además, se realizaron visitas a diversas fincas en el Norte de Santander, incluyendo municipios como Pueblo Nuevo, Buena Vista y Hacarí. Estas visitas proporcionaron una visión práctica de cómo se gestionan actualmente los subproductos del café y el proceso de producción en general. Todas estas acciones se llevaron a cabo con el propósito de adquirir un conocimiento sólido sobre el proceso de producción de café en Colombia, la meta es desarrollar un proyecto que se enfoque de manera efectiva en las fincas cafeteras de la región del Norte de Santander.

- Identificación de las condiciones de fermentación para el mucílago. Para llevar a cabo esta actividad, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura. Durante esta revisión, se identificaron los ~~parámetros~~ ~~condiciones~~ ~~necesarios~~ ~~para~~ ~~evaluar~~ ~~la~~ ~~eficiencia~~ ~~del~~ ~~proceso~~ ~~de~~ ~~fermentación~~ ~~y~~ ~~obtener~~ ~~bioetanol~~ ~~a~~ ~~partir~~ ~~de~~ ~~diversas~~ ~~fuentes~~ ~~de~~ ~~biomasa~~. Además, se tomaron en cuenta los parámetros empleados en investigaciones previas relacionadas con la obtención de bioetanol a partir del mucílago del café.
- Identificación de características fisicoquímicas del mucílago. Para llevar a cabo esta actividad, se realizó una revisión bibliográfica detallada en la que se identifican los valores teóricos asociados con la densidad, los grados Brix y el pH del mucílago.

Fase 2-(Objetivo 2). Diseño experimental para la obtención del bioetanol.

Actividades:

- Recuperación del mucílago. La recolección del mucílago se hizo en la finca las Acacias ubicada en un corregimiento de Ocaña llamado Pueblo Nuevo, que se encuentra a una altitud de 1671 metros sobre el nivel del mar. Ésta finca tiene una producción

relativamente pequeña, con solo 5 hectáreas de cultivo de café. En la figura 19 se presenta una fotografía panorámica de los cafetales. El proceso de beneficio del café de la finca cafetera se realiza mediante un módulo Becolsub (Figura 20), lo que la convierte en un lugar ideal para la recolección del mucilago, ya que este se encuentra en su estado puro.

Figura 19. Cafetales finca Las Acacias Pueblo Nuevo, Norte de Santander



Nota. Autor (Elaboración propia).

Figura 20. Módulo Becolsub de la finca las Acacias Pueblo Nuevo, Norte de Santander.

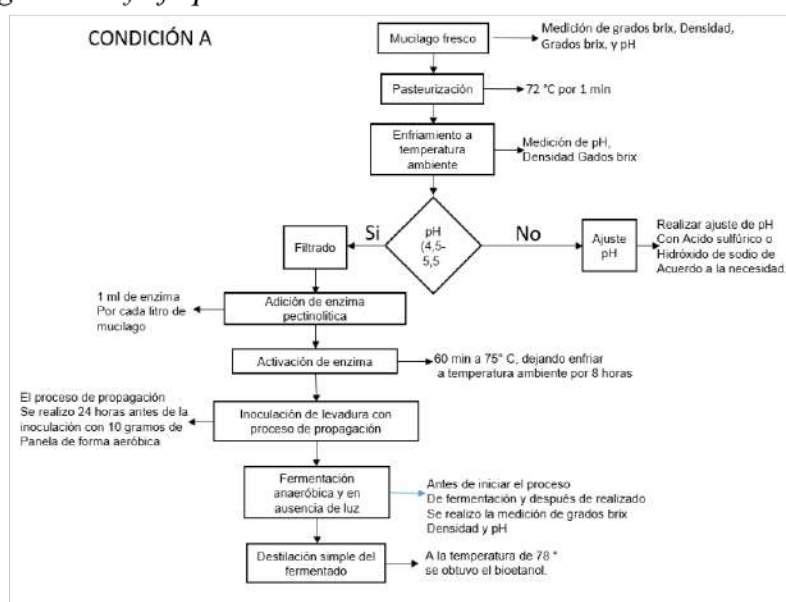


Nota. Autor (Elaboración Propia).

- Realización del montaje experimental para la obtención del bioetanol. En una primera etapa, se realizó una exhaustiva recopilación de parámetros relevantes, partiendo de la revisión

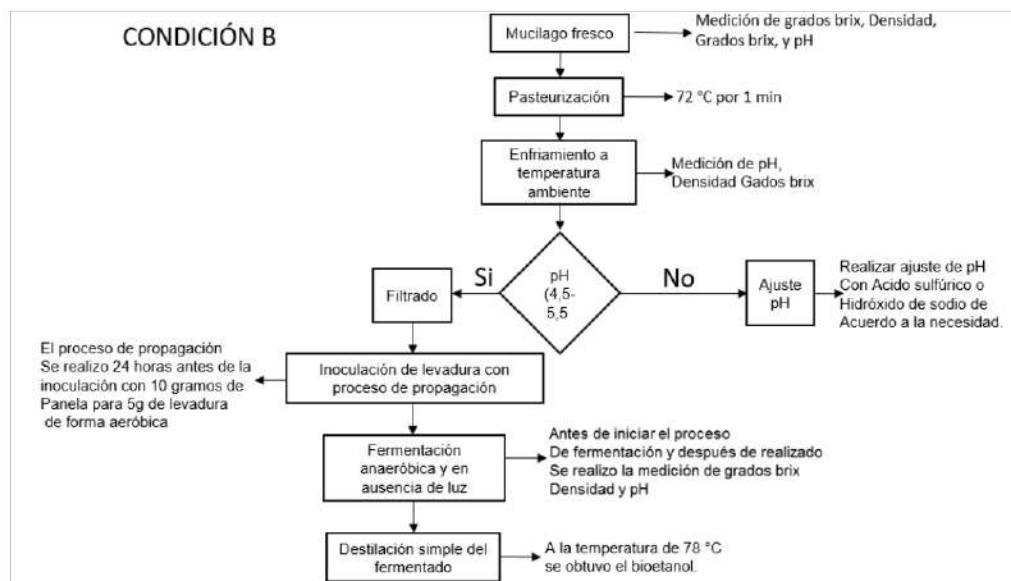
de los antecedentes del proyecto y se llevaron a cabo mediciones de propiedades tanto físicas como químicas del mucílago recolectado. Las propiedades físicas incluyen la medición de los grados Brix, realizada con un refractómetro de mano, y la determinación de la densidad, llevada a cabo mediante un picnómetro. Además, se realizaron mediciones de propiedades químicas, en particular la medición del pH, para lo cual se empleó un pH-metro digital. A partir de este análisis, se definieron tres parámetros clave, y para cada uno de ellos se utilizaron tres muestras de 100 ml de mucílago. Las dos variables principales bajo estudio fueron la hidrólisis enzimática, que se aplicó únicamente en las condiciones A y C. Consistió en utilizar 1 ml de enzima pectinolítica por cada litro de mucílago, a 70°C durante 60 minutos, seguido de un reposo a temperatura ambiente durante 8 horas antes de continuar con el proceso especificado. La propagación de la levadura se llevó a cabo solo en las condiciones A y B e implicó dejar 10 gramos de panela en cada muestra por cada 5 gramos de levadura, durante 24 horas de forma aeróbica antes de añadirla al mucílago dispuesto para fermentar. Los procesos detallados de las condiciones A, B y C se muestran en las figuras 21, 22 y 23. En cuanto a la destilación, se aplicó el mismo procedimiento para todos los parámetros, utilizando la destilación simple.

Figura 21. Diagrama de flujo proceso de obtención bioetanol condición A.



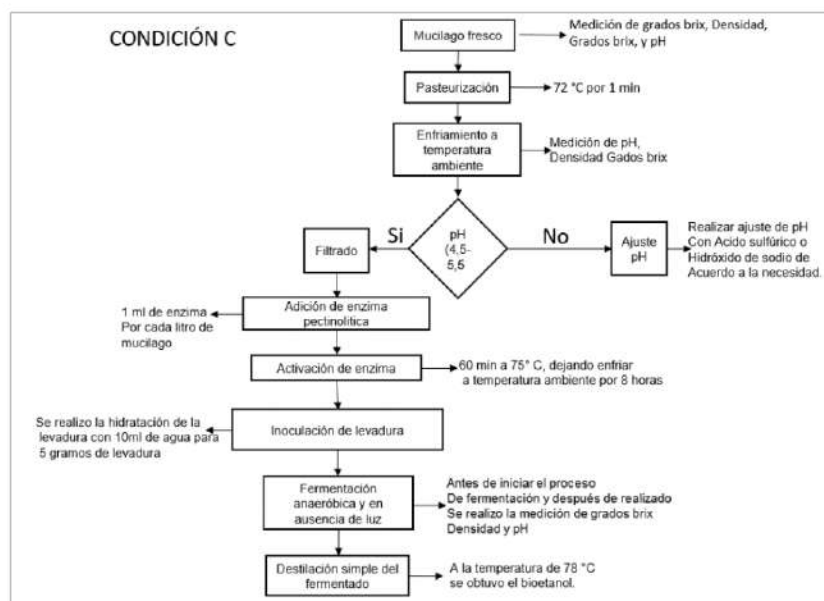
Nota. Éste diagrama de flujo se utilizó para la obtención de bioetanol de las tres muestras del parámetro de la condición A, Autor (Elaboración propia).

Figura 22. Diagrama de flujo proceso de obtención bioetanol condición B.



Nota. Éste diagrama de flujo se utilizó para la obtención de bioetanol de las tres muestras del parámetro de la condición B, Autor (Elaboración propia).

Figura 23. Diagrama de flujo proceso de obtención bioetanol condición C.



Nota. Éste diagrama de flujo se utilizó para la obtención de bioetanol de las tres muestras del parámetro de la condición C, Autor (Elaboración propia).

- Caracterización del Bioetanol. Se llevaron a cabo diversos ensayos fisicoquímicos en las muestras de bioetanol obtenidas, incluyendo la medición de la densidad, la concentración de alcohol, el pH y el cálculo del rendimiento del proceso productivo del bioetanol. La concentración de alcohol se indica en cada muestra mediante un refractómetro digital,

registrando los grados Brix antes y después de la fermentación. La medición del pH se realizó con un pH-metro digital, y los cálculos de rendimiento del bioetanol se llevaron a cabo utilizando la siguiente ecuación 1.

Ecuación 1 *Rendimiento del bioetanol*

$$\eta = \frac{\text{Volumen del fermentado}}{\text{Volumen del bioetanol obtenido}} * 100$$

Nota. Autor (Elaboración propia).

Fase 3-(Objetivo 3). Análisis de factibilidad.

Actividades:

- Estudio de Viabilidad técnica. En una primera etapa, se efectuó un inventario de los recursos técnicos necesarios, incluyendo equipos, herramientas, materiales y personal, con el propósito de determinar si existen suficientes activos disponibles para llevar a cabo el proyecto con éxito. Posteriormente, se evaluó la viabilidad de los métodos o tecnologías que se tenían previsto utilizar, y se confirmó si se contaba con las habilidades necesarias para la ejecución del proyecto. Además de esto, se realizaron los cálculos pertinentes para determinar la capacidad requerida de los equipos en relación con la producción de café en la finca.
- Evaluación de los factores económicos del proyecto. Se calculó la inversión para poner en marcha el proyecto y por medio de un análisis de coste-beneficio, se determinó la viabilidad económica.
- Estimación de la viabilidad del proyecto. Se realizó un Resumen de los hallazgos de los análisis anteriores y se presentó una evaluación general de la viabilidad del proyecto en donde se decidió si el proyecto era factible o no proporcionando recomendaciones basadas en los resultados.

Capítulo 4. Desarrollo de actividades propuestas

4.1 Fase I. Identificar parámetros de fermentación y características fisicoquímicas del mucilago de la especie *coffea arábica* para su futuro aprovechamiento en la generación de bioetanol en la finca las Acacias Pueblo Nuevo, Norte de Santander.

Este objetivo se cumplió mediante las actividades que se presentan a continuación:

4.1.1 Revisión bibliográfica.

En la revisión bibliográfica, se identificaron parámetros clave para la conversión de una materia prima en bioetanol, siendo esencial que la concentración de azúcares fermentables esté en el rango del 10 al 20% en la biomasa, ya que estos azúcares son los que se convertirán en bioetanol (Acosta Romero, 2012) (Vazques & Dacosta, 2007). Además, se destacaron otros parámetros importantes en el proceso de fermentación, como el pH idealmente entre 4.5 y 5.5 (Blandón Navarro & Castillo, B., & López, 2013). La temperatura de fermentación ideal se sitúa en el rango de 25°C a 30°C, y esta temperatura puede variar según el tipo de microorganismo utilizado en el proceso. Se recomienda el uso de levaduras, ya que, aunque su proceso de fermentación es relativamente lento, presentan la ventaja de separarse con mayor facilidad después de la fermentación. Entre las levaduras más eficientes en este proceso, destaca la *Saccharomyces cerevisiae*, que se utiliza ampliamente en la industria para la producción de bioetanol. Además, es importante seguir las recomendaciones del fabricante en la elección de la cepa de levadura, ya que esta elección se ha revelado como un factor crítico para garantizar la eficiencia del proceso (Llangari Sibri, 2018).

En el contexto de la obtención de bioetanol a partir de mucilago de café, se reconoció la importancia de realizar la hidrólisis enzimática con enzimas pectinolíticas (Flores Pardo, Valencia Castillo, Velez Duran, Jurado Rosero, & Lozano Moreno, 2022), ya que el mucilago de café contiene pectinas que esta enzima ayuda a degradar, aumentando así la cantidad de azúcares fermentables. Además, se destacó la necesidad de buscar alternativas para los

subproductos, como el mucílago y la pulpa, debido a su impacto ambiental en la contaminación del agua residual (Flores Pardo, Valencia Castillo, Velez Duran, Jurado Rosero, & Lozano Moreno, 2022).

Durante la capacitación brindada por cenicafé se subrayó la integralidad del proceso de beneficio del café como un factor crucial para garantizar una alta calidad en la taza de café. Se destacó la importancia de un manejo especial de los subproductos, como el mucílago y la pulpa, con el objetivo de minimizar su impacto ambiental. Por lo tanto, la investigación actual se enfoca en la búsqueda de aplicaciones para estos subproductos.

Por otro lado, el diplomado realizado proporcionó un profundo conocimiento sobre las máquinas utilizadas en el proceso de beneficio del café, su mantenimiento y la relevancia de contar con un beneficiario eficiente para maximizar las ganancias económicas en la producción de café. Además, las visitas a diversas fincas permitieron observar cómo se gestionan actualmente los subproductos del café y el proceso de producción en general. En este contexto, se observó que la mayoría de las fincas no implementan de control ambiental en la disposición del mucílago y la pulpa del café, lo que genera una creciente preocupación en relación con el impacto ambiental causado por estos residuos.

4.1.2 Identificación de las condiciones de fermentación para el mucílago.

Se identifican parámetros esenciales en el proceso de fermentación, tales como el pH, la temperatura de fermentación, el porcentaje de azúcar en la biomasa, el proceso de pasteurización y el tipo de fermentación. La Tabla 2 presenta los rangos ideales para llevar a cabo el proceso de fermentación.

Tabla 2. *Parámetros esenciales en el proceso de fermentación.*

| PARAMETROS DE FERMENTACION | |
|----------------------------|---------------------------------|
| pH | 4,5-5,5 |
| TEMPERATURA | 30°C-40°C |
| PAUSTERIZACION | 75°C-80°C POR 1 MIN |
| TIPO DE FERMENTACION | ANAEROBICA |
| MICROORGANISMO | LEVADURA |
| LEVADURA | <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i> |

Nota. Autor (Elaboración propia).

4.1.3 Identificación de características fisicoquímicas como la densidad, grados brix y pH del mucilago.

Durante la revisión bibliográfica, se identificaron los valores teóricos del mucílago en cuanto a densidad, °Bx (grados Brix) y pH. Se encontraron las siguientes especificaciones: un pH de 5.5, una densidad de 1.125 g/ml y un contenido de 7 °Bx.

4.2 Fase II. Diseñar un método experimental que permita la recuperación, fermentación y destilación del mucilago para la obtención de bioetanol y su posterior caracterización fisicoquímica.

Este objetivo se cumplió mediante las actividades que se presentan a continuación:

4.2.1 Recuperación del mucilago.

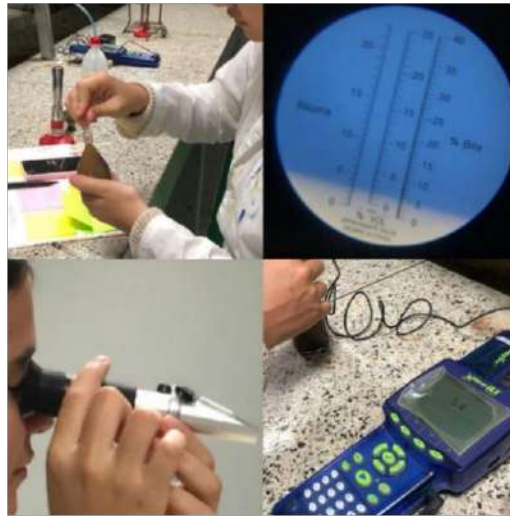
Se recolectaron 6 litros de mucílago fresco de la variedad Castillo, que es la variedad predominante en el cafetal. El mucílago recolectado se sometió a un proceso de criogenización para preservar sus propiedades hasta el momento del experimento.

4.2.2 Realización del montaje experimental para obtención del bioetanol.

- **Propiedades Fisicoquímicas del mucilago.** La primera etapa de la preparación del montaje experimental para la obtención de bioetanol involucró la medición de las

propiedades fisicoquímicas del mucílago. Los resultados de estas mediciones arrojaron los siguientes valores: un pH de 5.4, una densidad de 1.115g/ml y 5 °Bx. En la figura 24 se detalla el proceso de medición. Es relevante destacar que estos valores se mantuvieron consistentes en todo el mucílago recolectado para el experimento, y es importante subrayar que dichos valores se encuentran dentro de los límites teóricos encontrados.

Figura 24. *Medición de densidad, brix y pH del mucilago de la finca las Acacias.*



Nota. Autor (Elaboración propia).

- **Pasteurización.** Una vez que se midieron las propiedades fisicoquímicas del mucílago, se procedió a realizar el proceso de pasteurización, el cual se llevó a cabo a 75°C durante 1 minuto en un baño María. Este paso tenía como objetivo eliminar cualquier microorganismo que pudiera influir en los resultados del experimento. En la Figura 25 se muestra el montaje utilizado para llevar a cabo este procedimiento.

Tras finalizar el proceso de pasteurización, se volvieron a medir las propiedades de densidad, pH y °Bx. Los resultados seguían siendo consistentes, con un pH de 5.4, una densidad de 1.115 g/ml y 5 °Bx.

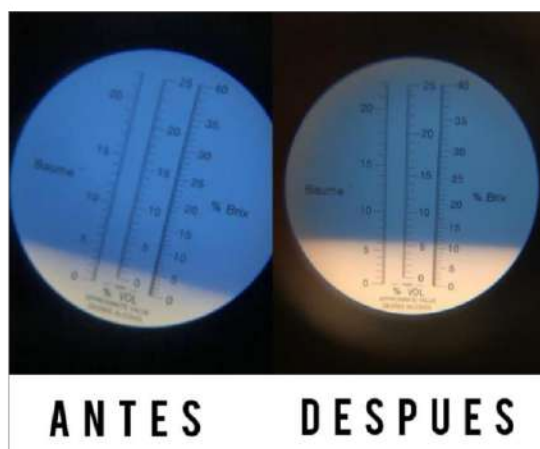
Figura 25 Montaje experimental de la pasteurización.



Nota. Autor (Elaboración propia).

- **Hidrolisis enzimática.** Se realizó el proceso de hidrolisis utilizando una enzima pectinolítica, se adiciono 1 ml de enzima por 1 litro de mucilago. Después de completar el proceso de hidrólisis enzimática, se procedió a medir nuevamente los °Bx, el pH y la densidad. Los resultados mostraron que los valores de pH y densidad se mantuvieron constantes en 5.4 y 1.115 g/ml, respectivamente. Sin embargo, los grados Brix aumentaron de 5° a 11 °Bx. En la Figura 26 se presenta una comparación de los resultados de los grados Brix antes y después de la hidrólisis enzimática, este proceso se realizó para las condiciones A y C.

Figura 26. Comparación de resultados de medición de °Bx antes y después de la hidrolisis enzimática.



Nota. El proceso de hidrolisis enzimática con enzimas pectinolíticas aumento considerablemente los ° brix de la muestra, Autor (Elaboración Propia).

- **Propagación de la levadura.** Paralelamente al proceso de hidrólisis, se llevó a cabo la propagación de levadura. Es importante destacar que, para cada muestra de 100 ml, se inoculó con 5 gramos de levadura, a la cual se le habían añadido previamente 10 gramos de panela (*Saccharum officinarum*). Esta etapa de propagación se realizó durante 24 horas en condiciones aeróbicas con el objetivo de estimular su crecimiento. La Figura 27 ilustra la levadura con la panela tras haber transcurrido las 24 horas de propagación.

Figura 27. *Propagación de levadura para las condiciones A y B.*



Nota. Autor (Elaboración propia).

- **Fermentación.** El proceso de fermentación se llevó a cabo de acuerdo con los parámetros establecidos en la Tabla 3 que se detallan en la actividad sobre las condiciones de fermentación del mucílago. El montaje se realizó utilizando 9 balones aforados de 250 ml, tal como se muestra en la Figura 28. La temperatura se midió al momento de realizar el montaje, asegurándose de que fuera de 30°C y se midieron propiedades como los grados brix, densidad y pH, valores que se ven registrados en la Tabla 4. Además, se preservó utilizando una cava de icopor y una bolsa de polietileno con el propósito de proteger las muestras de la luz solar, dado que la fermentación se llevó a cabo en ausencia de luz, el tiempo total de fermentación se extendió a lo largo de 7 días.

Tabla 3 Especificaciones del diseño experimental en el proceso de fermentación.

| DISEÑO EXPERIMENTAL | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------|-----------------------|----|---------------------------------|----|
| PROCESO DE FERMENTACION (CONTROLADA) | | | | | | | | | |
| PARAMETROS | PAUSTERIZACION | TEMPERATURA DE PAUSTERIZACION | TIEMPO DE FERMENTACION | NOMBRE DE LEVADURA | GRAMOS DE LEVADURA | HIDROLISIS ENZIMATICA | | PROPAGACION DE LEVADURA | |
| | | | | | | SI | NO | SI | NO |
| CONDICIONES A | SI | 72°C POR 1 MIN | 7 dias | <i>saccharomyces cerevistae</i> | 50g/L | X | | X | |
| CONDICIONES B | | | | | | | X | X | |
| CONDICIONES C | | | | | | X | | | X |
| PARAMETROS | TEMPERATURA DE FERMENTACION | | | HUMEDAD RELATIVA | | TIPO DE FERMENTACION | | FERMENTACION EN AUSENCIA DE LUZ | |
| | ANAEROBICA | AEROBICA | SI | NO | | | | | |
| CONDICIONES A | 30°C con agitación cada 10 horas | | | 76% | | X | | X | |
| CONDICIONES B | | | | | | | | | |
| CONDICIONES C | | | | | | | | | |

Nota. Autor (Elaboración propia).

Figura 28. Montaje de fermentación, balones aforados.

Nota. Autor (Elaboración propia).

Tabla 4. Resultados medición de densidad, °brix y pH antes de la fermentación.

| MEDICION DE PROPIEDADES FISICOQUIMICAS ANTES DE LA FERMENTACION | | | | |
|---|---------|----------------|-----|--------|
| CONDICION | MUESTRA | DENSIDAD(g/mL) | pH | ° BRIX |
| A | A1 | 1,099 | 6,1 | 33° |
| | A2 | | | |
| | A3 | | | |
| B | B1 | 1,123 | 4,7 | 11° |
| | B2 | | | |
| | B3 | | | |
| C | C1 | 0,85 | 5,6 | 26° |
| | C2 | | | |
| | C3 | | | |

Nota. Autor (Elaboración propia).

- **Destilación.** Previo a la destilación, se llevaron a cabo las mediciones de densidad, grados Brix y pH para cada una de las condiciones. Los valores correspondientes de cada condición se presentan en la Tabla 5. Luego, se procedió a realizar el proceso de destilación para cada muestra. Para el montaje de la destilación, se empleó un sistema de destilación simple que incluyó un balón con desprendimiento lateral, un termómetro, un matraz, un mechero y dos soportes universales, como se muestra en la Figura 29.

El bioetanol se obtuvo a una temperatura de 78°C, y los valores de etanol obtenidos de cada muestra se detallan en la Tabla 6.

Tabla 5. Resultados medición de densidad, °Bx y pH después de la fermentación.

| MEDICION DE PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DEL FERMENTADO | | | | |
|---|---------|----------------|-----|--------|
| CONDICION | MUESTRA | DENSIDAD(g/mL) | pH | ° BRIX |
| A | A1 | 1,098 | 5,5 | 2° |
| | A2 | | | |
| | A3 | | | |
| B | B1 | 1,098 | 5,4 | 7° |
| | B2 | | | |
| | B3 | | | |
| C | C1 | 0,846 | 5,7 | 15° |
| | C2 | | | |
| | C3 | | | |

Nota. Autor (Elaboración Propia).

Figura 29. Montaje experimental para la destilación



Nota. Autor (Elaboración propia).

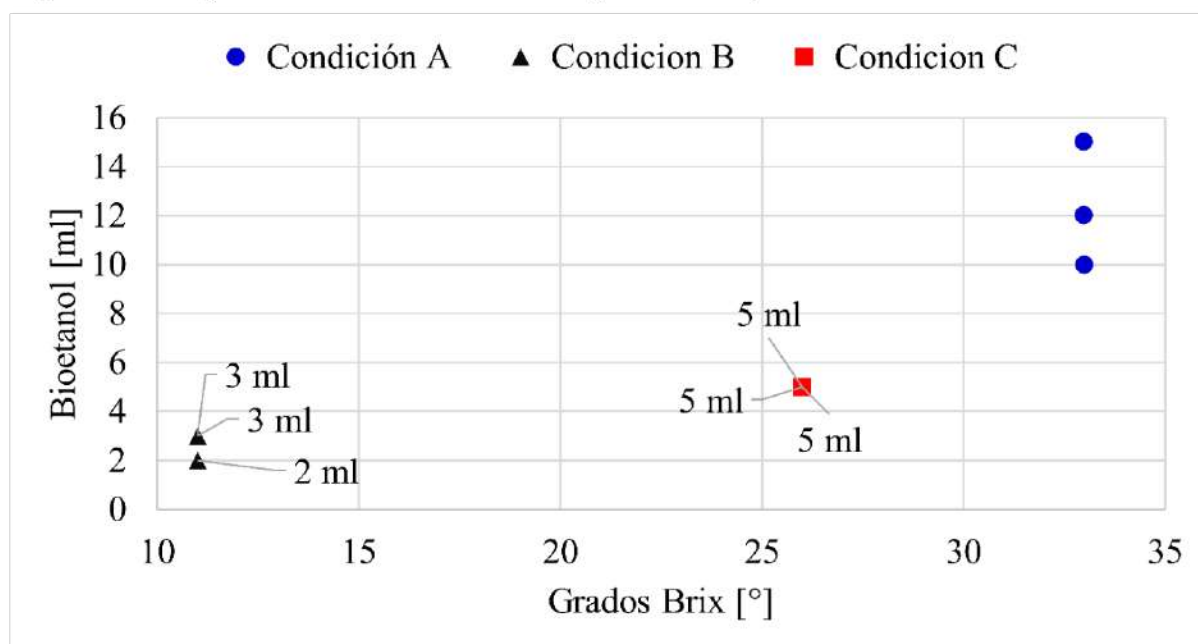
Tabla 6. Bioetanol obtenido por cada muestra de 100 ml de mucilago.

| RESULTADOS DE BIOETANOL OBTENIDO DE CADA MUESTRA | | |
|---|----------------|------------------------|
| CONDICION | MUESTRA | mL DE BIOETANOL |
| A | A1 | 10 |
| | A2 | 12 |
| | A3 | 15 |
| B | B1 | 3 |
| | B2 | 2 |
| | B3 | 3 |
| C | C1 | 5 |
| | C2 | 5 |
| | C3 | 5 |

Nota. Autor (Elaboración propia).

Se logró la obtención de bioetanol a partir del mucilago de la finca Las Acacias en Pueblo Nuevo, Norte de Santander. Los resultados más favorables se observaron al utilizar la condición A, lo que sugiere que tanto el proceso de hidrólisis enzimática como la propagación de la levadura contribuyeron a una mayor eficiencia del proceso. Además, se puede afirmar que a medida que el fermentado presenta una mayor concentración de ° Bx, el porcentaje de obtención de bioetanol es mayor. La relación entre los °Bx del fermentado y la cantidad de bioetanol obtenido se muestra en la Figura 30.

Figura 30. Gráfico de relación de los °Bx del fermentado y los ml de bioetanol obtenido.



Nota. Autor (Elaboración Propia).

La gráfica representa la relación entre los grados Brix obtenidos en el fermentado y la cantidad de bioetanol obtenido en cada muestra de todas las condiciones. A partir de esta representación gráfica, se puede concluir que a medida que la concentración de grados Brix en el fermentado aumenta, la cantidad de bioetanol obtenido también se incrementa. En otras palabras, existe una correlación positiva entre la concentración de grados Brix y la producción de bioetanol.

4.2.3 Caracterización del bioetanol.

- **Concentración de alcohol.** En la Tabla 7 se muestran los valores obtenidos de grados brix antes y después de la fermentación alcohólica.

Tabla 7. Grados brix obtenidos antes y después de la fermentación alcohólica.

| °BRIX ANTES Y DESPUES DE LA FERMENTACION | | |
|--|-------------|---------------|
| CONDICION | °BRIX ANTES | °BRIX DESPUES |
| A | 33° | 2° |
| B | 11° | 7° |
| C | 26° | 15° |

Nota. Autor (Elaboración propia).

Los resultados obtenidos para el porcentaje de alcohol en las diferentes condiciones fueron los siguientes: en la condición A, se registró un 27.96% de alcohol; en la condición B, se obtuvo un 3.09% de alcohol; finalmente, en la condición C, se observó un porcentaje de 10.14% de alcohol. Cabe destacar que todos los porcentajes mencionados representan el % de alcohol en relación con el volumen total, y en cada caso, se destiló la muestra utilizando 100 ml de mucílago.

Los valores obtenidos indican que, en el caso de la condición A, el 27.96% de los 100 ml utilizados en la fermentación corresponde a alcohol. Esto equivaldría a decir que, para la condición A, en el proceso de destilación, lo ideal habría sido obtener 27 ml de alcohol. Para la condición C, la cantidad deseada habría sido de 10.14 ml, y para la condición B, 3.09 ml.

- **pH del bioetanol obtenido.** Las mediciones del pH de las muestras arrojaron los siguientes resultados: la Condición A presentó un pH de 5.3, la Condición B registró un pH de 5.8, y la Condición C también obtuvo un pH de 5.8. En la Figura 31 se pueden observar los resultados de estas mediciones, realizadas con un pH-metro digital.

Figura 31. Resultados medición de pH en las muestras de bioetanol obtenido.



Nota. Autor (Elaboración propia).

- **Densidad.** La densidad de cada muestra se halló utilizando un picnómetro. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: para la condición A, se encontró una densidad de 0.79 g/mL; para la condición B, 0.68 g/mL; y para la condición C, una densidad de 0.96 g/mL. La densidad del etanol es de 0.78 g/mL, lo que indica que la condición que más se acercó a esta densidad fue la condición A.

- **Cálculos del rendimiento del proceso de obtención de bioetanol.** Para calcular el rendimiento del proceso de obtención de bioetanol se utilizó la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{\text{Volumen del fermentado}}{\text{Volumen del bioetanol obtenido}} * 100$$

Los resultados de los rendimientos de cada muestra se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. % de rendimiento de las muestras de bioetanol obtenido.

| RENDIMIENTO DEL BIOETANOL OBTENIDO | | |
|------------------------------------|---------|---------------|
| CONDICION | MUESTRA | % RENDIMIENTO |
| A | A1 | 10% |
| | A2 | 12% |
| | A3 | 15% |
| B | B1 | 3% |
| | B2 | 2% |
| | B3 | 3% |
| C | C1 | 5% |
| | C2 | 5% |
| | C3 | 5% |

Nota. Autor (Elaboración propia).

Los mejores resultados del proceso se obtuvieron en las muestras que se llevaron a cabo siguiendo los parámetros de la Condición A. Esto sugiere que tanto el proceso de hidrólisis como la propagación de la levadura son aspectos críticos en la producción de bioetanol a partir del mucílago de café.

4.3 Fase III. Determinar la viabilidad técnica y económica de bioetanol obtenido a partir de mucílago, mediante un estudio de factibilidad en la finca Las Acacias, Pueblo Nuevo, Norte de Santander.

El cumplimiento de esta fase se dio mediante las actividades que se detallan a continuación.

4.3.1 Estudio de Viabilidad técnica.

Se realizó un inventario de los equipos, materiales y personal para evaluar la viabilidad del proyecto en la Finca Las Acacias, ubicada en Pueblo Nuevo, Norte de Santander. Los equipos necesarios para llevar a cabo el proyecto incluyen: una despulpadora, zaranda, desmucilagador, equipo de pasteurización y destilador.

La Finca Las Acacias ya cuenta con un módulo Becolsub que contiene la despulpadora, zaranda y desmucilagador en excelente estado, como se puede apreciar en la Figura 32. Sin embargo, no se dispone de equipo de pasteurización ni de destilador.

En cuanto a los materiales, la materia prima utilizada para la producción de bioetanol es un residuo del proceso de beneficio, lo que significa que no genera costos adicionales y puede obtenerse en la misma finca. Es necesario realizar cálculos para estimar las cantidades de levadura y enzima pectinolítica que se utilizarán en una cosecha para la producción de bioetanol.

Por otro lado, se carece de personal capacitado para llevar a cabo el proceso de producción de bioetanol, ya que se necesita personal con habilidades y conocimientos especializados debido a la complejidad del proceso. Conociendo lo que se tiene y lo que falta, es esencial determinar las capacidades necesarias para los equipos que faltan.

Para determinar la capacidad requerida de los equipos de pasteurización y destilación, es esencial conocer la cantidad de mucílago que llegará al beneficio durante el día pico de la cosecha. Esta información se obtiene mediante los siguientes cálculos:

La Finca Las Acacias abarca un área de 5 hectáreas de café, y se produce un total de 750 arrobas de café pergamino seco (cps) al año. Esto equivale a 9.375 kilos de cps anualmente. Para encontrar el flujo de café que ingresa al beneficio durante el día pico de la cosecha, se multiplica la producción anual por el 2.5%, que representa la proporción correspondiente al día de mayor recolección y se convierte el cps en café cereza(cc), que es el fruto que llega al beneficio, dado que la relación entre el cc y cps es de 1 a 5, se multiplica la producción anual de café pergamino seco por 5 y luego por el 2.5% para estimar la cantidad de café cereza que se espera que llegue al beneficio durante el día pico de la cosecha. Según estos cálculos, se prevé que ingresen al beneficio 1171 kilos de café cereza.

Además, se sabe que por cada kilo de café cereza se producen aproximadamente 91 ml de mucílago. Por lo tanto, durante el día pico, se generaría alrededor de 106.5 litros de mucílago. Para garantizar la eficiencia de las operaciones en la finca, tanto el destilador como

el equipo de pasteurización deben tener la capacidad necesaria para manejar esta cantidad de mucílago.

Las enzimas pectinolíticas se dosifican de acuerdo con la cantidad de café que se produce en la finca, que equivale a 46875 kilos de café cereza, lo que resulta en 4265 litros de mucílago en cada cosecha. Para tratar esta cantidad de mucílago, se requerirían 426.5 ml de enzima pectinolíticas y 31 kilos de levadura.

Para la ejecución exitosa del proyecto, es crucial llevar a cabo capacitaciones para el personal actualmente a cargo del beneficiario ya que la producción de bioetanol es un proceso químico que requiere una supervisión precisa para obtener buenos resultados.

En lo que respecta a la maquinaria del beneficio, a pesar de su buen estado, es esencial implementar planes de mantenimiento adecuados. Esto es fundamental para garantizar que el mucílago obtenido sea de la mayor pureza posible y contenga una cantidad mínima de agua, lo que, a su vez, contribuirá a aumentar la eficiencia del proceso de producción de bioetanol.

Figura 32. *Módulo becolsub finca las Acacias*



Nota. Autor (Elaboración propia).

4.3.2 Evaluación de los factores económicos del proyecto.

Para llevar a cabo la ejecución del proyecto, a pesar de contar con una parte importante de la infraestructura necesaria en la finca, es imprescindible realizar una inversión en los equipos faltantes, que incluyen el destilador y el equipo de pasteurización. Además, se requiere adquirir enzimas para llevar a cabo la hidrólisis y levadura de cerveza.

Por lo tanto, se llevó a cabo una cotización teniendo en cuenta las capacidades requeridas de los equipos, así como las cantidades necesarias de levadura y enzimas. Los precios de cada equipo se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Cotización equipos.

| COTIZACION EQUIPOS | | |
|--------------------|------------|--------------|
| EQUIPOS | CAPACIDAD | PRECIO |
| DESTILADOR | 100 LITROS | \$6 000 000 |
| PAUSTERIZADOR | 100 LITROS | \$6 200 000 |
| TOTAL | | \$12 200 000 |

Nota. Autor (Elaboración propia).

Además, se elaboró un presupuesto que detalla los costos de mano de obra, insumos y materiales empleados en la producción de bioetanol, como se muestra en la Tabla 10. Estos gastos son una consideración importante en cada cosecha. Para la creación del presupuesto, se llevó a cabo un análisis de los costos unitarios, tal como se presenta en la Tabla 11.

Tabla 10. Presupuesto mano de obra materiales e insumos.

| PRESUPUESTO | | | | | |
|--|----------------------|--------|----------|----------------|----------------|
| OBJETO: MANO DE OBRA PRODUCCION, MATERIALES E INSUMOS UTILIZADOS EN LA PRODUCCION DE DE BIOETANOL EN LA FINCA LAS ACACIAS DEL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER | | | | | |
| | | | | | |
| PRODUCCION DE BIOETHANOL EN LA FINCA LAS ACACIAS UBIADA EN PUEBLO NUEVO DEL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER | | | | | |
| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| 1,1 | Produccion bioetanol | Lt | 639.75 | \$4 273 | \$2 273 651.75 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| TOTAL | | | | | \$2 273 651.75 |

Nota. Autor (Elaboración propia).

Tabla 11 Análisis de precios unitarios.

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | | |
|--|-------|-----------------------|-----------|--------------|-----------|-----------------|
| PRODUCCION BIOETANOL DE LA FINCA LAS ACACIAS EN PUEBLO NUEVO, NORTE DE SANTANDER | | | | | | |
| CAPITULO: | | | | | | ITEM: |
| 1,00 | | | | | | - |
| | | | | | | |
| UNIDAD: LT | | ACTIVIDAD: | | | | - |
| | | | | | | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | TIPO | CANT. | T/HORARIA | REND. | VR. UNIT. | |
| HERRAMIENTA MENOR (10%M.O) | | % | 1.157,00 | | 116,00 | |
| | | SUBTOTAL MATERIALES | | | | 116,00 |
| MATERIALES | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | | UNID. | PR. UNIT | CANT. | VR. UNIT. | |
| LEVADURA | | KG | 56.000,00 | 0,05 | 2.800,00 | |
| ENZIMA | | ML | 200,00 | 1,00 | 200,00 | |
| | | SUBTOTAL EQUIPOS | | | | 3.000,00 |
| TRANSPORTE DE MATERIALES | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | M3/km | CANT. | DISTANCIA | TARIFA | VR. UNIT. | |
| | | SUBTOTAL EQUIPOS | | | | |
| MADO DE OBRA | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | No. | SALARIO | % PREST | JORNAL | REDN/DIA | VR. UNIT. |
| OBRERO | 1,00 | \$ 33.333,00 | 1,85 | \$ 61.666,00 | 53,31 | 1.157,00 |
| | | SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | | 1.157,00 |
| | | TOTAL COSTOS DIRECTOS | | | | 4.273,00 |

Nota. Autor (Elaboración propia).

Para llevar a cabo la implementación del proyecto, se requiere una inversión de \$14,473,651. Para realizar un análisis de costo-beneficio, es necesario calcular la ganancia

anual que se obtendría con la puesta en marcha de la planta de bioetanol. Según los rendimientos obtenidos en el experimento, la producción anual proyectada sería de 4265.6 litros de mucilago, equivalente a 639.75 litros de bioetanol. Actualmente, el precio de 1 litro de bioetanol es de \$17,000. Por lo tanto, en una sola cosecha, la ganancia proyectada sería de \$10,875,750. Para estimar la viabilidad económica del proyecto, es necesario calcular el Valor Neto Actual (VAN) utilizando la ecuación 2, la Tasa Interna de Retorno (TIR) a través de la ecuación 3 y el Período de Recuperación de la Inversión (PR) mediante la ecuación 4.

Ecuación 2. *Valor neto actual*

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

V_t representa los flujos de caja en cada periodo t .

I_0 es el valor del desembolso.

n es el número de periodos considerado

k es el tipo de interés

Ecuación 3. *Tasa interna de retorno*

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

Ecuación 4. *Periodo de recuperación de la inversión.*

$$PRI = \frac{a + (b - c)}{d}$$

a. Año inmediato anterior en que se recupera la inversión

b. Inversión inicial

c. Flujo de efectivo acumulado de año inmediato anterior en el que se recupera la inversión.

d. Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión.

El proyecto se evaluó en el transcurso de 5 años considerando una tasa del 10% anual, en la Tabla 12 se muestran los valores obtenidos.

Tabla 12. Cálculos del VAN, VNA, TIR, y PR.

| AÑOS | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Flujo de fondos | -\$ 14.473.651,00 | \$ 10.875.750,00 | \$ 10.875.750,00 | \$ 10.875.750,00 | \$ 10.875.750,00 | \$ 10.875.750,00 |
| Saldo actualizado 10 % | -\$ 14.473.651,00 | \$ 9.887.045,45 | \$ 8.988.223,14 | \$ 8.171.111,95 | \$ 7.428.283,59 | \$ 6.752.985,08 |
| Saldo actualizado acumulado | -\$ 14.473.651,00 | -\$ 4.586.605,55 | \$ 4.401.617,60 | \$ 12.572.729,54 | \$ 20.001.013,13 | \$ 26.753.998,21 |
| TASA | 10% | | | | | |
| VNA | \$ 41.227.649,21 | | | | | |
| VAN | \$ 26.753.998,21 | | | | | |
| TIR | 70% | | | | | |
| PR | 1,51 | | | | | |

Nota. Autor (Elaboración Propia).

De acuerdo a los valores obtenidos, se puede afirmar que el Valor Presente de los flujos de caja originados por la inversión corresponde a \$26,753,998. La tasa de retorno es del 70%, lo que significa que con una tasa de interés anual del 10%, el dinero se recuperaría con facilidad. Además, se estima que el período de recuperación es de 1.51 años.

4.3.3 Estimación de la viabilidad del proyecto.

Para llevar a cabo la implementación del proyecto, es necesario realizar una inversión económica debido a la falta de ciertos factores técnicos necesarios. Se estima que la ganancia económica a partir de la producción de bioetanol sería de \$10,875,750, Por otro lado, la inversión inicial se estima en aproximadamente \$14,473,651. No obstante, se proyecta que esta inversión podría recuperarse en un período de 1,5 años. En consecuencia, desde una

perspectiva económica, el proyecto muestra viabilidad. Una vez recuperada la inversión inicial, anualmente generaría ganancias que antes no se obtenían en la finca cafetera.

Cabe destacar el impacto ambiental que el proyecto puede mitigar. Actualmente, el mucílago generado en la finca no recibe el tratamiento adecuado y ocasiona contaminación. Con la implementación del proyecto, el mucílago se utilizaría como materia prima para la producción de bioetanol, lo que lo convierte en una fuente de energía sostenible. Además, el bioetanol obtenido podría utilizarse en la misma finca para resolver problemas como la falta de gas natural para cocinar y el uso de gas propano para el secado mecánico del café.

En resumen, el proyecto se considera factible ya que cumple con las tres condiciones necesarias para que un proyecto sea sostenible. En términos ambientales, contribuye a la mitigación del impacto generado por un subproducto de la finca que causa contaminación y se está implementando una fuente de energía renovable. Económicamente, se ha demostrado que, una vez recuperada la inversión inicial, se generarán ganancias que podrán utilizarse en otros gastos de la finca. Y en el aspecto social, contribuye a abordar una problemática común en las zonas rurales, donde no siempre se dispone de acceso ilimitado a fuentes de energía, lo que a su vez fomenta el desarrollo rural.

Sin embargo, es importante considerar ciertos aspectos, como la capacitación del personal a cargo del beneficiadero y la implementación de planes de mantenimiento para prolongar la vida útil de los equipos, lo que mejoraría la eficiencia del proceso de producción de bioetanol.

Conclusiones

Culminadas las actividades especificadas en la metodología se derivan de una serie de hallazgos significativos. En primer lugar, se ha establecido que la concentración de azúcares fermentables en la materia prima, junto con un pH, la pasteurización y una temperatura de fermentación adecuada, son elementos cruciales para el éxito del proceso. La utilización de levaduras, en particular la levadura de cerveza es esencial en esta etapa, y la hidrólisis enzimática con enzimas pectinolíticas desempeña un papel fundamental en el rendimiento del proceso.

Además, se ha demostrado que los °Bx, que representan la cantidad de sacarosa en la solución, disminuyeron después de la fermentación, lo que refleja la eficiencia del proceso. Cuanto menor sea la concentración de grados Brix después de la fermentación, mayor será la cantidad de bioetanol obtenido, lo que indica una correlación positiva entre estos dos factores.

Los resultados más favorables se obtuvieron al utilizar la condición A, lo que sugiere que tanto la hidrólisis enzimática como la propagación de levaduras contribuyeron a una mayor eficiencia. Además, se ha confirmado que un fermentado con una mayor concentración de °Bx resulta en un mayor porcentaje de obtención de bioetanol, lo que enfatiza la importancia de controlar este parámetro.

Para garantizar el éxito del proyecto en la práctica, se requiere capacitar al personal a cargo del beneficiadero, ya que la producción de bioetanol implica un proceso químico que demanda una supervisión precisa para lograr resultados ideales. Asimismo, es esencial implementar planes de mantenimiento adecuados para la maquinaria, con el fin de obtener mucilago de la mayor pureza posible y aumentar la eficiencia de producción de bioetanol.

En términos de beneficios económicos, se ha proyectado que el proyecto puede generar una ganancia significativa una vez que se recupere la inversión inicial. Según los

rendimientos encontrados en el experimento, se estima que la producción anual podría alcanzar 639,75 litros de bioetanol, con un valor considerable en el mercado. Esto se traduciría en ganancias proyectadas de \$10,875,750, lo que respalda la viabilidad económica del proyecto.

Finalmente, el proyecto cumple con las tres condiciones necesarias para ser considerado sostenible: tiene un impacto ambiental positivo al mitigar la contaminación producida por un subproducto de la finca, aporta beneficios económicos y contribuye al desarrollo rural, abordando una problemática común en las zonas rurales que carecen de acceso ilimitado a fuentes de energía. En resumen, este proyecto de obtención de bioetanol se presenta como una solución factible y sostenible que aborda importantes aspectos económicos, ambientales y sociales en su aplicación.

Recomendaciones

Al iniciar la recolección del mucilago de café, es crucial garantizar que el desmucilagador esté adecuadamente calibrado. Esto asegurará que el mucilago obtenido contenga la menor cantidad de agua posible. Un menor contenido de agua facilita el proceso de fermentación y mejora la eficiencia de la obtención de bioetanol.

Es importante seguir en el proceso de la investigación y el desarrollo continuo para ayudar a mejorar el proceso de obtención de bioetanol. La exploración de nuevas tecnologías, enzimas y prácticas puede conducir a mejoras en la eficiencia y la rentabilidad.

En el laboratorio de química de la UFPSO, es fundamental implementar una modificación en el proceso de destilación para permitir la recirculación del agua. De esta manera, se evitará el desperdicio de agua, una práctica que actualmente no se está teniendo en cuenta y que resulta en la pérdida de este recurso.

La rentabilidad del proyecto podría mejorarse si se considera la posibilidad de establecer una planta de producción de bioetanol que se encargue de recoger todo el mucilago de las fincas. Esto contribuiría a mantener estándares de calidad y a lograr un mejor rendimiento y viabilidad económica del proyecto.

Referencias

- Acosta Romero , C. (2012). *EVALUACIÓN DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDROMIEL*. Bogota : Universidad Nacional de Colombia .
- Alvarez Gallo, J. (1991). Despulpado de Café sin agua. *Cenicafe*.
- Antonio Bejarano, J. (1980). *Los estudios sobre la historia del café en Colombia*. Bogota.
- Ardila Gómez , J., & Cuadros Delgadillo , E. (2021). *EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES TOTALES, REDUCTORES Y GRADOS BRIX DURANTE LA FERMENTACIÓN DE PULPA DE CAFÉ PARA LA OBTENCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO*. SOCORRO: UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL SOCORRO.
- Arevalo , D., Lozano , J., & Sabogal , J. (2011). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola . *Sostenibilidad Tecnológica y humanismo* .
- Blandon Castaño , G., Davila Arias , M. T., & Rodriguez Valencia , N. (2000). CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FÍSICO-QUÍMICA DE LA PULPA DE CAFÉ SOLA Y CON MUCÍLAGO, EN PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE. *Cenicafe* .
- Blandón Navarro , S., & Castillo, B., & López, A. (2013). Validación del mucílago de café para la producción de etanol y abono orgánico. . *Revista Ciencia Y Tecnología El Higo*.
- Castellano , N. (28 de 02 de 2020). *Perfectdailygrind*. Obtenido de Perfectdailygrind: <https://perfectdailygrind.com/es/2020/02/28/variedad-de-cafe-bourbon-guia-para-productores-y-tostadores/>
- Castro Martinez , C., Beltran Arredondo , L., & Ortiz Ojeda , J. C. (2012). PRODUCCIÓN DE BIODIESEL Y BIOETANOL:¿UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE A LA CRISIS ENERGÉTICA? *Ra Ximhai*.
- Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos economicos* .

- Chao Mujica, F. (2013). MÉTODO TEÓRICO PARA LA PREDICCIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN EN REFRACTOMETRÍA. *INIMET*.
- Cholota Palate , L., & Mora Ruiz , O. I. (2010). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN SISTEMA PROTOTIPO PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE PAPA, ZANAHORIA, REMOLACHA Y LACTOSUERO* . ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- Cobo Cano , M. (2020). *Desarrollo de un refractómetro basado en el análisis de imágenes*. Universidad de Cantabria .
- Coello Ovando , E. (2019). *DETERMINACIÓN DE LOS PARAMETROS DE ETANOL EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN Y DESTILACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN ARTESANAL DE POX CON SABOR*. Chiapas.
- Cortina, H. A., Acuña Zornoza, J. R., Moncada Botero, M. P., Herrera Pinilla , J. C., & Molina , D. M. (2013). *Variedades de café: Desarrollo de variedades. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*. Chinchina : Cenicafe.
- Dennis Tang. (22 de 10 de 2016). *Perfectdailygrind*. Obtenido de Perfectdailygrind: <https://perfectdailygrind.com/es/2016/10/22/microlote-de-café-honey-vs-natural-3-formas-de-evitar-la-contaminacion-del-agua/>
- Espinoza Arcentales , M., Salazar , C., & Asanza , V. (2015). DISEÑO DE UN ALCOHOLIMETRO DIGITAL ACOPLADO A UN LDR QUE PERMITE ANALIZAR LOS PARÁMETROS DE FRECUENCIA CARDIACA UTILIZANDO UN ARDUINO MEGA. *Escuela Superior Politécnica del Litoral*.
- Federacion De Cafeteros . (09 de 2022). *Federacion De Cafeteros* . Obtenido de <https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2022/09/2.Normatividad-Especial-FoNC.pdf>

- Fernandez, J. (2003). *Energia de la biomasa* . Energias renovables .
- Flores Pardo , L., Valencia Castillo , N., Velez Duran , Y., Jurado Rosero , J., & Lozano Moreno , J. (2022). Comprehensive analysis of ethanol production from coffee mucilage under sustainability indicators . *Sciencedirect* .
- Funcion Publica . (27 de 02 de 1990). *Funcion Publica* . Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=254>
- Funcion Publica . (27 de 11 de 2008). *Funcion Publica* . Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=33965>
- Funcion Publica . (20 de 12 de 2021). *Funcion Publica* . Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=781>
- Funes Caballero, M., Banegas, C., Maradiaga Gonzales, H., Osorio Rivera, M., Henriquez Flores, N., Eloy, N., & Mejía, N. (2011). *Producción de bioetanol a partir del mucilago de café (Coffea arabica. L) CURC. UNAH. Comayagua. Honduras. 2011.* Honduras: Revista Ciencia y Tecnología .
- Garcia , R. D. (2018). Instrumentos que revolucionaron la química: la historia del espectrofotómetro. *Avances en Química*.
- Gotteland, M. (2007). ALGUNAS VERDADES SOBRE EL CAFÉ. *Revista Chilena de Nutricion* .
- Grande Verdugo , J., & Ortiz Blanco, S. (2019). DESTILACION SIMPLE Y FRACCIONADA: METODO DE PURIFICACION DE LIQUIDOS. *Universidad Industrial de Santander* .
- Gutierrez , T., Hoyos , O., & Paez, M. (2007). Determinación del contenido de ácido ascórbico en uchuva (physalis peruviana l.), por cromatografía líquida de alta resolución (clar). *Dialnet* .

- Guzman Salazar , M., Mahecha Vega , N. G., & Rozo Perdomo, S. E. (2022). *Determinacion de las variables optimas para la produccion de bioetanol a partir de mucilago de cafe con el proposito de reducir el vertimiento de los desechos provenientes del pretratamiento del cafe en las fuentes hidricas del municipio de pitalito*. Bogota : Universidad EAN.
- Hernandez Nodarse , M. (2008). TENDENCIAS ACTUALES DEL BIOETANOL. *Universidad Rafael Landivar* .
- J. Sancho, J. J. (1999). Selección por etapas lácticas de vinos a distintas graduaciones alcohólicas. *Dialnet*.
- Llangari Sibri, A. M. (2018). *Comparacion del rendimiento y calidad de bioetanol obtenido a partir de la biomasa lignocelulosica de los pseudotallos de banano* . Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana.
- Londoño , R., Henao , F., & Chaverra , E. (05 de 09 de 2022). *Perfectdailygrind*. Obtenido de Perfectdailygrind: <https://perfectdailygrind.com/es/2022/09/05/caturra-chiroso-variedad-sobresale-colombia/>
- Medina González, H., García Coronado, J., & Núñez Acosta, D. (2007). El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*.
- Observatorio Regional de Planificacion para el Desarrollo. (2016). *Observatorio Regional de Planificacion para el Desarrollo*. Obtenido de <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/marcos-regulatorios/ley-general-ambiental-de-colombia-ley-99-de-1993#:~:text=La%20Ley%2099%20de%201993,la%20Naci%C3%B3n%2C%20a%20fin%20de>

- Oliveros Tascon , C. E., & Roa Mejia , G. (1995). El desmucilaginado Mecanico del cafe .
Cenicafe .
- Oliveros Tascon , C. E., & Sanz Uribe , J. R. (2011). Ingenieria y Cafe en Colombia.
Cenicafe.
- Orozco Castaño , F. J. (1986). *Descripcion de especies y variedades de cafe* . Chinchina :
Cenicafe .
- Ortiz Meneses , A. F., Carrillo Moreno , L. F., & Rojas Plata , J. A. (2017). Metodología
experimental para la estimación de permeabilidades relativas en dos y tres fases por
medio de ajuste histórico. *Revista UIS*.
- Puerta Quintero , G. I. (2013). CINÉTICA QUÍMICA DE LA FERMENTACIÓN DEL
MUCÍLAGO DE CAFÉ A TEMPERATURA AMBIENTE. *Cenicafe* .
- Puerta Quintero , G., & Rios Arias , S. (2014). COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL
MUCÍLAGO DE CAFÉ,. *Cenicafe* .
- Raviolo , A., Moscato , M., & Schnersch, A. (2005). Enseñanza del concepto de densidad a
través de un modelo analógico. *REVFIS*.
- Rodriguez , A., & F. J. (2010). *Propiedades físicas: Densidad y porosidad*. Universidad de
Oviedo.
- Rodriguez Valencia , N., & Zambrano Franco , D. (2011). PRODUCCIÓN DE ALCOHOL A
PARTIR DE MUCILAGO DE CAFE . *cenicafe* .
- Rodriguez Valencia, N., Sanz Uribe , J., Oliveros Tascon , C. E., & Ramirez Gomez, C. A.
(2015). *Beneficio del cafe en Colombia*. Chinchina : Cenicafe.
- Rutti Marín, J., Medrano Osorio, R., Huaranga Rivera, H., Sánchez Castro, A., Lavado Meza,
C., Cruz Cerrón, D., . . . Camargo Caysahuana, A. (2020). *Obtención de etanol de alto
rendimiento y ácido acético a partir del mucilago del café*. Peru.

- Sanchez Madriz, L. E. (2021). *Desarrollo de un sistema para el monitoreo en tiempo real de las secadoras mecánicas de café de la Compañía Santa Rosa Limitada*. Costa Rica : Instituto Tecnológico de Costa Rica .
- Sanrria Samboni, M. (2019). *Obtención de bioetanol a partir de las aguas mieles y mucilago de café como alternativa de mitigación de efectos en los ecosistemas de las fincas las violetas, vereda los robles, Timbio y en la finca cristalina, Vereda los uvaes, piendamó*. Popayan: Fundacion Universitaria De Popayan .
- Santamarta , J. (2004). Las energías renovables Las energías renovables . *WORLD•WATCH* .
- Sanz uribe , J. R., Oliveros Tascón , C. E., Ramirez Gómez , C. A., López Posada , U., & Velásquez Henao , J. (2011). *CONTROLE LOS FLUJOS DE CAFÉ Y AGUA EN EL MÓDULO BECOLSUB*. Chinchiná: Cenicafe .
- Servicio Legal. (14 de 03 de 2023). *Servico Legal* . Obtenido de <https://serviciolegal.com.co/leyes-que-protogen-la-propiedad-intelectual-en-colombia/#:~:text=Ley%20de%20Derechos%20de%20Autor,art%C3%ADsticas%2C%20cient%C3%ADficas%2C%20entre%20otras.>
- Vazques , H. J., & Dacosta , O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *SciELO* .
- Velazques O, R. A. (2019). *Guia de variedades de Cafe Guatemala*. Guatemala: Asociacion Nacional Del Cafe, Anacafe .
- Zapata , R., Aguilla Coffee, Rozon , S., & Olympia Coffee. (08 de 05 de 2020). *perfectdailygrind*. Obtenido de perfectdailygrind: <https://perfectdailygrind.com/es/2020/05/08/variedad-de-cafe-tipica-que-es-y-por-que-es-tan-importante/>

Fernández Cortes, Y., Soto Rodríguez, K. D., & Vargas Marín, L. A. (2004). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Pentaciencias-ISSN 2806-5794*.

Llenque Díaz, L. A., Quintana Díaz, A., Torres Lino, L., & Segura Vega, R. (2020). *PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS VEGETALES. REBIOL ISSN 2313-3175*.

Peñuela Martínez, A. E., Olivero, C. E. (2010). Remoción de Mucílago de Café a través de fermentación natural. *Cenicafe*.

Peñuela Martínez, A., Pabón Usaquén, J. E., & Oliveros Tascón, C. E. (2011). *ENZIMAS: una alternativa para remover rápida y eficazmente el mucílago del café. CENICAFE*.

Quintero Puerta, G. (1999). Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. *cenicafé*.

Roa Mejía, G., Oliveros Tascón, C., Sanz Uribe, J. R., Álvarez Gallo, J., Ramírez Gómez, C. A., & Álvarez Hernández, J. (1997). Desarrollo de la tecnología BECOLSUB, para el beneficio ecológico del café. *Cenicafe*.

Rodríguez Valencia, N., & Zambrano Franco, D. a. (2011). *PRODUCCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR. Cenicafe*.

Sanz Uribe, J., Oliveros Tascón, C. E., Ramírez, C. A., Peñuela Martínez, A. E., & Ramos Giraldo, P. J. (2013). Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. *Cenicafé*.

Silva Rubio, L. (2012). La biotecnología aplicada al bioetanol. *Industria, Comercio y Superintendencia*.

