

# **Obtención de bioetanol a partir del corozo a través del proceso de la fermentación alcohólica.**

**Johan Steven Leighton Rendón, Miguel Ángel Plata  
Rincón, Anyi Paola Villalobos Romero**

Universidad EAN  
Facultad de Ingeniería  
Proyecto de Pregrado  
Bogotá, Colombia  
2023



# **Obtención de bioetanol a partir del corozo a través del proceso de la fermentación alcohólica.**

**Johan Steven Leighton Rendón, Miguel Ángel Plata  
Rincón, Anyi Paola Villalobos Romero**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
**Ingeniero Químico.**

**Director (a):**

Leidy Natalia Zapata Restrepo

Universidad EAN  
Facultad de Ingeniería  
Proyecto de Pregrado  
Bogotá, Colombia  
2023

## Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del director del trabajo de grado

Bogotá D.C. Día - mes – año

A mis padres por enseñarme que la exigencia personal tiene sus frutos.

## **Agradecimientos**

Esta sección es opcional, en ella el autor agradece a las personas o instituciones que colaboraron en la realización de su trabajo de grado. Si se incluye esta sección, deben aparecer los nombres completos, los cargos y su aporte al trabajo.

# Resumen

En la búsqueda de soluciones sostenibles y renovables que logren satisfacer la actual y creciente demanda de energía, la importancia del desarrollo de nuevas fuentes se ha visto incrementada. En este contexto, el bioetanol se ha mostrado como una alternativa prometedora y eco-amigable, debido a su potencial como combustible limpio y renovable. Su producción a partir de biomasa residual representa una oportunidad para minimizar el impacto ambiental y reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

El corozo, también conocido como endocarpio de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*), es un subproducto agroindustrial que se genera en grandes cantidades en las plantaciones palma de cera. Estos residuos representan una gran problemática y a la vez un gran compromiso, esto debido a que una inadecuada eliminación puede tener consecuencias negativas para el medio ambiente. Sin embargo, estos residuos contienen una alta cantidad de celulosa y hemicelulosa lo que los convierte en una fuente valiosa para la producción de bioetanol.

La presente investigación tiene como objetivo principal, estudiar y evaluar la viabilidad de la producción de bioetanol a partir de esta específica biomasa. Se abordarán aspectos clave relacionados con la extracción y la transformación de los componentes celulósicos presentes en el corozo, así como su fermentación y la destilación del producto final, el bioetanol.

En resumen, esta investigación abordara el estudio y la evaluación de la producción de bioetanol a partir de residuos de corozo, destacando su potencial como fuente de energía renovable. Se observarán diferentes aspectos para lograr juzgar con mayor precisión la viabilidad del proyecto y su impacto en los diferentes ámbitos trabajados.

**Palabras clave:** Residuo de corozo, bioetanol, biocombustible, medio ambiente, contaminación.

# Abstract

In the search for sustainable and renewable solutions to meet the current and growing demand for energy, the importance of developing new sources has increased. In this context, bioethanol has been shown to be a promising and eco-friendly alternative, due to its potential as a clean and renewable fuel. Its production from waste biomass represents an opportunity to minimize environmental impact and reduce dependence on fossil fuels.

Corozo, also known as oil palm (*Elaeis guineensis*) endocarp, is an agroindustrial by-product that is generated in large quantities in wax palm plantations. These residues represent a major problem and at the same time a major commitment, since improper disposal can have negative consequences for the environment. However, these residues contain a high amount of cellulose and hemicellulose, which makes them a valuable source for bioethanol production.

The main objective of this research is to study and evaluate the feasibility of bioethanol production from this specific biomass. Key aspects related to the extraction and transformation of the cellulosic components present in the corozo, as well as its fermentation and the distillation of the final product, bioethanol, will be addressed.

In summary, this research will address the study and evaluation of bioethanol production from corozo waste, highlighting its potential as a renewable energy source. Different aspects will be observed in order to be able to judge more accurately the feasibility of the project and its impact on the different areas worked on.

**Keywords:** Corozo residue, bioethanol, biofuel, environment, pollution.



# Tabla de contenido

<b>1. Introducción</b> .....	<b>13</b>
<b>2. Objetivos</b> .....	<b>15</b>
2.1 Objetivo General .....	15
2.2 Objetivos Específicos .....	15
<b>3. Problema de Investigación</b> .....	<b>16</b>
3.1 Árbol de problemas .....	18
<b>4. Pregunta de Investigación</b> .....	<b>19</b>
<b>5. Justificación</b> .....	<b>20</b>
<b>6. Antecedentes</b> .....	<b>24</b>
6.1 Obtención de etanol a base de la savia de la palma de corozo <i>Attalea</i> <i>butyracea</i> .....	24
6.2 Proceso de producción de bioetanol, a partir de la biomasa hidrolizada de la <i>Eichhornia Crassipes</i> con la levadura ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ) biomasa hidrolizada de la <i>Eichhornia crassipes</i> con la levadura ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ) .....	24
6.3 Evaluación de residuos de papa, yuca y naranja para la producción de etanol en cultivo discontinuo utilizando <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	25
6.4 Generación de bioetanol como combustible alternativo a partir de compuestos lignocelulósicos a nivel laboratorio. ....	26
6.5 Evaluación de la producción de etanol a partir de residuos orgánicos y sus diferentes mezclas, generados en la empresa de alimentos SAS.....	26
6.6 Producción de biodiesel a partir del aceite extraído de almendra del corozo <i>Bactris guineensis</i> asistida mediante ultrasonido de sonda directa.....	27
<b>7. Marco Teórico</b> .....	<b>29</b>
7.1 ¿Qué es el corozo?.....	29
7.2 Anatomía del corozo .....	29
7.3 Plantaciones de palma de corozo .....	31

7.4 Factores que limitan el desarrollo del corozo .....	32
7.5 ¿Qué son los Biocombustibles? .....	33
7.5.1 Clasificación.....	33
7.5.1.1 <i>Biocombustibles de primera generación</i> .....	33
7.5.1.2. <i>Biocombustible de segunda generación</i> .....	34
7.5.1.3. <i>Biocombustibles de tercera generación</i> .....	34
7.6 Biocombustibles en Colombia .....	35
7.7 ¿Qué es el Bioetanol?.....	35
7.8 Fuentes de generación de bioetanol .....	37
7.8.1 Materias primas con un alto contenido de sacarosa.....	37
7.8.2 Materias primas con alto contenido de almidón.....	38
7.8.3 Materias primas con alto contenido de celulosa .....	38
7.8.4 Algas.....	38
7.9 Procesos de producción de bioetanol .....	39
7.10 Clasificación en la producción de bioetanol según los métodos .....	40
7.10.1 Bioetanol de primera generación.....	41
7.10.2 Bioetanol de segunda generación .....	42
7.11 Producción de bioetanol.....	43
7.11.1 Pretratamiento .....	44
7.11.2 Hidrólisis .....	44
7.11.3 Hidrolisis Ácida.....	44
7.11.4 Hidrolisis Enzimática .....	44
7.11.5 Hidrolisis Básica.....	45
7.11.5.1 <i>Compuestos inhibidores y métodos de eliminación</i> .....	45
7.11.5.1.1 <i>Compuestos inhibidores</i> .....	45
7.11.5.1.2 <i>Método de eliminación</i> .....	46
7.11.6 Fermentación .....	47
7.11.7 Levadura.....	47
7.11.7.1 <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	48
7.11.8 Condiciones a medir y controlar en el proceso de fermentación.....	49
7.11.8.1 <i>Temperatura</i> .....	49
7.11.8.2 <i>pH</i> .....	50

7.11.8.3 Concentración de nutrientes.....	50
7.11.8.4 Oxigenación.....	50
7.11.8.5 Tiempo de fermentación.....	50
7.11.8.6 Productividad.....	51
7.11.9 Destilación.....	51
7.12 Producción de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos.....	51
7.12.1 Compuestos Lignocelulósicos.....	52
7.12.2 Celulosa.....	52
7.12.3 Hemicelulosa.....	52
7.12.4 Lignina.....	53
7.13 Normativa de producción de bioetanol en Colombia.....	53
<b>8. Diseño Metodológico.....</b>	<b>54</b>
8.1 Tipo de metodología.....	55
8.2 Diseño de la investigación.....	55
8.2.1 Enfoque cuantitativo.....	55
8.2.2 Experimental.....	55
8.3 Alcance de la investigación.....	56
8.4 Población y muestra.....	56
8.5 Hipótesis.....	56
8.5.1 Hipótesis nula.....	56
8.5.2 Hipótesis Alternativa.....	56
8.6 Variables.....	57
8.6.1 Variables independientes.....	57
8.6.2 Variables dependientes.....	57
8.6.3 Variable respuesta.....	57
8.7 Método de Investigación.....	57
8.7.1 Obtención de materia prima.....	58
8.7.2 Reducción de tamaño de la materia prima.....	59
8.7.3 Eliminación lignina.....	59
8.7.4 Hidrólisis.....	59
8.7.5 Adición de la levadura.....	59

8.7.6 Fermentación .....	59
8.7.7 Destilación simple .....	60
8.8 Cronograma .....	60
<b>9. Resultados- Análisis .....</b>	<b>61</b>
9.1 Prueba 1 .....	62
9.2 Prueba 2 .....	63
9.3 Rendimiento .....	65
<b>10. Valoración de hipótesis .....</b>	<b>67</b>
<b>11. Conclusiones .....</b>	<b>68</b>
<b>12. Recomendaciones .....</b>	<b>71</b>
<b>13. Referencias .....</b>	<b>73</b>

# 1.Introducción

Las principales problemáticas ambientales en la actualidad por el uso de combustibles fósiles es el alto precio, la escasez de crudo y la emisión de gases de efecto invernadero, esto ha generado la necesidad de buscar alternativas sostenibles y económicamente viables que disminuyan el impacto negativo en el medio ambiente. Los biocombustibles como el bioetanol representan una opción sostenible, ya que se producen a partir de fuentes biológicas renovables y residuos orgánicos, lo que requieren menor energía para su obtención, además de generar un menor impacto ambiental en comparación con los combustibles fósiles.

Como alternativa el bioetanol se divide en tres generaciones, cada una ofrece diferentes opciones para su producción y su potencial energético. En particular, el de segunda generación, se destaca por el aprovechamiento del material lignocelulósico, que comprende residuos orgánicos generados por diversas actividades industriales como la agricultura, la silvicultura, la producción de alimentos y la fabricación de papel. Este enfoque busca utilizar los residuos orgánicos ricos en celulosa, hemicelulosa y lignina, transformándolos mediante procesos de descomposición y fermentación en un tipo de alcohol.

El objetivo es utilizar las fuentes de biomasa desechadas, que no compitan con la alimentación humana, reduciendo la dependencia de cultivos alimentarios como el maíz o la caña de azúcar. Como una solución prometedora, se encuentra los residuos de corozo como una alternativa sostenible, viable y beneficiosa, ya que, en Colombia se estima que cada año se desperdician alrededor de 300.000 toneladas de residuos de corozo, debido a la falta de alternativas para su aprovechamiento, la mayoría de los residuos terminan como desecho, otra parte es quemada para generar energía, lo cual representa un problema de contaminación ambiental y para la salud de las personas, otras simplemente se apilan, lo que hace que proliferen diferentes tipos de roedores y otras plagas. Sin embargo, esta

situación representa una gran cantidad de residuos que pueden ser aprovechados de manera eficiente, al convertir estos residuos en biocombustibles, permitiría darles un uso sostenible a estos desechos evitando su acumulación y problemas asociados. Al mismo tiempo, contribuiría a la reducción la dependencia de los combustibles fósiles con el fin de reducir el impacto ambiental.

La presente investigación tiene como finalidad la obtención de bioetanol a partir de residuos de corozo o *Bacterias guineensis* en la ciudad de Bogotá, a través de la identificación, el análisis, la determinación de la eficiencia y la generación de estrategias que permitan maximizar el aprovechamiento de esta biomasa, a lo largo de la investigación se logró identificar las variables más importantes para la obtención de bioetanol como lo son: los residuos de corozo, el rendimiento, la fermentación y la producción de bioetanol.

Para lograrlo, se implementa una serie de actividades y análisis detallados que son necesarios para el proceso de obtención de bioetanol. Estas etapas son claves para garantizar la eficiencia en la producción de bioetanol: en primer lugar, se realiza un pretratamiento físico mediante la trituración de los residuos de corozo con hidróxido de sodio y sulfato de calcio para la eliminación de la lignina, en segundo lugar, se realiza una hidrólisis ácida con ácido cítrico con el fin de aumentar la concentración de los azúcares, a una temperatura de 95 grados Celsius durante 20 minutos, en tercer lugar, se trabaja con un pH ácido comprendido entre 4.5 y 5.0. En cuarto lugar, se utiliza una concentración de levadura de 2.5 gramos por cada 100 mililitros de solución. Estas etapas son fundamentales para obtener un sustrato rico en azúcares que pueda ser fermentado y conseguir una concentración de alcohol que oscila entre el 80% y 90%.

Los resultados de la investigación demostraron que el residuo de corozo como materia prima para la obtención de bioetanol es bajo, se evalúan varias opciones de mejora para aumentar el rendimiento, mediante la modificación de varias variables como la elección de la levadura para la fermentación, el ácido utilizado en la hidrólisis y los diferentes equipos utilizados.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Analizar el rendimiento de los residuos del corozo en la producción de bioetanol, por medio de fermentación.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Identificar las cantidades de los residuos del corozo como materia prima en Bogotá para la obtención de nuevos productos.
- Analizar por medio de pruebas de laboratorio el proceso de fermentación para la producción de bioetanol.
- Determinar la eficiencia de producción de bioetanol a partir de residuos de corozo.
- Proponer estrategias que permita incrementar la eficiencia el proceso de producción de bioetanol, partiendo del corozo como materia prima.

### 3. Problema de Investigación

La principal problemática ambiental que plantea el uso de combustibles fósiles son los gases de efecto invernadero y la escasez del crudo existente. Estos gases contribuyen al calentamiento global y al cambio climático ocasionado por la quema en plantas de energía, humos industriales y vehículos automotores. Adicionalmente, el alto precio de este recurso no renovable y su uso como combustible industrial (Ponce De León, 2011).

Es por eso por lo que resulta necesario desarrollar alternativas que contribuyan a disminuir el impacto ambiental y que ofrezcan energía a un precio favorable. “De aquí surge la necesidad de estudiar otras fuentes de materias primas que generen material carburante, para mitigar y estabilizar la importación de la gasolina en países en desarrollo como Colombia (Forero Munevar, 2008, p.3).

Los biocombustibles se plantean como una alternativa para el remplazo de los combustibles fósiles, estos son producidos a partir de fuentes biológicas, como plantas y residuos orgánicos, además que su producción requiere menos energía que la producción de combustibles fósiles (Martínez Galvis, 2016).

Actualmente, cerca del 85% de la producción mundial de biocombustibles líquidos está representada por el etanol. Los dos países con mayor producción de etanol y que representan el 85% de la producción mundial son: Estados Unidos de América y Brasil, el resto de la producción se reparte entre Unión Europea, China, Canadá, Tailandia, Argentina, India, Colombia, Australia, Paraguay, Filipinas y Perú (Valdés Ordoñez et al., 2017, p.2).

Colombia, quien ha desarrollado una estructura fundamentada en la producción de bioetanol a partir de Caña, ha incentivado la búsqueda de nuevas fuentes de etanol y hacer de este un proyecto viable en el área económica y social. Se ha argumentado que con la implementación de la ley 693 del 2001, se debe mezclar la gasolina con 10% de bioetanol, generado por 6 plantas actualmente abiertas, generando 430 millones Lts/año. (Forero



Munevar, 2008, p.3) Pero esto requiere de madurez de las tecnologías actuales y la búsqueda de alternativas en zonas no aptas para evitar la competencia que se presenta entre la biomasa y los cultivos agroalimenticios, además de mitigar los impactos generados por el uso de este recurso (Martínez Galvis, 2016).

Como escenario no apto se presenta la región Caribe con pastos y bosques fragmentados debido a la erosión y desertificación por el mal manejo de los terrenos, además presenta condiciones topográficas en su mayoría plana, con altas temperaturas superiores a 24°C y con precipitaciones menores a 2000mm anuales. Actualmente, por las condiciones extremas son pocas especies de la biodiversidad nativa que logran mantenerse. Una de ellas es el corozo de lata o *Bactris guineensis*, esta es una palma espinosa y cespitosa que a pesar de presentar estas condiciones logra sobrevivir. Así mismo, representa gran beneficio relacionado con sus frutos comestibles y sus tallos, ambos de activo comercio actual y con gran potencial de crecimiento (Galeano et al., n.d.). “Las palmas, debido a sus múltiples beneficios, han jugado un papel preponderante en la economía de países tropicales” (Ramírez Hernández et al., 2013, p.5).

Por otra parte, los frutos del corozo son una fruta tropical conocida por su alto contenido de aceite. Estos frutos se utilizan comúnmente como fuente de alimento y también se han convertido en una alternativa para la producción de biocombustibles contribuyendo a la conservación de los bosques tropicales. Esto reduce la necesidad de talar árboles para obtener combustible. Además, puede contribuir a la reducción de la contaminación del aire, ya que no produce gases de efecto invernadero ni emisiones contaminantes. Esto hace que sea una opción más limpia para la producción de energía (Valdés Ordoñez et al., 2017).

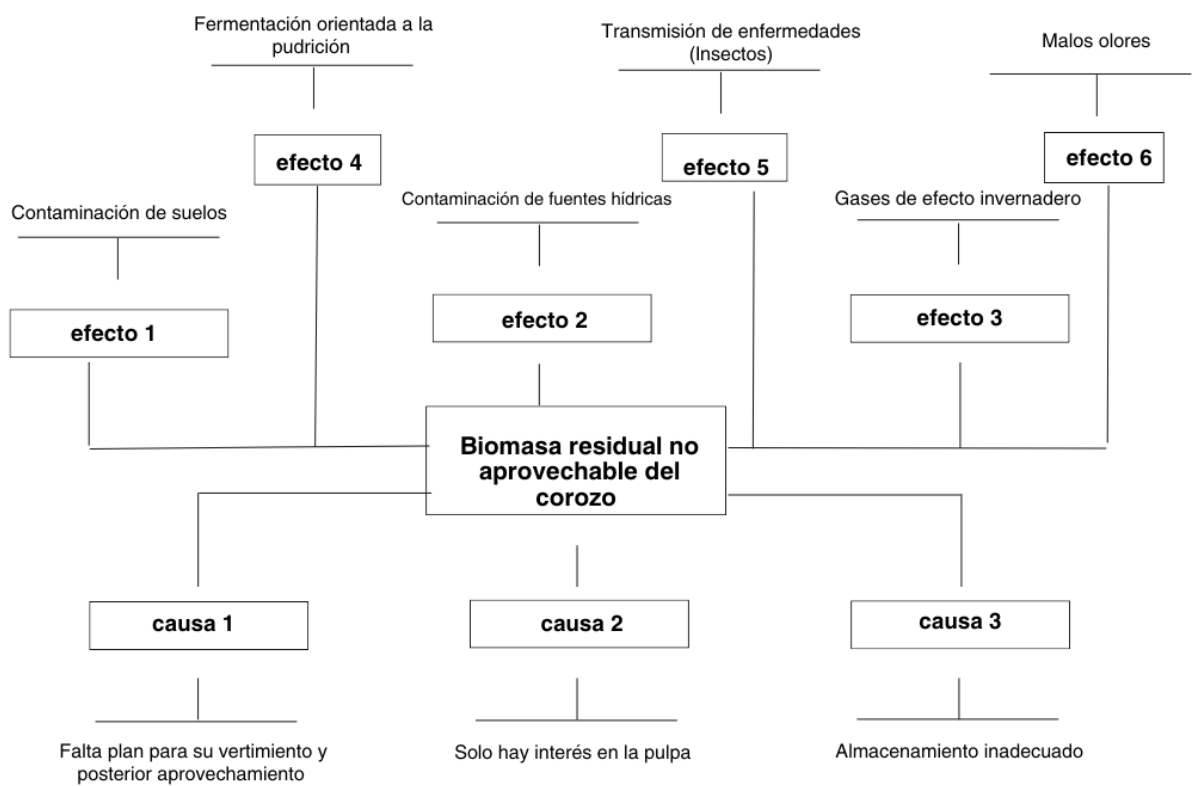
De acuerdo con lo anterior es necesario la implementación de estrategias y proyectos que permitan aprovechar las cualidades del corozo. Esto permitirá una mejora

significativa en la calidad del aire y una reducción de las enfermedades respiratorias y cardíacas en la población.

### 3.1 Árbol de problemas

Se identifican las diferentes problemáticas de la biomasa residual no aprovechable del corozo y se plasman en la Figura 1.

**Figura 1** Árbol de problemas de los residuos no aprovechables del corozo.



*Nota:* Elaboración propia

## 4. Pregunta de Investigación

¿Cómo se puede aprovechar el residuo de corozo en la producción de bioetanol en la ciudad de Bogotá?

## 5. Justificación

Hoy en día, la producción primaria e industrialización de la fruta produce una gran cantidad de subproductos que no solo no son aprovechados de manera eficiente, sino que también provocan contaminación y problemas ambientales.

El aprovechamiento de residuos sólidos contaminantes provenientes de las industrias juega un papel muy importante, ya que, al hacer uso de estos, inmediatamente se minimiza el nivel contaminante generado en el medio ambiente en las zonas industriales, así como los posibles daños o perjuicios que ocasionan al ser humano. El residuo de la extracción mecánica de los racimos de fruta fresca de la palma africana como consecuencia de la elaboración de aceite de palma y de palmiste genera riesgos, también la disposición inadecuada de las cenizas provenientes del residuo calcinado en las calderas productoras de vapor de agua y energía; ya que por estudios previos se conoce que son contaminantes de fuentes hídricas. (Morelo Gonzalez, 2016, p.3)

Según un estudio del Departamento de Planeación Nacional (DNP), en Colombia se pierden o desperdician 9,76 millones de toneladas de alimentos al año. Si miras las cifras por tipo de alimento, sorprende que en 2016 se generaron más de seis millones de toneladas de residuos de frutas y verduras. Según el estudio, de cada 10.434.327 toneladas, se pierden o tiran 6.081.134 toneladas durante el año. Eso es 58 por ciento (Departamento Nacional de Planeación, 2016). También hay que decir que el 72% de todas las frutas y hortalizas afectadas mueren en los principales procesos de la cadena: producción, almacenamiento y transformación industrial. Este es un número alarmante porque perjudica a los agricultores y crea serios problemas económicos, sociales y ambientales. (Departamento Nacional de Planeación, 2016).

Es difícil determinar la cantidad exacta de residuos de corozo que se desperdician cada año, ya que depende del tipo de procesamiento al que se somete la fruta para obtener el residuo. Sin embargo, se estima que cada año se desperdician aproximadamente

300.000 toneladas de residuos de corozo en Colombia. Ante la falta de alternativas para su aprovechamiento, la mayor parte termina como desecho; algunos lo queman para producir energía, pese a que es un foco de contaminación para los trabajadores; y otros lo apilan, aunque se convierte en refugio para roedores y otras plagas. Esto representa una gran cantidad de residuos que podrían ser aprovechados para producir biocombustibles (Orduz Puerto et al., 2017).

El corozo de lata se encuentra en zonas de bosque seco desde Nicaragua, a lo largo de la Costa Pacífica de Centroamérica, hasta el norte de Venezuela. En Colombia se encuentra ampliamente distribuida en toda la región Caribe, aunque en general no es bienvenida en los potreros y se hacen labores frecuentes de erradicación con corte de los tallos y quema. (Galeano et al., n.d., p.6) Señalando sus características físicas más importantes, podemos decir que, esta planta es extremadamente resistente a la deforestación, al fuego e incluso a su propia destrucción. Las macollas espinosas que persisten constituyen un reservorio de vida silvestre muy importante ya que en ellos brotan hierbas, arbustos y árboles, y muchas especies de vida silvestre que encuentran refugio, incluidos mamíferos, reptiles, anfibios y aves. La fruta, por otro lado, es una importante fuente de alimento, especialmente para las aves (Galeano et al., n.d.).

El corozo es una fruta muy cultivada en Colombia y es rica en azúcares, carbohidratos y otros fitoquímicos, que le dan un sabor distintivo y una calidad aromática, y representa aproximadamente el 20 % del volumen de producción total de frutas. Una vez que el residuo de corozo se obtiene de la fruta, se puede procesar para producir bioetanol." El fruto está clasificado como una fruta semiácida, esta encierra una pequeña almendra que da hasta un 40% de aceite tan estimado como la del coco" (López Núñez & Theran Salgado, 2004, p.6).

El corozo también conocido como *Guineensesis* o palma corozo de lata es una palma espinosa, que forma grandes matas de hasta más de 1000 tallos, los más altos de

poco más de 7 m de alto y 1.5 - 3 cm de diámetro. Las hojas son pinnadas, menores de 1 m de largo y están provistas de largas espinas negras o amarillentas con la base y la punta oscuras. Las inflorescencias salen por entre las hojas y son persistentes por mucho tiempo en el tallo. Cada inflorescencia tiene 11-30 raquillas delgadas que llevan flores masculinas y femeninas. Los frutos son esféricos y achatados, terminados en una punta corta, de hasta 2 cm de diámetro, de color negro-violáceo brillante en la madurez, con pulpa delgada, carnosa y de delicioso sabor agridulce, que rodea un cuesco leñoso que encierra en su interior una sola semilla (Galeano et al., n.d., p.6).

Como principales características químicas se puede resaltar que la pulpa del corozo es rica en nutrientes y antioxidantes, tiene importantes propiedades farmacológicas y cosméticas y tiene excelentes perspectivas de desarrollo. Los tallos de corozo de lata, en cambio, son extremadamente resistentes y flexibles, y se utilizan en la arquitectura rural de todo el Caribe, con un gran potencial para su uso en la arquitectura moderna. Por sus usos actuales tiene gran potencial y su gran resistencia le convierte en un elemento importante dentro de las otras alternativas de uso como lo es en los biocombustibles (Galeano et al., n.d.).

Los biocombustibles en la actualidad juegan un rol de suma importancia, entre las fuentes para producirlos está la biomasa proveniente de cultivos como: caña de azúcar, maíz, sorgo, yuca, entre otros, la cual es usada para la obtención de etanol o comúnmente llamado bioetanol por su origen biológico obtenido de manera renovable a partir de restos orgánicos, y que puede ser utilizado en la oxigenación de la gasolina, reduciendo las emisiones de los gases de efecto invernadero en un orden del 20 al 60 por ciento en comparación con los combustibles fósiles. (Valdés Ordoñez et al., 2017, p.2).

El uso del corozo como bioetanol es una alternativa viable para reducir el impacto ambiental de la producción de combustibles fósiles, ya que es una fuente de energía renovable. Además, el uso del corozo como un soporte para la fermentación de la caña de

azúcar para producir etanol también es una forma eficaz de producir etanol de bajo costo (Ramírez Hernández et al., 2013).

Finalmente, se está llevando a cabo una nueva investigación sobre la producción de bioetanol de los residuos del corozo a través del planteamiento de diferentes tipos de métodos de extracción teniendo en cuenta la factibilidad de cada uno.

## 6. Antecedentes

### 6.1 Obtención de etanol a base de la savia de la palma de corozo

#### ***Attalea butyracea***

La producción de etanol a partir de la savia de palma de corozo *Attalea butyracea* es un proyecto viable técnicamente, que puede sustituir los combustibles fósiles y contribuir al cuidado del medio ambiente. Las respectivas pruebas químicas preliminares, mostraron su buena calidad de inflamabilidad. Además de esto, tiene grandes aplicaciones en el sector culinario, farmacéutico y químico, otorgando a la producción una gran cantidad de usos. Sin embargo, es necesario seguir investigando y documentando aspectos relacionados con el volumen y la eficiencia de producción, así como la disponibilidad de áreas destinadas para la plantación, la producción y el macerado de especies vegetales de este tipo de palmas, con el fin de optimizar el proceso de producción de etanol. Por otro lado, también se debe buscar nuevos mercados y fuentes de financiamiento, para que este proyecto sea una realidad a nivel industrial (Arosemena et al., 2015).

### 6.2 Proceso de producción de bioetanol, a partir de la biomasa

#### **hidrolizada de la *Eichhornia Crassipes* con la levadura**

#### **(*Saccharomyces cerevisiae*) biomasa hidrolizada de la**

#### ***Eichhornia crassipes* con la levadura (*Saccharomyces***

#### ***cerevisiae*)**

Para la obtención de bioetanol a partir de la planta *Eichhornia Crassipes*, se realizaron los procesos químicos de hidrolisis alcalina e hidrolisis acida previa a la fermentación con el inóculo fermentador *Saccharomyces cerevisiae* el cual es conocido como levadura de cerveza. Estos montajes se llevaron a cabo en los laboratorios de la Fundación Universitaria Los Libertadores y se tomaron muestras experimentales para



evaluar el proceso. La biomasa de la planta es un material óptimo para la obtención de bioetanol debido a su alto contenido en hemicelulosa. Esta se obtiene gracias a la acción de microorganismos fermentadores sobre los carbohidratos presentes en la planta, desencadenando un proceso de fermentación alcohólica (Jiménez Fonseca, 2018).

### **6.3 Evaluación de residuos de papa, yuca y naranja para la producción de etanol en cultivo discontinuo utilizando *Saccharomyces cerevisiae***

El objetivo principal de esta investigación fue generar bioetanol mediante el uso de un jarabe glucosado elaborado a partir de residuos de papa, naranja y yuca, a través de un proceso de cultivo discontinuo. El propósito era proporcionar una alternativa para gestionar los residuos generados por estos productos. Para ello, se emplearon cepas de *Saccharomyces cerevisiae* y los residuos se sometieron a un tratamiento de hidrólisis química. Se llevaron a cabo fermentaciones utilizando un diseño factorial para evaluar los sustratos fermentativos y el microorganismo utilizado. Los resultados mostraron que no había diferencias significativas en la producción de etanol entre los diferentes sustratos y cepas, pero sí se observaron interacciones significativas entre las variables estudiadas. La mayor producción de etanol se logró utilizando la cepa nativa (LYP) y los jarabes obtenidos a partir de naranja y yuca como fuentes de carbono. En conclusión, este estudio demuestra que es factible producir etanol a partir de residuos de papa, naranja y yuca. Los resultados resaltan la importancia de seleccionar la cepa de levadura adecuada y el sustrato fermentativo óptimo para maximizar la producción de etanol. Este enfoque representa una opción prometedora para el aprovechamiento de residuos agrícolas y la producción sostenible de etanol. (Quintero Mora et al., 2015)

## **6.4 Generación de bioetanol como combustible alternativo a partir de compuestos lignocelulósicos a nivel laboratorio.**

Esta investigación se enfoca al aprovechamiento de compuestos lignocelulósicos generados en la central de abastos de Pachuca, Hidalgo para producir bioetanol como un combustible alternativo. El bioetanol lignocelulósico se obtiene a partir de fermentación directa e indirecta: La fermentación directa consiste en fermentación de azúcares, mientras que la fermentación indirecta requiere de un pretratamiento previo a la biomasa para aprovechar la celulosa y fermentarla. Se utilizaron pretratamientos químico-oxidativos y por hidrólisis alcalina. El mejor resultado se encontró utilizando peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) como agente solvente. A través de la metodología empleada logró producirse un 3.33% de etanol a partir de la biomasa utilizada por fermentación indirecta y un 5% por fermentación directa. Los resultados obtenidos reflejan una conversión total del 4.33% respecto a la biomasa procesada, lo cual se ve como una alternativa que podría mejorar los procesos actuales dedicados a este giro. (Vera et al., 2017, p.49)

## **6.5 Evaluación de la producción de etanol a partir de residuos orgánicos y sus diferentes mezclas, generados en la empresa de alimentos SAS.**

El estudio evaluó la viabilidad de obtener alcohol a partir de residuos orgánicos de limón, lulo, maracuyá, mango y mora. Se realizó una matriz de selección para seleccionar los residuos en base a su cantidad y frecuencia de generación, así como su composición química. Se aumentó la enzima Multifect B de Genencor como catalizador para la hidrólisis, y se limitará la cantidad de azúcares reductores presentes después de la hidrólisis con el método del DNS, obteniendo bajos grados de conversión (por debajo del 1%). Se preparó el inóculo de la levadura y se incubaron las muestras a  $24,6^{\circ}C$ , determinando el tiempo de fermentación que osciló entre 72 y 108 horas. Los resultados obtenidos de bioetanol demuestran que la cantidad obtenida es muy baja para entrar al mercado de venta,

reportando rendimientos de etanol por cada mezcla y/o residuo de entre 4, 81 y 9,22 g/kg. En conclusión, aunque se superó la posibilidad de obtener alcohol a partir de residuos orgánicos, los rendimientos obtenidos son muy bajos para ser comercialmente viables. (Santos Aguilar & Zabala García, 2016, p.21)

## **6.6 Producción de biodiesel a partir del aceite extraído de almendra del corozo *Bactris guineensis* asistida mediante ultrasonido de sonda directa**

El estudio se enfocó en el aprovechamiento del aceite de la almendra del corozo como alternativa en la obtención de biodiesel utilizando ultrasonido de sonda directa como medio de compensación. Se obtuvo un diseño central compuesto para determinar las condiciones óptimas para la obtención de biodiesel, utilizando la variable de respuesta "rendimiento de reacción". Se obtuvo un rendimiento máximo de reacción del 81,05 % con una relación alcohol molar: aceite de 6:1, concentración de catalizador de 0,70 %, amplitud de la sonda de ultrasonido del 20% y tiempo de reacción de 15 minutos. El producto final cumple con la mayoría de las propiedades señaladas por la norma técnica colombiana (NTC 5444). La implementación del ultrasonido de sonda directa permitió obtener rendimientos con tiempos de reacción altos a los informados con los métodos convencionales de atenuación, lo cual representa una oportunidad de reducir los gastos energéticos con asociados la producción del biocombustible. Además, la diversificación de las materias primas para la fabricación de biodiesel con el aprovechamiento de los ácidos grasos extraídos de la biomasa residual de *B. guineensis*, representa una oportunidad para el impulso de la economía regional. En conclusión, el demuestra la viabilidad de utilizar el aceite de la almendra del corozo como materia prima para la producción de estudio de biodiesel mediante la implementación del ultrasonido de sonda directa como medio de depresión. lo cual representa una oportunidad de reducir los gastos energéticos asociados con la producción del biocombustible. Además, la diversificación de las materias primas

para la fabricación de biodiesel con el aprovechamiento de los ácidos grasos extraídos de la biomasa residual de *B. guineensis*, representa una oportunidad para el impulso de la economía regional. (Madrid De la Rosa et al., 2021, p.51)

## 7. Marco Teórico

### 7.1 ¿Qué es el corozo?

Corozo es una planta de la familia de las palmeras, muy parecida a la palma de coco. Las palmeras pueden producir hasta 2.000 frutos y crecer hasta los 1.800 metros sobre el nivel del mar. La palmera tiene hojas plumosas con pliegues uniformemente puntiagudos, el tallo está cubierto de finas espinas para su protección. (López Núñez & Theran Salgado, 2004, p.16). Después de la maduración, las palmeras de uva florecen y fructifican de manera desigual a nivel de población a lo largo del año, aunque se registran menos flores y frutos en diferentes épocas del año, según la región. (Bernal & Galeano, 2013, p.169). Es una fruta que crece en la costa del Caribe y Centroamérica en el Océano Pacífico. Dependiendo de la ubicación geográfica de la cultura, recibió varios nombres, tales como: lata de corozo (Atlántico, Córdoba), lata gembra (Cesar, Córdoba), corozo de lata (Bolívar, Magdalena), tamaquito, corocito (Sucre), latín palmera de verano (Bolívar, Cesar, Córdoba, Magdalena), palmera de verano (Atlántico), cañabrava (Guajira), Castilla, gallinas, guevoetigre, palmaelata, palma de corozo, uvitaelata (Cesar). (Leiva García & Lora Suarez, 2022, p.18)

### 7.2 Anatomía del corozo

“Corozo de lata, lata femme, tamaquito, corocito, chonta, píritu, guis o su nombre científico *Bactris guineensis* son solo algunos de los nombres que reciben estos frutos silvestres de la familia *Arecaceae*, originarios de la región del Mar Caribe colombiano” (Rejino Ramírez). y Rengifo Velandia, 2021, p. 15). Su fruto es de forma esférica y de color casi negro-violáceo debido al contenido de antocianinas. Tiene un sabor agridulce y consiste en una piel dura y fibrosa que protege la pulpa succulenta y translúcida rica en fibra.

(Leiva García & Lora Suarez, 2022, p.18) En la tabla 1 se presenta la clasificación taxonómica del corozo *Bactris guineensis*.

**Tabla 1.** *Taxonomía del corozo*

<b>Taxonomía del corozo</b>	
Reino	Plantae
Phylum	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	I.Areclae
Familia	Arecaceae
Género	<i>Bactris</i>
Especie	<i>Bactris guineensis</i>

*Nota: Adaptado de Desarrollo de una jalea a base de corozo (Bactris guineensis) con inclusión de Inulina y Lactobacillus casei (p.22) Leiva García & Lora Suarez, 2022, Universidad la Salle.*

El fruto del corozo consiste en una piel dura y fibrosa que rodea una pequeña piel translúcida, carnosa, semi porosa, succulenta, rica en fibra; encierra una pequeña semilla negra dura que contiene una almendra rica en ácidos grasos. El mesocarpio de esta fruta se utiliza para elaborar refrescos, dulces y vino artesanal bajo en alcohol; y su tronco se usa para construir casas (Acuña Pinto, 2009). La maduración de los frutos implica una serie de cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que desencadenan la formación de frutos aptos para el consumo humano. Para el corozo, para llegar al punto óptimo de consumo, la temperatura a la que debe madurar es de 27°C. Una fruta madura ya no es la misma, además de cambiar su sabor y apariencia, su composición nutricional puede cambiar según el proceso de maduración y la temperatura. (Regino Ramírez & Rengifo Velandia, 2021, p.15)

El corozo es un fruto rico en minerales e hidratos de carbono, especialmente en el interior de las semillas, ya que es fuente de fibra y tiene la siguiente composición: 80,1 g de humedad, 0,1 g de grasa, 2,6 g de ceniza, 14,8 g de hidratos de carbono, 1,2 g de fibra bruta y proteína g, además, la celulosa tiene propiedades fisicoquímicas como acidez

2,13%, densidad 1,137 g/ml, humedad 64,9%, pH 3,04 g y sólidos solubles 15,2 g. (Leiva García & Lora Suarez, 2022).

En el contexto colombiano, existe un contraste bastante interesante, por un lado, la alta producción masiva de frutas, específicamente dirigida a la industria de la destilería (vitivinícola), además, las siguientes cifras; Si bien los corozos en la región rinden 800 qq/ha, se aprecia la subutilización del fruto porque no existe un sistema de compensación por el producto perdido que no se puede llevar al mercado; Del mismo modo, el 10% de la producción de este producto alimenticio se pierde debido al uso de métodos de recolección inadecuados. (Leiva García & Lora Suarez, 2022)

E La única desventaja del corozo es que solo está disponible por poco tiempo, unos 3 meses (julio, agosto y septiembre), con un rendimiento estimado al momento de la cosecha de unos 273 600 kg, distribuidos en fardos al mercado local. 80kg (López Núñez & Theran Salgado, 2004, p.17)

### **7.3 Plantaciones de palma de corozo**

La *Bactris guineensis*, también conocida como uva de monte, es una palmera que se cultiva principalmente en las costas del Caribe y el Pacífico centroamericano, se distribuye geográficamente desde Nicaragua hasta Colombia y Venezuela. Es una palmera que se cultiva principalmente en la región de Cesar, también, se puede encontrar en las sábanas de Córdoba, Bolívar y Sucre y en zonas inundables de la Ciénaga de Zapatosa ubicada entre los municipios de Chimichagua, Tamalameque y Curumaní y el Banco magdalena este en zonas húmedas con una altitud de 200 metros sobre el nivel del mar y se concentran alrededor de 2.500 hectáreas de cultivos de corozo prolifera en zonas húmedas con una altitud de 200 metros sobre el nivel del mar.

En la actualidad en la magdalena hay 61.134 hectáreas de palma sembradas en el departamento de las cuales se encuentran en producción 45.834 hectáreas. Para la producción de corozo se pueden cultivar 40 palmas por hectárea, estas palmas tienen un

ciclo de vida que supera los 50 años y producen aproximadamente 65 unidades de corozo cada una por mes, lo que equivale alrededor de 2.736.000 frutos de corozo por año (Pacheco Espitia & González Espitia, 2020).

## **7.4 Factores que limitan el desarrollo del corozo**

Esta especie se caracteriza por ser una palmera pequeña con espinas y forma de agrupaciones muy densas, los usos más importantes están relacionados con sus frutos comestibles y sus tallos, ambos se caracterizan por su alto potencial de crecimiento y su comercio actual. El corozo de lata tiene el potencial de convertirse en un elemento importante dentro de las alternativas de uso de tierra en el Caribe, debido a sus usos y a su resistencia, pero existen factores que limitan su desarrollo y aprovechamiento, inicialmente la falta de maquinaria adecuada que dificulta la extracción de los aceites, los métodos actuales que se manejan son manuales y artesanales, enfocándose principalmente en el aprovechamiento de la pulpa. En segundo lugar, se debe luchar contra el desconocimiento de sus propiedades tanto nutritivas como medicinales, esto lleva a que se prioricen otros cultivos que son más conocidos y se desaproveche su potencial. En tercer lugar, la escasa oferta de corozo debido a que en la actualidad se limita en productos artesanales, no requieren grandes cantidades de corozo como resultados los campesinos no lo ven como un cultivo prioritario y se dedica el terreno a otras actividades económicas. En cuarto lugar, desgaste de la tierra, puesto que la ganadería se ha convertido en la principal actividad económica, esto genera una dependencia excesiva de una sola actividad lo que dificulta diversificación la economía local. En quinto lugar, están los impactos medioambientales, debido a la indiscriminada tala del corozo para dar paso a la actividad ganadera, causa un deterioro en el ecosistema seco tropical, causando efectos negativos en la biodiversidad y el equilibrio ecológico (Ardila Rodríguez & Ardila Badillo, 2017).



## 7.5 ¿Qué son los Biocombustibles?

Los biocombustibles son fuentes renovables de energía producidas por organismos vivos, conocidas como 'biomasa'. Pueden existir en estado sólido, líquido y gaseoso. La finalidad de este tipo de biocombustible es liberar la energía contenida en sus componentes químicos mediante una reacción de combustión. (Álvarez Maciel, 2009). "(Monroy et al., 2017, p.50). Los combustibles obtenidos a partir de biomasa vegetal se denominan combustibles agrícolas. Recientemente se introdujo para reemplazar los combustibles derivados del petróleo debido a su alto costo y la contaminación por carbono. (Jiménez Fonseca, 2018, p.14)

### 7.5.1 Clasificación

Los biocombustibles se pueden obtener de fuentes vegetales como la biomasa y se dividen en tres generaciones según el tipo de fuente. (Silíceo Rodríguez, 2014).

#### ***7.5.1.1 Biocombustibles de primera generación***

Los biocombustibles de primera generación están hechos de partes de plantas con alto contenido de almidones, azúcares y aceites (Cobos Ramírez, 2019). Se producen utilizando tecnologías tradicionales como la fermentación (para azúcares y carbohidratos), reacciones químicas (para aceites y grasas) y digestión anaeróbica (para residuos orgánicos). Estos procesos producen etanol, metanol y n-butanol (a partir del azúcar), biodiésel (a partir del petróleo) y biogás (una mezcla de metano y dióxido de carbono, también conocido como gas natural y dióxido de carbono). El correspondiente dióxido de carbono, derivado de desechos orgánicos). La ventaja de este tipo de biocombustible es su facilidad de manejo y sus bajas emisiones de gases de efecto invernadero. (Álvarez Maciel, 2009, p.63)

### **7.5.1.2. Biocombustible de segunda generación**

Los biocombustibles de segunda generación que consisten en residuos agrícolas y forestales con un alto contenido de materiales lignocelulósicos no destinados al consumo humano pueden cultivarse en áreas deforestadas y también están presentes en la materia orgánica de los residuos agrícolas.” (Cobos Ramírez, 2019). Los procesos de producción de biocombustibles como la sacarificación-fermentación y el proceso Fischer-Tropsch son más complejos. En procesos de segunda generación, etanol, metanol, gas de síntesis (una mezcla de dióxido de carbono, también conocido como monóxido de carbono e hidrógeno), biodiésel, 2,5-dimetilfurano (DMF). La principal ventaja de esta producción de biocombustibles es la falta de desviación de alimentos de la agricultura al sector energético, y su desventaja es la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero del procesamiento de materias primas en comparación con los biocombustibles de primera generación. (Álvarez Maciel, 2009, p.64)

### **7.5.1.3. Biocombustibles de tercera generación**

Los biocombustibles de tercera generación se pueden obtener a partir de jarabes de glucosa o de productos no alimentarios de rápido crecimiento con altas densidades energéticas almacenadas en sus componentes químicos conocidos como cultivos energéticos. Una de las principales fuentes que se pueden obtener del jarabe de glucosa es la piel de la fruta, que suele estar formada por biomasa reducida, algas verdes y cianobacterias. (Tejeda et al., 2010). Los procesos para la producción de biocombustibles están en desarrollo, pero la producción de biodiesel y etanol ya es posible a nivel de planta piloto. Estos biocombustibles tienen la ventaja de secuestrar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para generar recursos y tener un balance de GEI positivo, pero tienen la desventaja de utilizar tierras agrícolas para cultivar recursos, excluyendo las algas verdes. (Álvarez Maciel, 2009, p.64)

## 7.6 Biocombustibles en Colombia

Las preocupaciones ambientales actuales y la sobreexplotación petrolera enfatizan la necesidad de buscar combustibles más limpios y renovables como el biodiesel y el bioetanol, productos impulsados por la política del gobierno de EE. UU., además de apoyar la agricultura y el desarrollo rural, también brinda seguridad. reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. (Bermúdez Huertas et al., 2012, p.8)

Colombia cuenta con las características geográficas y climáticas necesarias para la producción de biocombustibles, grandes extensiones de tierra disponibles para el cultivo de materias primas, mano de obra a precios razonables y condiciones agroclimáticas adecuadas para el cultivo de una variedad de cultivos utilizados como materia prima convertirse en uno de los países con potencial para la producción de biocombustibles. (Ibarra Vega & Olivar Tost, 2018, p. 117)

La producción de biodiesel y bioetanol en Colombia se realiza desde 2005, principalmente en las provincias del Cauca, Valle del Cauca, Risaralda y Caldas. (Ibarra Vega & Olivar Tost, 2018). Uno de los principales insumos para la producción de bioetanol en Colombia es la caña de azúcar, por lo que el país ocupa el segundo lugar a nivel mundial en producción de caña de azúcar y el primero en consumo. Esta fuente de materias primas y la mayor parte de las materias primas utilizadas para producir biocombustibles se utilizan en la industria alimentaria, por lo que su producción es numerosa y continua. plantas y hortalizas que reúnen las condiciones y características óptimas para su uso en la fermentación alcohólica a producir, entre estas plantas encontraremos Eichhornia crassipes. (Silíceo Rodríguez, 2014. P30)

## 7.7 ¿Qué es el Bioetanol?

El bioetanol, también conocido como etanol o alcohol etílico, es un producto químico producido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en la materia orgánica vegetal como los cereales, la remolacha azucarera, la caña de azúcar, el sorgo o

la biomasa. (Cobos Ramírez, 2019, p.21) “Los principales componentes de la biomasa vegetal son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, que se encuentran en la pared celular de las plantas como una mezcla compleja de polisacáridos, pectina y lignina”. (Castro Martínez et al., 2012, p.98) Entre ellos, la celulosa es el polisacárido más común, formado por una cadena lineal de residuos de glucosa y es el principal componente estructural de las plantas. La degradación de la biomasa lignocelulósica la llevan a cabo un gran número de microorganismos que poseen enzimas capaces de producir azúcares fermentables que pueden ser utilizados para producir bioetanol. (Castro Martínez et al., 2012, p.98).

El bioetanol se considera una fuente de energía sostenible porque ofrece varios beneficios sobre los productos derivados del petróleo, incluida una mayor seguridad energética, una producción reducida de gases de efecto invernadero y costos reducidos de combustible. (Cobos Ramírez, 2019).

La mezcla de bioetanol con gasolina produce biocombustibles de alta energía que tienen propiedades muy similares a la gasolina, pero reducen significativamente las emisiones contaminantes de los motores de combustión interna convencionales. (Tejeda et al., 2010). Esta mezcla es muy utilizada como combustible o refuerzo de gasolina, es completamente renovable ya que cuando se quema, el dióxido de carbono que emite se recicla y se devuelve a las plantas, ya que utilizan el dióxido de carbono durante la fotosíntesis para generar biomasa, además, el uso de bioetanol como combustible fósil enriquecido tiene varias ventajas, como una mejor oxidación de los hidrocarburos en la gasolina y, por lo tanto, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera (alrededor del 12%). (Castro Martínez et al., 2012, p.67)

Para usar etanol como combustible mezclándolo con gasolina, se debe remover el agua hasta alcanzar una pureza de 99.5 a 99.9%. El valor exacto depende de la temperatura, la temperatura a la que se desdobra el agua y la fase hidrocarbonada. (Arosemena et al., 2015, p.2)

El etanol se conoce por su fórmula química:  $CH_3CH_2OH$ , es un líquido incoloro e inflamable, al mezclarse con agua en cualquier proporción da una mezcla azeotrópica. En la tabla 2 se pueden observar las propiedades físicas y químicas:

**Tabla 2.** *Propiedades físicas y químicas del bioetanol*

<b><i>Propiedades físicas y químicas del bioetanol</i></b>	
Apariencia	Líquido claro
Olor	Alcohol concentrado
Gravedad específica	0.78 g/cm <sup>3</sup>
Punto de ebullición	78°C
Densidad relativa de vapor	1.6 (Aire = 1)
Solubilidad en agua	Miscible en agua
pH a 10 g/L H <sub>2</sub> O (20°C)	7.0
Límite de inflamabilidad	3.5 (% Vol. en aire)
Límite superior de inflamabilidad	19 (% Vol. en aire)
Punto de Fusión	-117 °C

*Nota: Adaptado de Comparación del rendimiento y calidad de bioetanol obtenido a partir de la biomasa lignocelulósica de los pseudotallos de banano (p.37) Llangari Sibri, 2018, Universidad Politécnica Salesiana*

## **7.8 Fuentes de generación de bioetanol**

En la actualidad se utilizan diferentes tipos de materias primas para la producción a gran escala de bioetanol, ya que se ha convertido en una alternativa eficiente que se deriva de la biomasa y por lo tanto es renovable. Estas materias primas se dividen en diferentes categorías, cada una tiene sus propias ventajas y desventajas entorno a la eficiencia de producción, costos y disponibilidad. Estas materias primas se dividen de acuerdo con su composición:

### **7.8.1 Materias primas con un alto contenido de sacarosa**

Estas sustancias son ricas en sacarosa y se utilizan para obtener etanol a través de procesos de fermentación y estos se obtienen de cultivos como caña de azúcar, remolacha, sorgo, melazas y residuos industriales como lactosas (Silíceo Rodríguez, 2014).

### **7.8.2 Materias primas con alto contenido de almidón**

Estos materiales son conocidos por un alto contenido de almidón, que puede ser convertido en azúcares fermentables para la producción de etanol, estos se pueden encontrar en distintas fuentes vegetales entre estas predominan los cereales como el maíz, el trigo, la papa. Para la obtención de bioetanol se debe realizar un pretratamiento de molido seco y molido húmedo, además para aflojar los azúcares, glucosa y fructosa se debe realizar un hidrolisis convencional ya sea moderada o enzimática (Silíceo Rodríguez, 2014).

### **7.8.3 Materias primas con alto contenido de celulosa**

Estas sustancias contienen un alto contenido de celulosa, que puede descomponerse en azúcares y posteriormente pasa al proceso de fermentación para la obtención de etanol, este tipo de biomasa son de origen leñoso y residuos agrícolas como el bagazo de caña de azúcar o la paja y los residuos industriales como el suero de la leche. Esta es una de las alternativas promocionadas para el futuro, puesto que para su elaboración no compite con la producción de alimentos. El principal reto es el pretratamiento e hidrólisis para la producción de bioetanol, dado que esta materia prima este compuesto principalmente de una matriz de carbohidratos formada celulosa y lignina enlazada en cadenas de hemicelulosa (Silíceo Rodríguez, 2014).

### **7.8.4 Algas**

Las algas son organismos unicelulares procariotas y autotróficos que llevan a cabo fotosíntesis oxigénica y acumulan glucógeno como principal forma de carbono almacenado, lo que hace que sea una alternativa prometedora para la producción de bioetanol, con la ayuda de algas genéticamente modificadas para la producción directa del etanol, lo que hace que su rendimiento sea 10 veces mayor, lo que representa una ventaja respecto a otros cultivos energéticos, otra de las ventajas es que no libera compuestos nitrogenados o sulfurados al ambiente, como si lo hace el petróleo y sus derivados (Silíceo Rodríguez, 2014).

## 7.9 Procesos de producción de bioetanol

El bioetanol puede ser producido a partir de cualquier tipo de biomasa que contenga cantidades significativas de almidones o azúcares. En la actualidad se enfoca en materiales amiláceos, representando aproximadamente el 53% del total. Estos incluyen cultivos como el maíz, el trigo y otro tipo de cereales, y el proceso de obtención inicia con la selección, limpieza y molienda de los granos, transformando el almidón en azúcares mediante un proceso enzimático a altas temperaturas, una vez liberados los azúcares se procede a la fermentación con los microorganismos seleccionados, lo que resulta en la producción de un vino que posteriormente se destila para purificar el bioetanol (Silíceo Rodríguez, 2014).

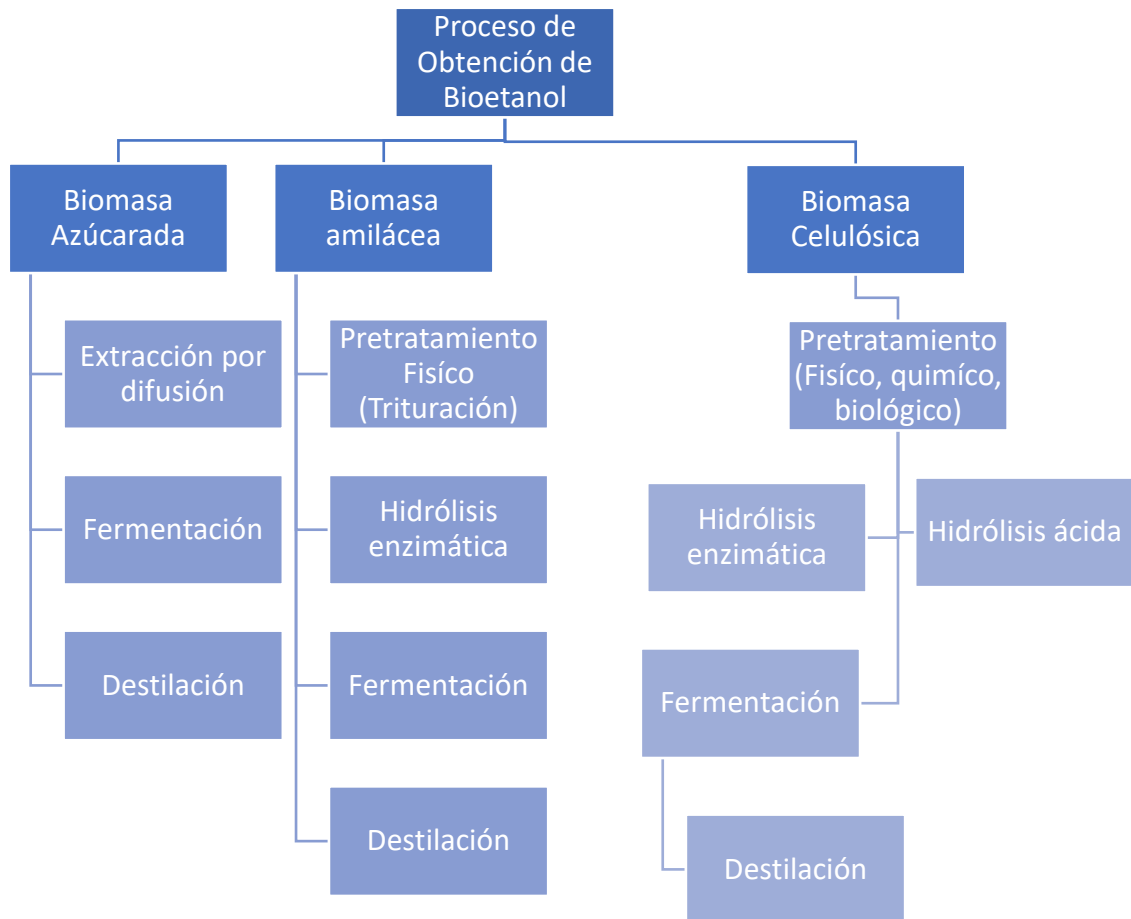
Por otro lado, en el caso de la producción de bioetanol a base de caña de azúcar y remolacha, el proceso es más simple e implica una etapa menos en comparación con otros materiales, esto se debe a que los azúcares ya se encuentran disponibles en la biomasa, en el proceso de extracción de los azúcares ya sea a través de la molienda o la difusión, pueden pasar directamente a la etapa de fermentación, después de esta etapa se lleva a cabo la destilación, así como en el caso de la producción basada en el almidón (Silíceo Rodríguez, 2014).

Sin embargo, la producción de bioetanol a partir de celulosa aún está en fase de desarrollo, enfrentando desafíos tecnológicos y económicos que deben solucionarse, para tener de una manera óptima y eficiente un producto de calidad y replicable de manera industrial.

En la figura 2. Se muestra la producción de bioetanol implica una serie de procesos que varían según los materiales utilizados, además, de generar coproductos adicionales que pueden ser aprovechados en diferentes aplicaciones.

**Figura 2**

Proceso de obtención de bioetanol con los diferentes tipos de materias primas.



Nota: Elaboración propia.

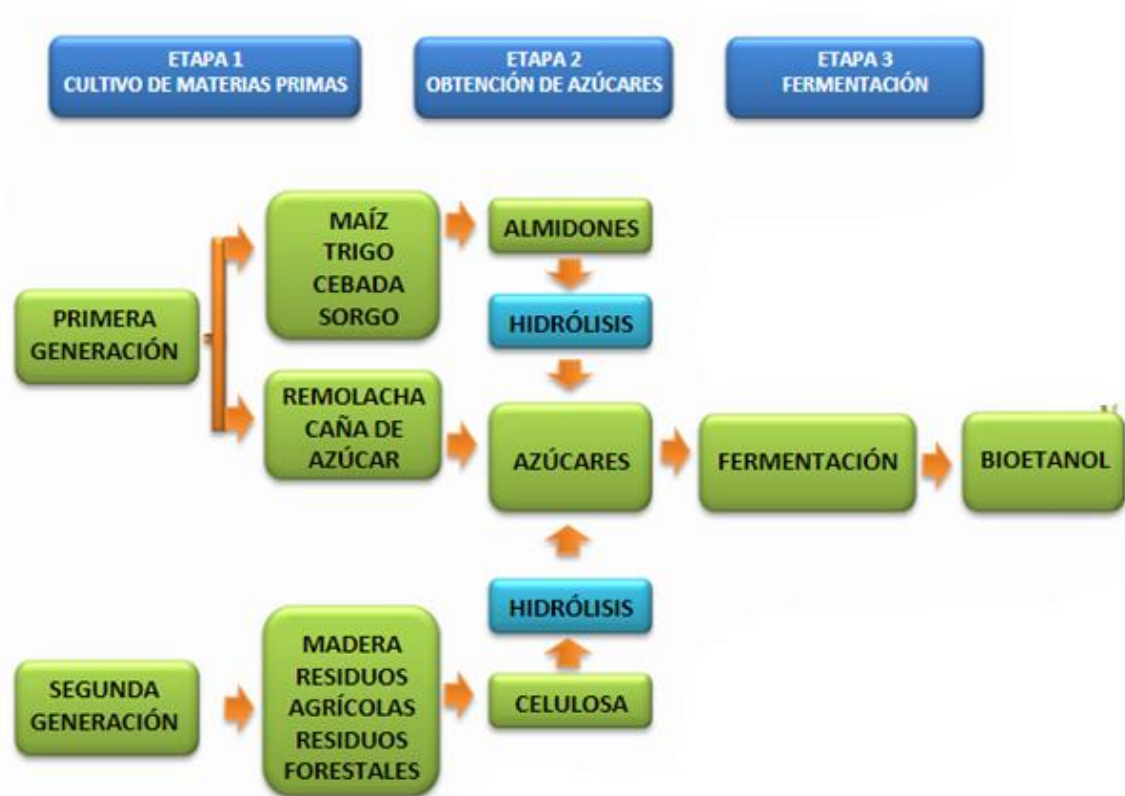
## 7.10 Clasificación en la producción de bioetanol según los métodos

La producción de bioetanol se clasifica de acuerdo con la biomasa utilizada y a los procesos de producción empleados, en la figura 3 se presenta la respectiva clasificación y la biomasa utilizada para la producción.

Figura 3

Esquema de producción de bioetanol





*Nota:* El diagrama ejemplifica el proceso de producción de bioetanol de primera y segunda generación. Adaptado de Bioetanol Biotecnología Aplicada, (p.17) por Bermúdez Huertas, A., Castiblanco Rincón, D. A., & Ávila Nieves, D. M., 2012, Superintendencia Industria y comercio.

### 7.10.1 Bioetanol de primera generación

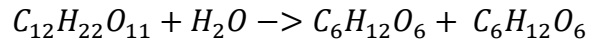
El bioetanol de primera generación se produce a partir de cultivos agrícolas como la caña de azúcar, maíz, remolacha, trigo, sorgo y cebada, la ventaja de estos cultivos es su alto contenido de azúcar y almidón, lo que los hace fácilmente fermentables, los cuales pueden convertirse en etanol mediante proceso de fermentación.

El bioetanol de primera generación se ha utilizado como biocombustible debido a la disponibilidad de materia prima, lo que garantiza un suministro constante, como desventaja genera una constante competencia con la producción de alimentos. En el momento se ha liderado investigaciones que se centran en los métodos de procesamiento con el fin de

obtener un mejor rendimiento y una mejor calidad (Franco Valencia & Piragua Bernal, 2009).

En el proceso de obtención de bioetanol a partir de sacarosa de la caña de azúcar se realiza mediante la siguiente reacción:

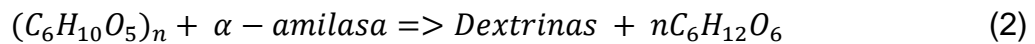
Sacarosa + Agua => Glucosa + Fructosa



(1)

En el proceso de obtención de bioetanol a base de almidón, se obtiene enzimas producidas por microorganismos tales como *Aspergillus niger* de tal forma que se hidrolicen las dextrinas hasta la glucosa mediante la siguiente reacción:

Almidón +  $\alpha$  - amilasa => Dextrinas => Glucosa



### 7.10.2 Bioetanol de segunda generación

El proceso de obtención de bioetanol de segunda generación es conocido como bioetanol celulósico, y este se basa en el uso de materias primas lignocelulósicas no alimentarias, como residuos agrícolas, residuos forestales, biomasa de cultivos energéticos, entre otros. A diferencia del bioetanol de primera generación que utiliza cultivos alimentarios ricos en azúcares o almidón, el bioetanol de segunda generación se obtiene mediante una conversión de celulosa y hemicelulosa presentes en la biomasa lignocelulósicas

El proceso de obtención de bioetanol de segunda generación con lleva varios pasos para su obtención, pretratamiento, hidrólisis, fermentación, destilación (Franco Valencia & Piragua Bernal, 2009).

La obtención de azúcares a partir de materiales lignocelulósicos requiere un pretratamiento para descomponer la matriz de lignina que rodea a los polisacáridos.

Después del pretratamiento, se agregan enzimas celulolíticas que rompen los enlaces  $\beta$ -1,4-glucosídicos de la celulosa, lo que resulta en la obtención de glucosa. Los cócteles enzimáticos comerciales suelen incluir enzimas capaces de hidrolizar los compuestos xilanos en xilosa (Saha, 2005), aunque muchos de estos compuestos se hidrolizan durante el pretratamiento. Una vez que el material ha sido hidrolizado, los azúcares resultantes pueden ser fermentados por diversos microorganismos, dependiendo de su estructura, y convertidos en etanol, que luego puede ser destilado. El residuo de lignina generado durante el proceso se puede utilizar como material sólido para generar electricidad mediante la combustión o puede ser procesado para sintetizar diversos biomateriales.

Las tecnologías utilizadas para obtener bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos implican la hidrólisis de los polisacáridos presentes en la biomasa para obtener azúcares fermentables, seguida de la fermentación para producir bioetanol. La hidrólisis se lleva a cabo mediante tecnologías complejas y multifásicas que pueden utilizar vías ácidas y/o enzimáticas para separar los azúcares y eliminar la lignina.

## 7.11 Producción de bioetanol

El bioetanol se puede producir a partir de cualquier tipo de biomasa que contenga cantidades significativas de almidón o azúcar, proceso que requiere varios pasos para obtenerse (Arosemena et al., 2015). Actualmente, la producción involucra materiales amiláceos como maíz, trigo, otros granos y cereales, la tecnología de procesamiento generalmente comienza con la selección, limpieza y molienda del grano (Silíceo Rodríguez, 2014). Para ello, es necesario conocer la cantidad de celulosa contenida en la materia prima lignocelulósica, ya que es una materia prima potencial para biocombustibles. La producción de bioetanol a partir de celulosa aún se realiza a nivel de laboratorio y planta piloto, con obstáculos técnicos y económicos que superar (Silíceo Rodríguez, 2014).

### **7.11.1 Pretratamiento**

Este paso minimiza la cristalinidad de la celulosa, separa el complejo lignina-celulosa, aumenta el área superficial del material, reduce la presencia de interferencias y reduce la pérdida de material de partida (Hernández Galindo, 2017).

### **7.11.2 Hidrólisis**

La hidrólisis implica la liberación de azúcares de la estructura del polímero para formar biomasa, que se utiliza como sustrato después de la fermentación. Bajo la influencia de las enzimas, la celulosa se hidroliza a monosacárido de D-glucosa y la hemicelulosa a pentosa y hexosa, como manosa, glucosa, xilosa” (Silíceo Rodríguez, 2014, p.52).

### **7.11.3 Hidrolisis Ácida**

Es el proceso de conversión de cadenas de polisacáridos a monosacáridos mediante un catalizador ácido que puede ser utilizado en concentrados que trabajan a bajas temperaturas o diluciones a temperaturas más altas y tiempos de reacción más cortos. Este es un proceso más rápido que el tratamiento enzimático y facilita la formación de productos de descomposición del azúcar como el furfural y el hidroximetilfurfural, que afectan negativamente a la fermentación porque actúan como inhibidores, reduciendo la eficiencia del proceso. Ejemplos de diferentes ácidos utilizados en la hidrólisis ácida: sulfúrico, clorhídrico, fosfórico, nítrico se consideran más rápidos que el tratamiento enzimático (Hernández Galindo, 2017).

### **7.11.4 Hidrolisis Enzimática**

Es el proceso de fragmentación o destrucción de polisacáridos utilizando catalizadores biológicos o enzimas. La reacción enzimática tiene lugar en condiciones de temperatura suave y puede utilizarse como celulasa, amilasa y amiloglucosidasa. La ventaja de la hidrólisis enzimática es que cataliza enzimas específicas, lo que permite altos rendimientos y evita la formación de productos de degradación, además de proporcionar un

tiempo de reacción prolongado. La hidrólisis enzimática es más eficiente que la hidrólisis ácida y alcalina porque no es corrosiva para los materiales y equipos. La desventaja de este tipo de hidrólisis es el alto costo de la enzima y los monosacáridos y disacáridos resultantes pueden interferir con su crecimiento (Hernández Galindo, 2017).

### **7.11.5 Hidrolisis Básica**

Los compuestos básicos se utilizan como reactivos. Estos compuestos suelen ser hidróxido de sodio e hidróxido de calcio y son resistentes a altas temperaturas. El NaOH diluido es el más comúnmente utilizado, lo que hace que la biomasa se hinche, lo que promueve la actividad de enzimas y bacterias. Esto permite que se elimine la lignina, lo que hace que su estructura se descomponga y se desprenda de los carbohidratos a los que está unida. Eventualmente, la degradación continúa y destruye el polisacárido. (Hernández Galindo, 2017, p.28)

#### ***7.11.5.1 Compuestos inhibidores y métodos de eliminación***

Cuando los materiales lignocelulósicos se someten a fuertes condiciones durante el pretratamiento, como las altas temperaturas, las altas presiones o a un ambiente ácido, pueden generarse productos tóxicos que afecten las etapas posteriores de hidrólisis y fermentación, esto crea la reducción del rendimiento y de la producción de la biomasa.

##### ***7.11.5.1.1 Compuestos inhibidores***

Entre los compuestos inhibidores más comunes en procesos hidrotérmicos se encuentran el ácido acético, el furfural (FUR) y el hidroximetilfurfural (HMF). El furfural se origina a partir de la degradación de las pentosas, mientras que el hidroximetilfurfural se forma debido a la degradación de las hexosas. En condiciones de anaerobiosis la mayoría de los microorganismos fermentadores son capaces de reducir estos compuestos a alcoholes de menor toxicidad, sin embargo, altas concentraciones de furfural y hidroximetilfurfural

tienen un efecto inhibitorio sobre los microorganismos lo que hace que el rendimiento del etanol y la producción de la biomasa. Los efectos producidos por el hidroximetilfurfural son menores que el furfural, pero son los mismos (Hernández Galindo, 2017).

El ácido acético es un producto final de muchas reacciones de oxidación, se forma a partir de los grupos acetilados de la hemicelulosa, junto con el ácido fórmico, derivado de la degradación de furfural y hidroximetilfurfural, el ácido acético puede afectar el rendimiento de la fermentación. Estos compuestos pertenecen a los ácidos débiles cuya forma puede atravesar la membrana celular, provocando una disminución del pH intracelular. Debido a las altas concentraciones de los ácidos puede superar la capacidad de bombeo de protones y se produce la muerte celular (Hernández Galindo, 2017).

#### ***7.11.5.1.2 Método de eliminación***

Dependiendo del pretratamiento e hidrólisis utilizados se hace necesario llevar a cabo una detoxificación del material antes de la fermentación para lograr una mayor producción de bioetanol.

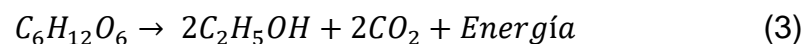
La detoxificación tiene como objetivo eliminar los compuestos inhibidores que se forman durante el pretratamiento e hidrólisis y que pueden afectar posteriormente la fermentación. Para esto se emplean métodos biológicos y fisicoquímicos, en el primer caso los métodos biológicos implican el uso de enzimas y microorganismos, se utilizan principalmente peroxidasas y lacasas o en cuanto a los microorganismos utilizados pueden ser del tipo bacteriano o fúngico. En el segundo caso se utilizan hidróxidos para aumentar el pH y formar precipitados con sales de calcio que se retiran antes de la fermentación, este método es utilizado por su eficacia en la reducción de inhibidores y altos rendimientos en la fermentación, además es un método económicamente viable en comparación con otras técnicas (Hernández Galindo, 2017).

### 7.11.6 Fermentación

Después de hidrolizar la pentosa y la hexosa del material lignocelulósico y eliminar los compuestos inhibidores como el furfural y el hidroximetilfurfural, continúa la fermentación (Hernández Galindo, 2017).

La fermentación o fermentación etílica es un catabolismo oxidativo parcial llevado a cabo por microorganismos específicos para obtener energía de bacterias, realizar sus efectos sobre compuestos de carbono o metabolizar carbohidratos tales como: glucosa, fructosa, o trabajar formando alcohol y puede ser producido por levaduras, un proceso conocido como fermentación alcohólica e implicado en la producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica, un tipo de azúcar que se produce por hidrólisis enzimática que convierte la glucosa en etanol y  $CO_2$  (Silíceo Rodríguez, 2014).

El propósito de la fermentación alcohólica es obtener energía anaeróbica al metabolizar enzimas o metabolizar glucosa al disociar moléculas, produciendo alcohol y dióxido de carbono como productos de desecho, obteniendo energía de acuerdo con la siguiente ecuación: (Silíceo Rodríguez, 2014).



### 7.11.7 Levadura

La levadura es el microorganismo más utilizado en la producción de etanol debido a su baja producción de inhibidores, bajo rendimiento y facilidad de separación después de la fermentación (Arellano Perales, 2015). Los principales microorganismos que realizan este tipo de fermentaciones son las levaduras del género *Candida*, las más utilizadas *Saccharomyces cerevisiae*, (Hernández Galindo, 2017). Por sus propiedades, es un microorganismo popular para la fermentación de azúcares derivados de la celulosa. Estas cepas pueden fermentar glucosa, manosa y fructosa, así como disacáridos como sacarosa y maltosa mediante glucólisis, y proporcionan condiciones de fermentación de 30 a 37 °C,

aunque la fermentación es posible de 15 a 40 °C. El pH está cerca de 4,0-5,0 con la etapa anaeróbica, aunque la fermentación se lleva a cabo en condiciones anaeróbicas. (Arellano Perales, 2015). Durante la glucólisis, "la levadura descompone los azúcares en energía, intermediarios útiles para el crecimiento celular y la gran cantidad de productos finales (etanol, dióxido de carbono y calor) que liberan" (Silíceo Rodríguez, 2014, p.62).

El alto rendimiento de *Saccharomyces cerevisiae* se convierte en una excelente opción para obtención de alcohol.

### **7.11.7.1 *Saccharomyces cerevisiae***

Este es un microorganismo perteneciente a la clase *Saccharomycetes* incluye al phylum *Ascomycota*, es conocido por el nombre de levadura de panadería o levadura de cerveza. Es un microorganismo utilizado en la fermentación de azúcares derivados de la celulosa, esta levadura tiene la capacidad de fermentar glucosa, manosa, fructosa y disacáridos como sacarosa y maltosa a través de la glucólisis. Durante la producción son responsables de sintetizar la glucosa mediante la ruta de glucólisis, generando altas concentraciones de etanol y dióxido de carbono, en el proceso solo de producen dos moléculas de ATP por molécula de glucosa metabolizada, esto con el fin de impulsar su crecimiento. Esta levadura es ampliamente utilizada en la producción de bioetanol debido a su alta capacidad de fermentar azúcares y su tolerancia al alcohol (Arellano Perales, 2015).

Para iniciar la fermentación alcohólica, es necesario tener un entorno en condiciones aeróbicas para promover la formación de biomasa. La presencia de azúcares asimilables superiores a 0.16 g/L, durante el proceso de crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* conduce inevitablemente a la producción de alcohol a este fenómeno se le conoce como efecto Crebtree. Sin embargo, a estas algunas enzimas son insolubles durante este proceso y requieren de cierto tiempo para alcanzar la concentración necesaria para la obtención de azúcares en etanol bajo las condiciones de anaerobiosis.



Por su capacidad de fermentar azúcares la levadura *Saccharomyces cerevisiae* se convierte en un microorganismo ideal para convertir la biomasa lignocelulósica en bioetanol, puesto que su manipulación y recuperación es fácil, no presenta un alto costo, tolera altas concentraciones de etanol, en la fermentación produce bajos niveles de subproductos, es osmotolerante, capaz de utilizar altas concentraciones (Silíceo Rodríguez, 2014). Sin embargo, la fermentación de sustratos lignocelulósicos es un proceso complejo ya que, integra la degradación de la celulosa y la hemicelulosa presentes en este tipo de biomasa, una solución para esta problemática es utilizar cepas modificadas genéticamente o cepas de cocultivadas con otro tipo de microorganismos capaces de degradar la biomasa y generar azúcares fermentables (Arellano Perales, 2015).

### **7.11.8 Condiciones a medir y controlar en el proceso de fermentación**

El resultado final del proceso de fermentación en la producción de bioetanol puede verse afectado por las condiciones controladas durante dicho proceso, si estas condiciones no son adecuadas existe el riesgo de reducir su potencial de producción, rendimiento o calidad, algunos de los factores claves a considerar y controlar son los siguientes:

#### **7.11.8.1 Temperatura**

En la fermentación se tienen un rango de temperatura para el crecimiento de microorganismos. La temperatura óptima puede variar según los microorganismos utilizados. Si la temperatura es demasiado baja, la fermentación puede ser lenta o puede detenerse por completo. Por otro lado, si la fermentación es demasiado alta puede inhibir el crecimiento o afectar la actividad del microorganismo, lo que afecta de una manera negativa el proceso de obtención de bioetanol (Cobos Ramírez, 2019).

### **7.11.8.2 pH**

Controlar el pH es crucial para crear un entorno de fermentación óptimo. Los microorganismos utilizados tienen un rango de pH, que puede hacer que tenga influencia en los productos finales del metabolismo anaerobio. Un pH inadecuado puede inhibir el crecimiento microbiano y afectar la producción de bioetanol (Cobos Ramírez, 2019).

### **7.11.8.3 Concentración de nutrientes**

Los microorganismos utilizados en la fermentación requieren de una variedad de nutrientes, como azúcares, vitaminas y minerales, para producir bioetanol. En este proceso es crucial proporcionar los nutrientes adecuados para optimizar el proceso de producción (Cobos Ramírez, 2019).

### **7.11.8.4 Oxigenación**

Dependiendo de los microorganismos utilizados la presencia o ausencia de oxígeno puede determinar el éxito o fracaso de la fermentación. Algunos de los microorganismos requieren de condiciones anaeróbicas (sin presencia de oxígeno) o cuando requieren de condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno). En el caso de *Saccharomyces cerevisiae* es una levadura que posee alta actividad metabólica por lo que realiza un proceso fermentativo en fase aerobia, caracterizándose por la producción de biomasa o en fase anaeróbica por la producción de bioetanol (Cobos Ramírez, 2019).

### **7.11.8.5 Tiempo de fermentación**

La duración de la fermentación debe ser controlada. Un tiempo de fermentación insuficiente puede generar una fermentación incompleta, mientras que un tiempo demasiado largo puede dar lugar a la producción de subproductos no deseados.

### **7.11.8.6 Productividad**

Se refiere a la cantidad de biomasa producida por unidad de volumen por unidad de tiempo de cultivo, expresada en concentración de biomasa (g/L) en función del tiempo (h) (Cobos Ramírez, 2019).

### **7.11.9 Destilación**

El proceso de destilación consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasen a la fase de vapor y luego enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida mediante la condensación. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando la diferencia de volatilidades (Silíceo Rodríguez, 2014).

El proceso de destilación es la última fase para separar el etanol obtenido mediante la fermentación del agua debido a la diferencias en sus volatilidades, Para separar los componentes es necesario realizar destilaciones sencilla repetidas, durante el proceso se obtiene un vapor cada vez más puro en etanol, ya que a presión atmosférica, el etanol tiene un punto de ebullición aproximadamente 78.2°C, mientras el punto de ebullición del agua es de 100°C, cuando la mezcla alcanza el punto azeótropo para obtener alcohol al 100% se requiere realizar una ruptura, lo cual el proceso se vuelve complejo y costoso(Hernández Galindo, 2017).

## **7.12 Producción de bioetanol a partir de materiales**

### **lignocelulósicos**

El bioetanol se puede producir a partir de biomasa lignocelulósica, a partir de productos agrícolas que contienen celulosa, como la madera en bruto. Los compuestos de lignocelulosa consisten principalmente en una matriz de carbohidratos de celulosa y lignina unidas por cadenas de hemicelulosa. Debido al bajo precio de las materias primas de lignocelulosa, estas materias primas se utilizan como un importante sustituto para la

producción de bioetanol relacionado con la biomasa de azúcar y almidón. bosques en barbecho, plantas aromáticas, papel de desecho El mayor desafío en la producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica es el pretratamiento y la hidrólisis de las materias primas. La producción de bioetanol a partir de residuos o desechos agrícolas es importante para evitar la sustitución de bioenergía por alimentos. (Silíceo Rodríguez, 2014).

### **7.12.1 Compuestos Lignocelulósicos**

Los compuestos de lignocelulosa se componen principalmente de ésteres, proteínas, carbohidratos, celulosa, hemicelulosa, lignina y materiales minerales extraíbles (Arellano Perales, 2015). “Los compuestos de lignocelulosa son populares porque forman parte de los residuos orgánicos de plantas, granos y otras materias primas asociadas con frutas y verduras” (Monroy et al., 2017, p.50). La composición de los materiales de lignocelulosa varía según factores como el clima, los nutrientes, la ubicación geográfica, las especies. (Arellano Perales, 2015).

### **7.12.2 Celulosa**

La celulosa es un polisacárido formado por la unión de monómeros de D-glucosa a través de enlaces glucosídicos  $\beta$ -(1,4). Las cadenas lineales de celulosa están unidas por hidrógeno para formar una estructura cristalina insoluble estable. Como con todos los polímeros, uno de los parámetros más importantes es la fracción cristalina. En el caso de la celulosa, esta relación varía del 50% al 90%, ya que, si bien la parte amorfa se hidroliza fácilmente, la fracción cristalina es mucho más estable. Estos factores favorecen el pretratamiento para la producción de bioetanol (Hernández Galindo, 2017).

### **7.12.3 Hemicelulosa**

La hemicelulosa está compuesta por cadenas cortas, principalmente azúcares pentosas y hexosas. Además, contiene pequeñas cantidades de ácidos orgánicos que juegan un papel importante en la unión de celulosa y lignina. Este polímero no es cristalino y se hidroliza fácilmente. (Hernández Galindo, 2017).

### 7.12.4 Lignina

La lignina es un polímero sin carbohidratos mezclado con celulosa y hemicelulosa y proporciona rigidez a los materiales de lignocelulosa. Se puede eliminar mediante varios métodos de pretratamiento para romper la matriz de lignocelulosa y así facilitar la hidrólisis de celulosa y hemicelulosa. La hemicelulosa une la celulosa a la lignina en menor medida, lo que da como resultado la rigidez inherente de dichos materiales. (Hernández Galindo, 2017).

### 7.13 Normativa de producción de bioetanol en Colombia

El Congreso colombiano regula el uso de biocombustibles mediante la creación de un programa denominado E10, el cual se encuentra reflejado en el art. 693 en 2001, que exige la adición de etanol al 10% (v/v) a la gasolina en ciudades con más de 500.000 habitantes. Desde noviembre de 2005, el etanol se ha incorporado gradualmente a la gasolina que se consume en varias ciudades del país, incluida Bogotá. (Franco Valencia & Piragua Bernal, 2009, p.19)

El Ministerio de Minas y Energías y la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energéticas) propone las principales leyes y requerimientos que deben cumplirse con respecto a la calidad, producción y comercialización del bioetanol en Colombia, esto establece las restricciones legales que se deben de tener en cuenta para tener un mayor impacto en la investigación que busca incentivar y garantizar una adecuada gestión en el sector energético:

- Ley 693 de 2001. Esta ley trata de los estímulos para la producción, comercialización y consumo de etanol, lo que proporciona un marco regulatorio que fomenta el uso de biocombustibles como lo es el etanol.
- Decreto 1135 de 2009 y expide la regulación técnica de la ley 693 de 2001 con relación a la producción, distribución y puntos de mezcla de los

alcoholes carburantes. Lo que establece los requisitos y procedimientos para garantizar la calidad, seguridad de los biocombustibles.

- Decreto 4892 de 2011, dicta las disposiciones aplicables al uso de alcoholes carburantes, estableciendo los lineamientos para la mezcla y el uso de alcoholes como aditivos en los combustibles, así mismo como las condiciones tanto de almacenamiento, como transporte y comercialización.
- Resolución 90932 de 2013, establece los porcentajes de mezcla de alcohol carburante con las gasolinas E10 en las plantas de abastecimiento mayoristas. Estos porcentajes determinan la proporción de alcohol que debe contener la gasolina cumpliendo con las respectivas especificaciones y requisitos establecidos.
- Resolución 40565 de 2015, define la cantidad y el porcentaje de mezcla de alcohol carburante para la zona suroccidente del país para vehículos automotores.
- Resolución 40626 de 2017, determina el porcentaje de la mezcla de E8 de alcohol carburante con gasolina de motor corriente a nivel nacional. Asegurando el contenido mínimo de alcohol en este tipo de combustible.
- Resolución 40185 de 2018, establece el porcentaje de mezcla de alcohol carburante en la gasolina motor corriente y extra a nivel nacional con el fin de promover el uso de biocombustibles y reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

## **8. Diseño Metodológico**

Para dar respuesta al problema planteado, se desarrolla el siguiente diseño de investigación para identificar una transformación óptima para la producción de bioetanol a partir residuos de corozo, con el objetivo de minimizar la contaminación generada por los

residuos y aumentar la producción y siembra de *Bactris guineensis* o palma de corozo, además se propone una estrategia para aumentar la eficiencia del proceso de producción de bioetanol, con el fin de aumentar la competitividad del bioetanol como fuente de energía renovable y evaluar el comportamiento de las variables que afectan el proceso de producción de bioetanol.

## **8.1 Tipo de metodología**

En base a las características de la problemática se define como metodología principal el método científico, el cual se desarrolla mediante una investigación con un enfoque de tipo cuantitativo, debido a que se quiere comprobar el rendimiento del bioetanol, los residuos del corozo, por medio de la fermentación para la producción de bioetanol y para esto usamos los datos que nos proporcionan mayor confiabilidad a la hora de poder comparar los datos con la literatura.

## **8.2 Diseño de la investigación**

### **8.2.1 Enfoque cuantitativo**

Metodológicamente, el enfoque de investigación cuantitativa se caracteriza por una preferencia por la lógica deductiva empírica, basada en procedimientos rigurosos, métodos empíricos y el uso de métodos estadísticos de recolección de datos.

### **8.2.2 Experimental**

El diseño de la investigación experimental se utiliza para establecer una relación entre la causa y el efecto de una situación. Por ejemplo, se monitorea el efecto de una variable independiente como el precio sobre una variable dependiente como la satisfacción del cliente o la lealtad a la marca. Las variables independientes son manipuladas para monitorear el cambio que tiene en la variable dependiente.

Debido a que se manipulo las variables independientes como lo son los residuos del corozo, cuyo fin de garantizar la producción de bioetanol mediante los procesos de hidrolisis y fermentación y las variables dependientes como lo son la fermentación y el rendimiento.

### **8.3 Alcance de la investigación**

El objetivo principal es demostrar la obtención de bioetanol a partir de los residuos del corozo, mediante un estudio experimental, hallando una respuesta a la interrogante que se quiere resolver en esta investigación: ¿Qué tan eficiente es la producción de bioetanol usando residuos de corozo como materia prima? Para dar respuesta al interrogante se plantea realizar un análisis de tipo experimental a escala de laboratorio y que este mismo sea replicable y eficiente en otros ambientes.

### **8.4 Población y muestra**

La población elegida para el presente trabajo de investigación es la ciudad de Bogotá.

La muestra que se va a tener en cuenta es la plaza de Corabastos, y los residuos de corozo que allí podamos recolectar y se recolecta 1 Kg de estos.

### **8.5 Hipótesis**

#### **8.5.1 Hipótesis nula**

**H<sub>0</sub>** = No existe diferencia significativa entre bioetanol producido a partir de la savia de la palma de corozo y el bioetanol producido a partir de la fruta del corozo.

#### **8.5.2 Hipótesis Alternativa**

**H<sub>i</sub>** = El rendimiento de la fruta del corozo es mejor que el de la savia de la palma al momento de la producción de bioetanol



## 8.6 Variables

### 8.6.1 Variables independientes

Residuos de corozo: Son los restos de la palma de corozo o la fruta del corozo utilizados en la obtención de bioetanol.

### 8.6.2 Variables dependientes

Rendimiento: Representa la cantidad de bioetanol obtenido.

Fermentación: Representa el proceso en el cual los azúcares están presentes en los residuos de corozo se transforman en alcohol.

### 8.6.3 Variable respuesta

Producción de bioetanol: Este es considerado el resultado final del proceso obtenido a partir de los residuos de corozo, representando la cantidad como la calidad del bioetanol obtenido.

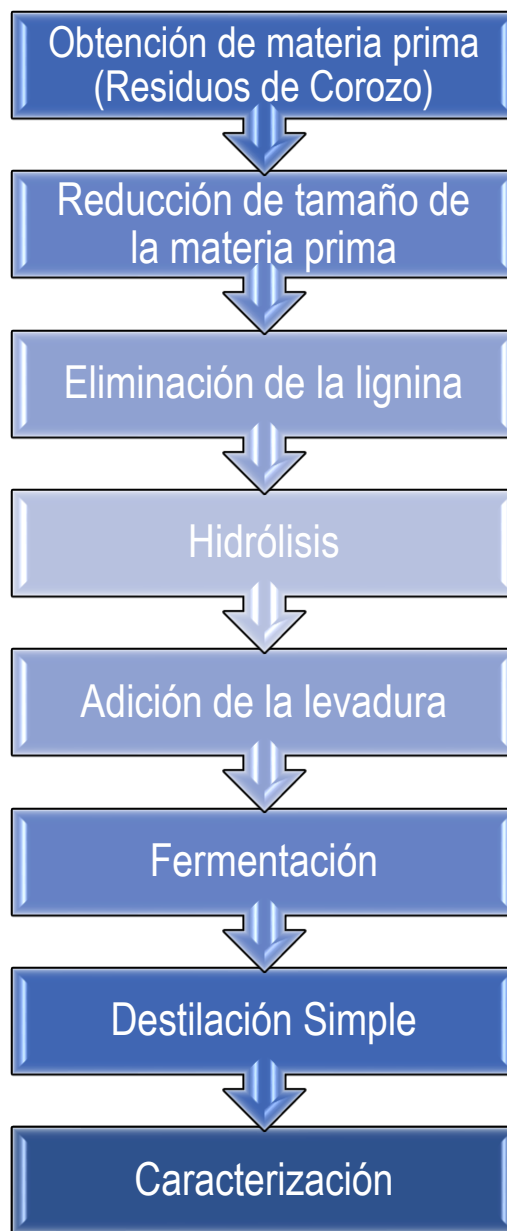
## 8.7 Método de Investigación

Basándonos en los diversos estudios revisados durante el proyecto, para transformar los residuos de corozo en bioetanol, se puede lograr a partir de una serie de procesos: hidrólisis ácida mediante ácido cítrico, fermentación de los azúcares utilizando el microorganismo *Saccharomyces cerevisiae* (levadura) y destilación mediante un montaje de destilación simple.

Para brindar una representación clara del proceso, se presenta el diagrama de flujo en la figura 4.

### Figura 4

*Planteamiento general del proceso de obtención de bioetanol en el laboratorio.*



*Nota:* Elaboración propia.

### **8.7.1 Obtención de materia prima**

Para llevar a cabo el proceso de obtención de bioetanol, se adquirió la materia prima de la plaza de mercado “Corabastos o Central Abastos”, donde se recolectaron 1000 gramos de corozo.

### 8.7.2 Reducción de tamaño de la materia prima

De los 1000 g de materia prima se escogieron 200 gramos de residuos de corozo, se lava para separar las impurezas, luego, se procede a reducir su tamaño de partícula mediante un molino eléctrico hasta alcanzar un tamaño de partícula de  $< 1$  mm.

### 8.7.3 Eliminación lignina

Se introduce 200 gramos de residuos de corozo a un reactor de 1000 mL en una solución de Hidróxido de sodio ( $NaOH$ ) a 0.1 N durante 15 minutos, siguiente a este proceso se procede a agitar. Luego se agregan 2.6635 gramos de sulfato de calcio ( $CaSO_4$ ) a la mezcla de residuos de corozo con la disolución de hidróxido de sodio, dejándolo reposar durante 3 horas, para que el material sólido se sedimente. Finalmente, se separa el material particulado en la disolución a través de la decantación.

### 8.7.4 Hidrólisis

Posteriormente se agrega 50 mL de ácido cítrico al 5% por cada 100 gramos de residuos de corozo en la disolución de hidróxido de sodio y sulfato de calcio, a una temperatura de  $125$  °C y una presión de 15 psi durante 15 minutos.

### 8.7.5 Adición de la levadura

La muestra obtenida de residuos de corozo se introduce en un reactor de 500 mL, con el fin de adicionarle el microorganismo *Saccharomyces cerevisiae* se calcula la cantidad de levadura 0.1 %P/V y se procede a pesar la cantidad en una balanza analítica.

### 8.7.6 Fermentación

La mezcla es transferida a un reactor de 1000 mL, se ajusta el pH a 4.5 - 5.0 con hidróxido de sodio ( $NaOH$ ) 5 N, y como nutriente se utiliza 0.25% de fosfato ( $(NH_4)_3PO_4$ ), nitrógeno y se adiciona el microorganismo *Saccharomyces cerevisiae*. Seguidamente es agitado durante 30 minutos. En este proceso se controla el pH en un rango de 4.5 y 5.0 y la temperatura de fermentación alcohólica en una incubadora a  $22$  °C durante 72 horas.

Transcurrido este tiempo, se realiza un filtrado al vacío con un embudo Büchner y papel de filtro.

### 8.7.7 Destilación simple

Para la fase de destilación se calienta la solución a 95°C, teniendo en cuenta que la temperatura de ebullición del etanol es de 78°C, aunque otros estudios consideran que puede llegar a los 85°C, hasta llegar a un tiempo de 20 minutos. se conecta a un condensador hasta obtener la temperatura para la destilación, los vapores que se producen se recolectan y se condensan para obtener el producto final.

## 8.8 Cronograma

De acuerdo con el planteamiento general del proceso de obtención de bioetanol a base de residuos de corozo, se realiza un cronograma representado en la tabla 2 con el fin de alcanzar los objetivos propuestos de la investigación, lo que permitirá seguir el proceso de manera organizada y efectiva.

**Tabla 2**

*Cronograma de proceso de obtención de bioetanol a base de residuos de corozo.*

Fecha	Aspecto	Duración	Descripción
<b>27/marzo</b> <b>Lunes</b>	Laboratorio	5 horas	Realización de los dos pretratamientos.
<b>28/marzo</b> <b>Martes</b>	Laboratorio	3 horas	Hidrólisis ácida y alcalina.
<b>30/marzo</b> <b>Jueves</b>	Laboratorio	3 horas	Fermentación alcohólica de un porcentaje de la solución. Obtención del bioetanol y medición de sus características.
<b>10/abril</b> <b>Lunes</b>	Laboratorio	5 horas	Fermentación alcohólica de un segundo porcentaje de la solución. Segunda muestra de bioetanol y sus características.
<b>13/abril</b> <b>Jueves</b>	Laboratorio	3 horas	Fermentación de una tercera muestra. Tercera muestra de bioetanol y sus características.

---

<b>17/abril Lunes</b>	Laboratorio	5 horas	Fermentación de una cuarta muestra. Cuarta muestra de bioetanol y sus características.
<b>24/abril Lunes</b>	Laboratorio	5 horas	Fermentación de una quinta muestra. Quinta muestra de bioetanol y sus características. Comparación de todas las mediciones de las muestras.

---

*Nota:* Elaboración propia

## 9. Resultados- Análisis

Los procedimientos realizados en el laboratorio para la solución de la problemática planteada permitieron identificar y estandarizar los comportamientos y hallazgos que favorecen la producción de bioetanol partiendo de los residuos de corozo.

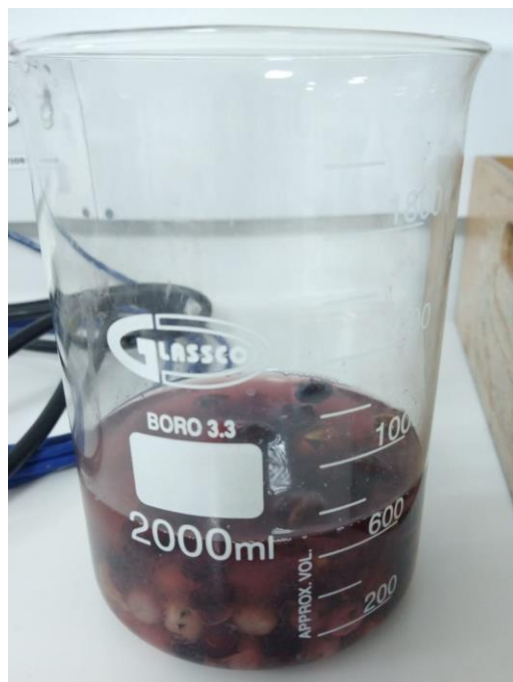
## 9.1 Prueba 1

Para iniciar el proceso de obtención de bioetanol, la materia prima seleccionada se le realizó un proceso de limpieza, eliminando cualquier impureza que pudiera generar algún subproducto no deseado. Se eligió 200 gramos de residuos de corozo sin realizarle ningún tipo de pretratamiento físico o químico, como se muestra en la figura 5.

Posteriormente, se procedió a la eliminación de la lignina, lo cual requirió la preparación de una solución compuesta por 500 mL de NaOH al 0.1 N y 0.8273 g de sulfato de sodio. Este paso se llevó a cabo con el fin de descomponer y extraer la lignina presente en la muestra, facilitando la posterior obtención de bioetanol.

**Figura 5**

*Proceso de eliminación de lignina con los residuos de corozo sin pretratamiento físico*



*Nota:* Elaboración propia.

Con el fin de lograr el proceso de hidrólisis de una manera más eficiente, fue necesario que la muestra estuviese lo más limpia, para ello se llevó a cabo la separación de la solución del material particulado, obteniendo aproximadamente 400 mL de solución.

A la solución obtenida se le agregó 100 mL de ácido cítrico 0.3 M. Una vez preparada la solución, se procedió a realizar la hidrólisis ácida a una temperatura de 95°C durante 20 minutos, manteniendo el pH de la solución de 4.8. Luego de este tiempo, se llevó a que regresara a temperatura ambiente antes de continuar con la fermentación.

Para el proceso de fermentación se añadió 10 gramos de levadura y se cubrió el recipiente para evitar la interacción con el oxígeno durante una semana.

Antes del proceso de destilación la solución presentaba una concentración aproximada de 3° Brix. Después de proceso de destilación se obtuvo aproximadamente 5mL, presentando una concentración de 0.5° Brix.

## 9.2 Prueba 2

Para iniciar el proceso de obtención de bioetanol de la prueba 2. A la materia prima seleccionada se le realizó un proceso de limpieza, eliminando cualquier impureza que pudiera generar algún subproducto no deseado. Se eligieron 200 gramos de residuos de corozo, a diferencia de la prueba 1 se le realizó un pretratamiento físico de trituración mediante un molino eléctrico como se muestra en la figura 6.

Para el procedimiento de la eliminación de la lignina, requirió la preparación de una solución compuesta por 500 mL de NaOH al 0.1 N y 0.8300 gramos de sulfato de sodio. Este paso se llevó a cabo con el fin de descomponer y extraer la lignina presente en la muestra, facilitando la posterior obtención de bioetanol.

**Figura 6**

*Proceso de eliminación de lignina con los residuos de corozo con pretratamiento físico (trituration)*



*Nota: Elaboración propia.*

Se realizaron varias etapas desde la preparación de la solución para la hidrólisis acida hasta la fermentación y destilación.

Con el fin de lograr el proceso de hidrólisis de una manera más eficiente, fue necesarios que la muestra estuviese lo más limpia. Para ello se llevó a cabo la separación de la solución del material particulado como se puede observar en la figura 7, obteniendo aproximadamente 400 mL de solución.

### Figura 7

*Proceso de separación de la solución del material particulado.*



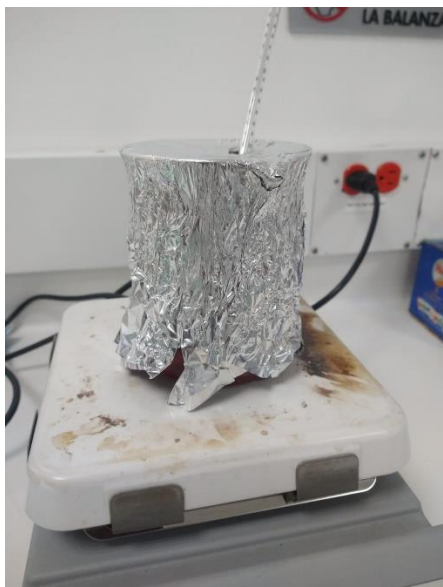
*Nota: Elaboración propia.*

A la solución obtenida se le agregaron 100 mL de ácido cítrico 0.3 M. Una vez preparada la solución, se procedió a realizar la hidrólisis acida a una temperatura de 95 °C durante 20 minutos, manteniendo el pH de la solución entre 4.8 – 5.0 como se muestra en la figura 8. Luego de este tiempo, la muestra se dejó en enfriamiento hasta alcanzar la temperatura ambiente (19 °C), antes de continuar con la fermentación.

### Figura 8

*Proceso de hidrólisis.*





*Nota:* Elaboración propia.

Para el proceso de fermentación se añadió 10 gramos de levadura y se cubrió el recipiente para evitar la interacción con el oxígeno durante dos semanas y tres días.

Antes del proceso de destilación la solución presentaba una concentración aproximada de 13° Brix. Después de proceso de destilación se obtuvo aproximadamente 15mL, presentando una concentración de 7° Brix.

### 9.3 Rendimiento

Para determinar el rendimiento de obtención de bioetanol

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Valor real}}{\text{Valor teórico}} * 100 \quad (4)$$

#### **Prueba 1**

Para identificar el rendimiento de la prueba 1 con 200 gramos de residuos de corozo con un valor real de 5 mL

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{5\text{mL}}{100\text{mL}} * 100 = 5\% \quad (5)$$

## **Prueba 2**

Para identificar el rendimiento de la prueba 2 con 200 gramos de residuos de corozo con un valor real de 10 mL

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{10\text{mL}}{100\text{mL}} * 100 = 10\% \quad (6)$$

Durante el proceso de elaboración de bioetanol se generaron varios desafíos que afectaron las variables importantes que debían ser controladas. Estos fallos se reflejan en los resultados obtenidos, ya que no son los suficientes para poder realizar comparaciones con otros trabajos de investigación.

Por otro lado, la implementación de un proceso de pretratamiento físico en los residuos de corozo ha demostrado un aumento de la concentración. El proceso de pretratamiento se realizó mediante una hidrólisis básica, lo cual resultó en una mejora significativa en la obtención de bioetanol, con un incremento de 0.5 a 7 grado Brix, además, al utilizar 200 gramos de corozo en ambas pruebas, solo se pudo obtener 5 mL de etanol en la prueba 1 y en la prueba 2 se obtuvo 10 mL lo que demuestra una baja eficiencia del etanol obtenido

Estos resultados resaltan la importancia del pretratamiento, ya que juega un papel importante y crucial en el aumento del contenido de azúcar en la muestra, además, la eliminación de la lignina y la hidrólisis ácida son etapas fundamentales para obtener resultados óptimos. Los resultados obtenidos en las pruebas proporcionan información importante para la producción de bioetanol a partir de los residuos de corozo, con concentración de azúcar superiores a dos.

## 10. Valoración de hipótesis

Por todo lo visto anteriormente en este documento se puede decir que las hipótesis que planteamos desde estaban erróneas, ya que así lo demuestran los resultados obtenidos a través de los experimentos realizados para cada una de las muestras.

Sin embargo, queremos añadir que si se tiene en cuenta las recomendaciones que se encuentran más adelante en este documento se podrían obtener unos resultados más favorables de los presentados aquí mismo, para que de esta manera tengan una mayor fuerza al momento de querer comprobar o refutar las mismas hipótesis.

## 11. Conclusiones

Durante la investigación, se realizó un análisis exhaustivo de diversas áreas de Bogotá, como la Plaza de Mercado Paloquemao, la Plaza Distrital de Mercado Quiriguá, la Plaza de Mercado Suba Rincón y la Central de Abastos, donde se identificó una disponibilidad significativa de residuos de corozo que no estaban siendo aprovechados. Estos lugares fueron reconocidos como las principales fuentes de generación de dichos residuos en la ciudad. Específicamente, se encontró que en la Central de Abastos de Bogotá se desperdician aproximadamente 20 libras de residuos de corozo en un período de 10 días, lo cual representa una cantidad considerable de desperdicio, especialmente considerando que la ciudad no es el lugar de origen del corozo.

Tras concluir con toda la fase experimental se nos presentaron dos barreras principales que nos impedían la realización de las pruebas pertinentes para determinar las características del bioetanol producido, la primera fue el tiempo; esto debido a que durante todos los experimentos surgieron diferentes problemas que retrasaban la obtención de datos o la fiabilidad de las muestras. Y la segunda barrera tiene que ver con los resultados obtenidos, ya que como se pudo evidenciar no logramos extraer una buena cantidad de bioetanol lo cual nos limitaba la realización de estudios.

La eficiencia de las pruebas realizadas fue notablemente baja, ya que, a pesar de utilizar 200 gramos de corozo en ambas pruebas, solo se pudo obtener 5 mL de etanol en la prueba 1 y en la prueba 2 se obtuvo 10 mL. Esto indica que la producción de bioetanol a partir de los residuos de corozo no fue óptima en rendimiento, esta eficiencia se ve relacionada con diversos factores, como las concentraciones de los reactivos, las

cantidades de la materia prima y los parámetros de las etapas de la hidrólisis y la fermentación. Además de hace necesario analizar y evaluar cada una de las etapas con el fin de identificar las limitaciones y aplicar los respectivos correctivos para tener ajustes en las variables como la temperatura, la concentración, el pH y las condiciones de la fermentación como la levadura y el tiempo.

Con el objetivo de mejorar la eficiencia en la producción de bioetanol a base de residuos de corozo, se proponen diferentes alternativas para aumentar su rentabilidad y sostenibilidad. Una de las estrategias para optimizar el proceso de extracción de azúcares, es utilizar la hidrólisis enzimática o realizar estudios sobre la hidrólisis acida con ácido cítrico a una mayor concentración. Esto se debe a que esta metodología genera una menor cantidad de subproductos como el furfural y el hidroximetilfurfural, en comparación con la hidrólisis acida utilizando ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, esto no solo genera beneficios desde el punto de vista de la producción de bioetanol, sino que también reduce el impacto al medio ambiente. En la producción de bioetanol, también se generan otros subproductos como la lignina y la hemicelulosa, los cuales pueden ser aprovechados como materia prima en la generación de biogás, bioplásticos, compostaje, fibras textiles y otros productos. Estos subproductos promueven la economía circular, aumentando la eficiencia, el rendimiento y la sostenibilidad del proceso de obtención de bioetanol, generando oportunidades de crear productos derivados de los residuos de corozo, aumentando su viabilidad económica.

Los resultados obtenidos demuestran, que se pueden lograr avances al integrar la metodología propuesta con nuevos estudios de producción de obtención de bioetanol. Específicamente, lo que permite obtener una comprensión del comportamiento de la fase de hidrólisis acida utilizando ácido cítrico, esto permite obtener mejores resultados y una información más detallada de proceso, optimizando y potenciando la viabilidad en el contexto de economía verde y basada en recursos renovables, generando nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del proceso de obtención de

bioetanol y proporciona información importante para optimizar y controlar la producción en futuros estudios y aplicaciones industriales.

## 12. Recomendaciones

Con el propósito de mejorar el trabajo realizado, se sugiere las siguientes recomendaciones:

- Es fundamental contar con los equipos necesarios para llevar a cabo de manera eficiente el proceso de obtención bioetanol, esto incluye equipos de fermentación, destilación, molinos o trituradoras, equipos para medición de parámetros.
- Tener los equipos necesarios para realizar la caracterización del etanol producido, permitiendo evaluar la calidad y eficiencia de este.
- Realizar pruebas con diferentes tipos de levaduras para determinar cuál de ellos ofrece un mejor rendimiento, evaluando su capacidad de fermentar eficientemente los azúcares presentes en la materia prima.
- Para lograr un mayor porcentaje de alcohol después de la fermentación se recomienda que este proceso se lleve a cabo de manera anaerobia, y con un montaje que permita la liberación del CO<sub>2</sub> producido, manteniendo al oxígeno fuera de la reacción.
- Realizar una evaluación donde se prepare el ácido cítrico a diferentes concentraciones durante el proceso de hidrólisis con el fin de determinar si afecta al proceso final.
- Probar con diferentes tipos de ácidos a la misma concentración para mirar con cual de estos se obtiene mejor rendimiento.
- Que la materia orgánica a utilizar se encuentre triturada, ya que de esta manera se puede a que la extracción de los azúcares de la materia se dé de una mejor manera y también exista una mayor concentración de estos.

De acuerdo con lo realizado se pudo observar que el proyecto se le pueden realizar modificaciones en varias variables por ejemplo la levadura que se utiliza para fermentar, el ácido propuesto para la hidrolisis acida, y los diferentes equipos para la realización de

estos, debido a que esto también puede presentar una gran variación en el rendimiento de producción y la calidad del bioetanol.



## 13. Referencias

Acuña Pinto, H. M. (2009). *Evaluación del comportamiento de tres enzimas comerciales en la fermentación y clarificación de mosto del fruto de corozo Bactris minor para obtener vino de fruta.*

[https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1035&context=ing\\_alimentos](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1035&context=ing_alimentos)

Álvarez Maciel, C. (2009). *Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional.*

<http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosalvarez.pdf>

Ardila Rodríguez, B. L., & Ardila Badillo, G. J. (2017). *Industrialización del proceso de extracción de pulpa y aceite de palama de corozo en las veredas del Banco*

*Magnadalena.* <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7773/1/ARDILA-ARDILA.pdf>

Arellano Perales, C. (2015). *Obtención de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos sometidos a hidrólisis enzimática.*

<https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46812/ArellanoPeralesCarla.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Arosemena, R., Castillo, A., Castillo, M., Castillo, V., Chen, R., Fuentes, A., & Jaramillo, B.

(2015). Obtención de etanol a base de la savia de la palma de corozo attalea butyracea. In *Revista de Iniciación Científica Journal of Undergraduate Research* (Vol. 1). <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/download/451/447/>

Bermúdez Huertas, A., Castiblanco Rincón, D. A., & Avila Nieves, D. M. (2012). *Bioetanol Biotecnología Aplicada.*

[https://sic.gov.co/sites/default/files/files/Propiedad%20Industrial/Boletines\\_Tecnologicos/BTBioetanol.pdf](https://sic.gov.co/sites/default/files/files/Propiedad%20Industrial/Boletines_Tecnologicos/BTBioetanol.pdf)

Bernal, R., & Galeano, G. (2013). *Cosechar sin destruir : aprovechamiento sostenible de palmas colombianas* (1st ed.).

[https://ingridolivares.com/onewebmedia/Attalea%20butyraceae\\_Cosechar%20sin%20destruir.pdf](https://ingridolivares.com/onewebmedia/Attalea%20butyraceae_Cosechar%20sin%20destruir.pdf)

Castro Martínez, C., Beltrán Arredondo, L. I., & Ortiz Ojeda, J. C. (2012). Producción de biodiesel y bioetanol: ¿Una alternativa sustentable a la crisis energética? *Universidad Autónoma Indígena de México* , 8, 93–100.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46125177010>

Cobos Ramírez, Y. L. (2019). *Estudio comparativo para la producción de bioetanol a través de la fermentación en batch usando Saccharomyces cerevisiae entre (mangifera indica) y (Vitis vinifera)*.

[https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/1786/cobos\\_yennifer\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/1786/cobos_yennifer_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Departamento Nacional de Planeación. (2016, March 28). *Colombianos botan 9,76 millones de toneladas de comida al año*. <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Colombianos-botan-9,76-millones-de-toneladas-de-comida-al-a%C3%B1o.aspx>

Forero Munévar, D. F. (2008). *Producción de bioetanol a partir de harina de papa basada en la comparación de enzimas hidrolisantes en el proceso de sacarificación* [Universidad de los Andes].

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/23741/u303061.pdf>

Franco Valencia, J. P., & Piragua Bernal, L. (2009). Estudio inicial de la producción de etanol a partir de tusa de palma africana por medio de un proceso de sacarificación y fermentación simultaneas (sfs) usando microorganismos aislados por la Universidad de los Andes. *Universidad de Los Andes* , 1–97.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/23868/u346277.pdf?sequence=1>

- Galeano, G., Bernal, R., Estupiñán, A. C., Vásquez, A. C., Brieve, E., & García, N. (n.d.). *Biología y dinámica poblacional del corozo de lata (Bactris guineensis: Arecaceae) en el Caribe Colombiano*. Retrieved February 14, 2023, from [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PA00M2TV.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00M2TV.pdf)
- Hernández Galindo, C. (2017). *Obtención de bioetanol a partir de hidrolizados de residuos de fruta*. [https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/43613/TFM\\_CeliaHernandezGalindo.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/43613/TFM_CeliaHernandezGalindo.pdf?sequence=6&isAllowed=y)
- Ibarra Vega, D., & Olivar Tost, G. (2018). Aproximación Sistémica de la Sostenibilidad en la producción de Bioetanol. *Universidad Nacional*, 9(1), 115–126. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2042/2814>
- Jiménez Fonseca, A. L. (2018). *Proceso de producción de bioetanol, a partir de la biomasa hidrolizada de la eichhornia crassipes con la levadura (saccharomyces cerevisiae)*. *biomasa hidrolizada de la eichhornia crassipes con la levadura (saccharomyces cerevisiae)*. <https://core.ac.uk/download/pdf/250159996.pdf>
- Leiva García, J. A., & Lora Suarez, M. F. (2022). *Desarrollo de una jalea a base de corozo (Bactris guineensis) con inclusión de Inulina y Lactobacillus casei*. <https://ciencia.lasalle.edu.co/>
- Llangari Sibri, A. M. (2018). *Comparación del rendimiento y calidad de bioetanol obtenido a partir de la biomasa lignocelulósica de los pseudotallos de banano*.
- López Núñez, J. S., & Theran Salgado, N. M. (2004). Evaluación de la sacarosa y la harina de batata como sustratos en la elaboración del vino de corozo (bactris minor). *Universidad de Sucre Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Agroindustrial*, 1–78.

<https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/256/T338.170723%20L864.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Madrid De la Rosa, J. M., Mendoza Meza, D., & Fontalvo Gómez, M. (2021). Producción de biodiesel a partir del aceite extraído de almendra del corozo *Bactris guineensis* asistida mediante ultrasonido de sonda directa. *Tecnura*, 25(69), 51–75.

<https://doi.org/10.14483/22487638.15809>

Martínez Galvis, F. J. (2016). *Comparación del impacto ambiental de los sistemas energéticos a base de nuclear, biomasa y gas utilizando el análisis del ciclo de vida.*

[https://biblioteca.bucaramanga.upb.edu.co/docs/digital\\_32639.pdf](https://biblioteca.bucaramanga.upb.edu.co/docs/digital_32639.pdf)

Monroy, A., Narváez, R., Vera, B., & Bautista, L. (2017). Generación de bioetanol como combustible alternativo a partir de compuestos lignocelulósicos a nivel laboratorio. In *Diciembre* (Vol. 4). [www.ecorfan.org/bolivia](http://www.ecorfan.org/bolivia)

Mórela González, J. I. (2016). *Influencia de la adición del residuo desmineralizado del corozo de la palma africana en el mortero y el hormigón.*

<https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/2967/Influencia%20de%20la%20adicción%20del%20residuo%20desmineralizado%20del%20corozo.pdf?sequence=1&isAllowed=n>

Orduz Puerto, G. M., Palacios Bautista, M. C., & Suárez Angarita, J. D. (2017). *Obtención de una resina a partir de residuos orgánicos, para mitigar su impacto ambiental en zonas tropicales.* <https://revistas.fio.unam.edu.ar/index.php/semillero/article/view/189>

Pacheco Espitia, A. P., & González Espitia, G. G. (2020). Estandarización del proceso de etiquetado de zumo de corozo (*Bactris guineensis*) en una empresa tipo PIME ubicada en el municipio de Pivijay (Magdalena) con la finalidad de que cumpla los criterios de calidad e inocuidad. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*, 1–123.

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/34709/mmonsalvero.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

- Ponce De León, J. I. (2011). *Problemática ambiental del uso de combustibles fósiles*.  
[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lad/idigoras\\_p\\_j/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lad/idigoras_p_j/capitulo2.pdf)
- Quintero Mora, L. P., Martínez Castilla, Y., Velasco Mendoza, J. A., Arévalo Rodríguez, A., Muñoz, Y. A., & Urbina Suarez, N. A. (2015). Evaluación de residuos de papa, yuca y naranja para la producción de etanol en cultivo discontinuo utilizando *Saccharomyces cerevisiae*. *Universidad Industrial de Santander*, 28(0120-100X), 43–53.  
<https://www.redalyc.org/pdf/3420/342039270005.pdf>
- Ramírez Hernández, B., Zañudo Hernández, J., García de Alba Verduzco, J., Délano Frier, J. P., Pimienta Barrios, E., & García Martínez, M. Á. (2013). Importancia agroecológica del coyul (*Acrocomia mexicana* Karw. ex Mart.). *Estudios Sociales*, 21, 96–113.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41725649004>
- Regino Ramírez, A. C., & Rengifo Velandia, E. A. (2021). *Evaluación de los métodos de extracción de compuestos fenólicos (antocianinas) a partir del fruto del corozo (bactris guineensis)*.  
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8440/1/6152638-2021-1-IQ.pdf>
- Santos Aguilar, J., & Zabala García, D. A. (2016). *Evaluación de la producción de etanol a partir de residuos orgánicos y sus diferentes mezclas, generados en la empresa de alimentos sas s.a.s*.  
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/546/1/6102511-2016-2-IQ.pdf>
- Silíceo Rodríguez, M. L. (2014). *Análisis de la productividad industrial de bioetanol*.  
<https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46727/SiliceoRodriguezMLuisa.pdf>
- Tejeda, L. P., Tejeda, C., Villabona, Á., Alvear, M. R., Castillo, C. R., Henao, D. L., Marimón, W., Madariaga, N., & Tarón, A. (2010). Producción de bioetanol a partir de la

fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Universidad de Cartagena de Indias*, 5, 120–125. [www.acofi.edu.co](http://www.acofi.edu.co)

Valdés Ordoñez, A., Huerta López, R. C., Rojas Aguilar, A., & Núñez Galindo, Y. (2017). *Bioetanol a partir del Maguey (Agave Americana) y su prospectiva en México* (Vol. 3, Issue 9). [www.ecorfan.org/spain](http://www.ecorfan.org/spain)

Vera, B., Monroy, A., Narvaez, R., & Bautista, L. (2017). Generación de bioetanol como combustible alternativo a partir de compuestos lignocelulósicos a nivel laboratorio. In *Diciembre* (Vol. 4). [www.ecorfan.org/bolivia](http://www.ecorfan.org/bolivia)