

**Extracción de Bioetanol a partir de residuos de café con potencial de uso como  
biocombustible aditivo en motores tradicionales.**

PRESENTADO POR:

ANDRES FELIPE NAVARRETE PUYO

UVAN STEVEN SACRISTÁN DELGADO

PRESENTADO A:

LUISA FERNANDA CARVAJAL DÍAZ

UNIDAD DE ESTUDIO:

PROYECTO DE GRADO

UNIVERSIDAD EAN

BOGOTÁ D.C

07 de junio del 2023

## Tabla de contenido.

1.	Introducción.....	8
2.	Objetivos.....	10
2.1	Objetivo general: .....	10
2.2	Objetivos específicos:.....	10
3.	Planteamiento del problema .....	10
3.1	ODS de impacto del proyecto.....	13
4.	Justificación .....	14
<b>5.</b>	<b>Análisis de requerimientos.....</b>	<b>16</b>
5.1	Reactivos.....	16
5.2	Equipos .....	16
5.3	Parámetros de medición.....	18
6.	Marco de referencia .....	19
6.1	¿Qué es el mucilago de café?.....	19
6.2	Composición química .....	19
6.3	Métodos alternativos de aprovechamiento del mucilago de café .....	22
6.3.1	Compostaje .....	22
6.3.2	Cultivos de hongos comestibles.....	22
6.3.3	Ensilaje de Pulpa.....	22
6.3.4	Alimentación de cerdos .....	24
6.3.5	Miel.....	24
6.4	Metodología de hidrolisis básica .....	24

7. Análisis de restricciones: .....	26
7.1 Sociales .....	26
7.2 Ambientales .....	27
7.3 Legales .....	27
7.4 Salud y seguridad .....	28
8. Metodología .....	29
8.1 Esquema metodológico .....	29
8.2 Descripción metodológica. ....	30
8.2.1 Pretratamiento .....	30
8.2.2 Fermentación controlada y adición de levadura. ....	31
8.2.3 Destilación .....	32
8.2.4 Análisis cuantitativo .....	32
8.3 Flujoograma método de hidrólisis básica. ....	33
8.4 Cronograma de actividades .....	33
8.4.1 Cronograma de actividades general .....	33
8.4.2 Cronograma de actividades específico para la última entrega .....	34
9. Extracción del Bioetanol .....	35
9.1 Procedimiento .....	35
10. Análisis de resultados .....	43
10.1 Influencia del pH .....	43
10.2 Contenido de azúcar y porcentaje de alcohol. ....	44
10.3 Posibles hipótesis de la falencia en el laboratorio uno. ....	45

10.4 Laboratorio número dos.....	45
10.5 Variables de diferencia del laboratorio uno y dos. ....	46
11. Análisis de costos. ....	47
12. Conclusiones.....	50
12.1 Laboratorio uno. ....	50
12.2 Conclusiones de laboratorio dos y conclusiones finales.....	51
13. Referencias bibliográficas: .....	53

### **Índice de Tablas.**

Tabla 1. Composición química del mucílago de café.....	21
Tabla 2. Análisis de costos directos e indirectos. ....	49
Tabla 3. Resultados del laboratorio número uno. ....	50
Tabla 4. Resultados del laboratorio número dos. ....	51

### **Índice de ecuaciones.**

Ecuación 1. Formula química para determinar el porcentaje de levadura.....	31
Ecuación 2. Grado alcohólico.....	32
Ecuación 3. Formula química para determinar la densidad.....	39

### **Índice de ilustraciones.**

Ilustración 1. Flujoograma método de hidrolisis básica. ....	33
--------------------------------------------------------------	----

## Índice de figuras.

Figura 1. Acondicionamiento de pulpa, Fuente: Elaboración propia. ....	35
Figura 2. Hidróxido de sodio- reactivo químico, Fuente: Elaboración propia. ....	35
Figura 3. Sulfito de sodio- Reactivo químico, Fuente: Elaboración propia. ....	36
Figura 4. Equipo de laboratorio- Autoclave, Fuente: Elaboración propia.....	36
Figura 5. Grados brix antes de la destilación, Fuente: Elaboración propia. ....	37
Figura 6. pH inicial de la muestra, Fuente: Elaboración propia. ....	37
Figura 7. Montaje de destilación, Fuente: Elaboración propia. ....	38
Figura 8. pH final después del proceso de destilado, Fuente: Elaboración propia. ....	38
Figura 9. pH inicial del laboratorio número dos. ....	40
Figura 10. Equipo de filtrado al vacío, Fuente: Elaboración propia.....	40
Figura 11. Montaje de destilación del segundo laboratorio, Fuente: Elaboración propia. ....	40
Figura 12. Grados Brix del Etanol al 96%, Fuente: Elaboración propia. ....	41
Figura 13. pH final del producto final, Fuente: Elaboración propia.....	41
Figura 14. Grados brix del bioetanol obtenido, Fuente: Elaboración propia.....	42
Figura 15. Volumen total obtenido por la destilación, Fuente: Elaboración propia. ....	42

## Resumen

El presente proyecto establece una investigación para la obtención de bioetanol a partir de mucilago de café a base de hidrolisis básica con potencial de uso aditivo en motores; disminuyendo la cantidad de residuos orgánicos que se producen como subproducto en la extracción de la semilla.

Colombia es uno de los mayores productores de café en el mundo y reconocido por su calidad en los granos de exportación, no obstante, también es uno de los mayores generadores de residuos secundarios provenientes del fruto de café como lo es nuestro objeto de estudio llamado mucilago. Cenicafe en su programa de investigación científica informa que “Por cada millón de sacos de 60 Kg de café que Colombia exporta, se generan aproximadamente 55.500 t de mucilago fresco” (Cenicafe, 2022) el mucilago es un subproducto del café el cual en su gran mayoría son desechados o vertidos en fuentes hídricas y suelos, generando contaminación biológica en estas matrices ambientales.

Colombia a lo largo de su territorio tiene departamentos donde su principal actividad económica está relacionada con la producción del café, siendo estos también los más afectados en las matrices ambientales mencionadas anteriormente; debido a que en la composición del café el 20% equivale a la cereza la cual cuenta con una gran cantidad de azúcar y contiene compuestos químicos útiles que en gran cantidad generan desestabilización química, por lo cual se han realizado estudios e investigaciones para disminuir la cantidad de residuos y generar un producto de mayor valor como es el bioetanol.

La presente investigación tiene como fin de emplear una metodología basada en hidrolisis básica para la obtención de bioetanol apto como aditivo en motores; se establece el uso de esta

hidrolisis ya que se basa en generar azucres fermentables mediante el uso enzimático y generación de etanol de primera generación, se establece que la temperatura de destilación es un factor de gran importancia ya que si se realiza de forma incorrecta puede generar una descomposición química, el pH inicial debe oscilar entre 4 y 4,5 para tener mayor generación de alcohol y la concentración de levadura es mejor con 2,5 gramos por 100 mililitros de solución que usar 2,0 gramos. La hidrolisis básica da como resultado ser un método factible debido a que se logra extraer los azucres reductores y un pH adecuado para la extracción de bioetanol.

Palabras clave: Bioetanol, mucilago de café, residuos orgánicos, sostenibilidad.

## 1. Introducción

Colombia, es un país sudamericano conocido por su calidad en los granos de café de exportación, actualmente es solo superado por Vietnam y Brasil, según cifras proporcionadas de la Federación Nacional de Cafeteros; en el año 2021 se exportaron 12,4 millones de sacos, no obstante, las exportaciones en el año 2022 disminuyeron un 8% reduciendo la cantidad de sacos de 60 kilogramos exportados a 11,4 millones.

Durante la producción de café se produce el mucilago como residuo, de acuerdo a lo reportado por Cenicafé en su programa de investigación científica se determina que "Por cada millón de sacos de 60 Kg de café que Colombia exporta, se generan aproximadamente 55.500 t de mucilago fresco" (Cenicafé, 2022) por lo cual se estima que para el año 2021 se generaron 682.000 toneladas de mucilago de café y para el año 2022, 627.000 toneladas. Gran parte de las toneladas totales de mucilago son desechadas a fuentes hídricas y a suelos generando contaminación por carga biológica, afectando la composición química y pH de estos, debido a esto se ha generado una gran demanda de investigaciones por medio de centros de investigación del café a nivel mundial como lo son: Sistema Brasileiro de Informacao do cafe-SBICAFFE en Brasil o el centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé en Colombia para hacer uso de aprovechamiento de estos residuos, optando por la solución alternativa de biocombustibles

generados por medio de la producción de etanol a base del mucilago del café para así mismo generar una oportunidad de mercado emergente el cual se adapte a la

estructura económica sostenible presente a nivel mundial regida por los Objetivos de Desarrollo Sostenible agenda 2030 (ODS).

El mundo en los últimos años ha venido experimentando una transición energética, las investigaciones actuales se basan en la búsqueda de energías limpias o energías verdes, una de las alternativas de combustible con mayor desarrollo y mejor oportunidad de mejora es el Bioetanol ya que en su combustión y producción se genera una menor cantidad de gases de efecto invernadero (GEI); basados en los datos proporcionados por Repsol en su blog digital las diferencias de emisiones oscilan en un 86% procedente de los residuos de biomasa (Repsol,2023) es de suma importancia comprender que la viabilidad de la producción de bioetanol depende que su balance energético sea favorable, es decir, etapas como la recuperación del producto y la destilación, son las que exigen mayor consumo energético en todo el proceso.

Colombia es un gran expositor del bioetanol y cuenta con una gran capacidad de mejora debido a las grandes cantidades de mucilago que genera anualmente, en este proyecto se busca extraer bioetanol con potencial de uso en motores tradicionales a base de hidrolisis básica y finalizando con un análisis de cuantitativo donde se podrá determinar qué tan apto fue la extracción de bioetanol con dos concentraciones distintas de levaduras.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general:**

Extraer una muestra de bioetanol a partir de la materia orgánica del mucilago de café con potencial de uso como combustible para motores tradicionales de combustión.

### **2.2 Objetivos específicos:**

- Aplicar el método de hidrólisis básica con el fin de sintetizar el bioetanol a partir del mucilago de café.
- Realizar análisis químicos para la medición de grados brix, pH, densidad y pureza del producto final.
- Analizar la factibilidad del método seleccionado para la extracción del bioetanol.

## **3. Planteamiento del problema**

La industria cafetera, como pilar fundamental de la economía colombiana representa actualmente el 0,5% del PIB total y un 6% del PIB agropecuario; más de 550.000 familias en Colombia cultivan café, en su gran mayoría en sistemas agrícolas mixtos que combinan métodos de cultivo de café, ganadería, arroz y maíz, convirtiendo al sector cafetero en uno de los que más contribuye al PIB agropecuario anual con un porcentaje total del 50% (Economía cafetera,2014).

La industria cafetera es considerada en Colombia una industria de pequeños productores por lo cual es una de las más contaminantes, por la falta de cultura en su disposición y generación de residuos agrícolas generando contaminación en matrices ambientales, debido a que, en la biodegradación se presentan emisiones a la atmosfera de gases de efecto invernadero (GEI) como lo son el CO<sub>2</sub> afectaciones en efluentes, desestabilización química, alto contenido de la demanda biológica de oxígeno (DBO) lo que consiste en un consumo mayor de oxígeno, impidiendo la respiración adecuada de la fauna acuática.

En los suelos con altas concentraciones de residuos orgánicos se desestabiliza el pH volviéndolos suelos de erosión con concentraciones elevadas de carbono, potasio, nitrógeno y taponamiento de microporos que permiten el paso del oxígeno a las raíces de las plantas, creándoles estrés al disminuir la respiración y teniendo un consumo mayor de energía en el proceso. (Bragado,2018).

Los impactos ambientales son directamente perpendiculares con los impactos sociales debido a que, si hay contaminación en los aspectos naturales, los seres humanos se verán impactados de forma directa o indirecta como en la alimentación, perdida de la fauna y flora de la zona, agricultura que en la pirámide de importancia es la economía primaria del ser humano; esta se ve afectada por la contaminación y perdida de nutrientes del suelo volviendo zonas de gran extensión en zonas infértiles y erosionadas, afecta de forma directa el PIB mundial ya que, según Iberdrola el deterioro del suelo podría superar el 10%, esto se forma en un mayor impacto cuando se entiende que para recuperar 1

centímetro de tierra superficial son necesarios aproximadamente 1000 años. (Iberdrola, s.f.)

Los residuos orgánicos desechados a flujos hídricos disminuyen la calidad del agua, trayendo consigo pérdida de biodiversidad y contaminación en las aguas subterráneas, afectando la salud de los seres humanos que usan esta agua como consumo y afectando el recurso ambiental más preciado de nuestra época. No obstante, la contaminación de aguas también trae consigo otros impactos sociales como lo son: desplazamiento de masas humanas, modificaciones en nuevas zonas de estadia y enfermedades por alta concentraciones biológicas provenientes de los lixiviados del mucilago.

Las emisiones de gases que se emiten hacia la atmosfera proveniente del mucilago de descomposición se transforman en gases de efecto invernadero creando afectaciones climáticas como el calentamiento global, esto indica derretimiento de icebergs, acidificaciones de los océanos, lluvias acidas, perdida de paisajes, desplazamiento de fauna nativa y extinción de especies y pérdida de biodiversidad, estos aspectos ambientales y sociales ocasionan impactos negativos en los seres humanos afectando de forma directa la sociedad y su desarrollo, para solventar estos impactos se ha creado la agenda global para el 2030 para el desarrollo sostenible, la cual cuenta con 17 objetivos de impacto que buscan suplir necesidades globales fortaleciendo el desarrollo sostenible. (Organización de Naciones Unidas, 2015)

### **3.1 ODS de impacto del proyecto.**

Esta investigación se ve arraigada a ciertos objetivos específicos los cuales son:

- Agua limpia y saneamiento.
- Energía sostenible y no contaminante.
- Ciudades y comunidades sostenibles.
- Acción por el clima.
- Vida de ecosistemas terrestres.
- Producción y consumo responsable.

La agenda tiene como objetivo suplir necesidades básicas de los seres humanos con desarrollo sostenible, un tipo de desarrollo que lo que busca es no afectar los recursos ambientales de las próximas generaciones. El bioetanol al no ser un combustible derivado del petróleo si no un combustible orgánico lo hace idóneo como fuente de investigación en el suplicio de cumplir los indicadores propuestos en cada objetivo de desarrollo sostenible e impactando de forma directa los mencionados anteriormente.

#### 4. Justificación

La creciente industrialización del sector del café que se ha presentado en los últimos años ha generado una cantidad exorbitante de subproductos orgánicos, para los cuales actualmente las poblaciones cafeteras no tienen un proceso de manejo adecuado lo que genera afectaciones ambientales y sociales. Partiendo de esta información las Naciones Unidas con la agenda de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) para el año 2030 define los retos al sector agrícola e industrial de sumar al desarrollo sostenible desde entornos y objetivos específicos.

Se hace referencia a los ODS: Innovación e infraestructuras, agua potable y saneamiento, energías renovables y consumo responsable. (Naciones Unidas/Cepal, 2019).

Se habla primordialmente de estos objetivos debido a que los subproductos orgánicos generados en la extracción de la semilla de café equivalen a gran porcentaje de peso de la fruta inicial que sería material orgánico rechazado por los caficultores, “En promedio el 10,4% (entre 1,1% y 27,3%) en peso de mucílago y los granos despulpados un 18,8 %. En consecuencia, por cada tonelada de café cereza que se procese en la finca pueden obtenerse entre 80 y 140 kilogramos de mucilago” (Puerta,2011). Partiendo de estos datos se especifica que la cantidad de utilización de subproductos es muy bajo, en concordancia el impacto ambiental negativo que causa en efluentes que contienen aguas potables o residuales por la desestabilización química que genera; es importante recalcar que la contaminación acuífera no solo es provocada en el vertimiento si no también en el

proceso de despulpe; en relación a los suelos el impacto ambiental negativo es la erosión por acumulación de minerales y por utilización de estructuras para la disposición de estos; con respecto a la calidad del aire es una variable que se ve afectada por la emisión de gases de efecto invernadero provenientes de la descomposición orgánica dando lugar a la generación de plagas de insectos.

Entendiendo los impactos negativos a corto y largo plazo provenientes de industria en los últimos años se han llevado a cabo diversas investigaciones para dar a los residuos un nuevo ciclo de vida que permitan ingresar estos materiales de nuevo a la cadena de valor.

Entre las diversas estrategias desarrolladas la más distinguida es la sintetización de bioetanol a partir de las aguas mieles del mucilago, según lo informa (Garzón,2018). De acuerdo con lo expresado se busca dar precisión al aprovechamiento de residuos biológicos para convertirlos en un nuevo producto de valor llamado bioetanol con potencial de uso en motores tradicionales.

## 5. Análisis de requerimientos

En el análisis de requerimientos encontraremos todos los materiales necesarios para la extracción de bioetanol:

### 5.1 Reactivos

- **Materia prima (Mucilago de café):** Compuesto orgánico fundamental para la extracción del bioetanol
- **Levadura *Sacharomyces Cerevisiae*:** Compuesto que permite realizar una fermentación controlada de la materia prima (mucilago de café).
- **Hidróxido de Sodio:** compuesto básico que permite estabilizar el pH de la muestra
- **Cloruro férrico:** Permite identificar la presencia de fenoles en la muestra de mucílago de café.
- **Agua destilada:** Permite realizar soluciones con mayor grado de concentración.
- **Sulfato de magnesio:** Actúa como asimilador de ácidos grasos. (Valencia R,2003).

### 5.2 Equipos

- **Autoclave:** Instrumento metálico utilizado industrialmente para esterilizar muestras a través del vapor del agua.
- **Columna de Vigreux:** Equipo utilizado para la condensación de aire utilizado en destilaciones fraccionadas.

- **Destilador:** Se utiliza principalmente para destilar mezclas de líquidos encontrando su punto de ebullición para luego condensar los vapores y recuperarlos en forma líquida.
- **Refractómetro:** Instrumento de laboratorio que se utilizara principalmente para cuantificar solidad totales de una solución.
- **Vaso de precipitado:** Instrumentó de laboratorio que se utilizará para preparar y calentar soluciones.
- **Probetas:** Equipo que permite medir volúmenes su composición puede variar ya sea de vidrio o plástico.
- **Matraz de Erlenmeyer:** Equipo de vidrio que permite calentar y mezclar soluciones.
- **Varilla de agitación:** Instrumento de vidrio que permite realizar agitaciones y mezclas de soluciones.
- **Balones aforados:** Instrumento de vidrio que permitirá medir con precisión el volumen de un líquido o solución.
- **Pipeta:** Instrumento volumétrico de vidrio o plástico que permite agregar volúmenes determinados.
- **Estufa:** Equipo de laboratorio que permite realizar calentamiento de muestras en distintos montajes.
- **Balanza:** Equipo que permite medir con precisión el peso de una muestra en este caso la masa del mucilago.
- **Tamices:** Sistema que permite colar una muestra dependiendo del diámetro de las partículas.

- **Licadora:** Equipo eléctrico utilizado para realizar mezclas homogéneas de varios compuestos.
- **Balanza analítica:** Equipo utilizado específicamente para medir con precisión pesos.
- **Microscopio:** Equipo de laboratorio utilizado para observar elementos que no se pueden visualizar con el ojo humano.
- **Papel filtro:** Material de papel de arroz que permite realizar filtraciones para retirar sólidos suspendidos en muestra de líquidos y soluciones.
- **Picnómetro:** Instrumento volumétrico que permite medir la densidad y peso específico de cualquier líquido.
- **Termómetro:** Instrumento de vidrio que se utilizara para medir temperaturas
- **PH metro:** Instrumento digital o manual que permitirá medir el grado de alcalinidad o acidez de una muestra. (Sandra F,2018)

### 5.3 Parámetros de medición

- PH.
- Porcentaje de azúcares.
- Medición de volumen de alcohol obtenido
- Rendimiento de alcohol producido.
- Medición de grados Brix, que nos permitirá medir la cantidad de azúcares presente en la sustancia.

## **6. Marco de referencia**

### **6.1 ¿Qué es el mucilago de café?**

El mucilago es un subproducto que tiene su origen en el mesocarpio y endocarpio del fruto de café (Gonzalez,2020), tiene una composición viscosa por lo cual para separarlo se usan diversas despulpadoras que utilizan recursos hídricos. “Según datos de Rodríguez, Sanz, Oliveros y Ramírez, (2015) el mucílago contiene entre 85% a 91% de agua y entre 6,2% y 7,4% de azúcares, constituidos por 63% de azúcares reductores” (Gonzalez,2020) en su biomasa también cuenta con levaduras de diversos géneros Rhodotorula, Torulopsis, Candida y Saccharomyces, este residuo equivale al 20% total del peso neto de la fruta en estado líquido y 5% seco (Puertas y Ríos,2011)

### **6.2 Composición química**

“La composición química de la pulpa de café ensilada reveló valores de materia seca (92%), extracto etéreo (2,6%), fibra cruda (20,8%), proteína cruda (10,7%), ceniza (8,8%), extracto libre de nitrógeno (49,2%) y taninos (1,8%)” (Braham y Bressani, 1978) En su estructura química se haya de forma máxime la galactosa con un 37.67% g/L, 35.65 g/L (Perez,sariñana et al.,2015) en la Tabla 1 (Perez-Sariña et al.,2015) presentan una descripción al detalle de cada compuesto químico y su concentración.

Tabla 1. Composición química del mucilago de café

COMPONENTES	CONCENTRACIÓN (g/L)
Glucosa	35.65
Galactosa	37.67
Lactosa	1.06
Proteína	0.119
Siringaldehído	0.6100
MINERALES	(Mg/L)
Aluminio	nd
Arsénico	0.47
Sulfuro	30.19
Boro	0.16
Bario	0.02
Berilio	nd
Calcio	37.08
Cadmio	nd
Cobalto	nd
Cromo	nd
Cobre	2.45
Hierro	0.65
Potasio	239.8

Litio	0.01
Magnesio	10.05
Manganeso	0.07
Molibdeno	nd
Sodio	7.18
Níquel	0.01
Fosforo	41.55
Plomo	nd
Antimonio	nd
Selenio	nd
Silicio	1.58
Estaño	nd
Estroncio	0.07
Titanio	nd
Vanadio	nd
Zinc	0.14

*Tabla 1. Composición química del mucílago de café.*

**nd: no detectado.**

## **6.3 Métodos alternativos de aprovechamiento del mucilago de café**

### **6.3.1 Compostaje**

- El mucilago tiene altas concentraciones de materia orgánica, que, en condiciones específicas, se puede transformar en humus. Este producto de mayor valor se puede obtener por el medio de volteo en fosas tradicionales (Montoya et al.,2004).
- Por otro lado, se puede producir compostaje a partir de las fosas de adobe que son menos tradicionales y se fabrican a partir de paredes de ladrillo, el incremento monetario es evidente, por esto es recomendable que este tipo de fosas se ubiquen en fincas con una producción mayor a 500 toneladas de café neto por año. (Montoya et al.,2004).

### **6.3.2 Cultivos de hongos comestibles**

Este cultivo se desarrolla con un mucilago recién separado del fruto máximo con 72 de despulpado. Hongos como lo son el Pleurotus o el Shiitake que utilizan los residuos agrícolas no comestibles en estado base, los usan para producir alta calidad nutritiva para el consumo humano, por lo cual la pulpa y mucilago es usado para realizar cultivos de hongos. (Cenicafe,2004)

### **6.3.3 Ensilaje de Pulpa**

El ensilaje consiste en la preservación de materia vegetal en silos que realizan fermentaciones producidas por bacterias anaerobias que trabajan en los carbohidratos solubles. Se realiza un proceso de fermentación en el cual se producen ácido láctico el

cual disminuye el pH a valores oscilados entre 3,5 y 4,2 por lo tanto impide el desarrollo de bacterias, este proceso previene la descomposición adicional. Según afirmaciones realizadas por Cenicafé en su revista de divulgación científica con énfasis en investigaciones de café, el ensilaje de pulpa sirve como sustrato para la lombricultura roja y para la producción de cultivos de hongos comestibles (Cenicafé,2003) Por otro lado Oliva realiza una investigación ubicada en Zamorano, Honduras para la cosecha del 2015-2016 sobre el “Efecto de suplementación de ensilaje de pulpa de café sobre el desempeño productivo de ganado lechero” (Oliva et al.,2016) en la investigación buscan dar una solución a problemáticas en la ganadería, en este sitio ya que, informan reducción en hectáreas de alimento, leche seca y el impacto económico en el cual determinan que el 55%-60% del costo total en la cría del ganado equivale a la alimentación por ende, parten de la necesidad de disminuir estos valores a base de ensilaje de café, en el estudio se determina que “El ensilaje de pulpa de café representa una alternativa para la alimentación de ganado lechero sin disminuir la producción de leche ya que no se encontraron diferencias para la producción de leche promedio, producción de leche corregida al 3.5% de grasa y porcentaje de grasa en leche” (Oliva et al.,2016) Y una reducción económica equivalente al 8% en la alimentación; por lo mencionado anteriormente, lo hace un suplemento ideal para la reducción económica y alimenticia. (Oliva et al.,2016).

#### **6.3.4 Alimentación de cerdos**

El mucilago puede reemplazar un 20% de la porción de conectado provisionado a los cerdos, es importante recalcar que se le podrá suministrar después de que cerdo sobrepase el peso de 40 kilogramos, el mucilago proporcionado será mucilago fresco, en la tabla número 2 ubicada en la parte inferior se encuentra a detalle el peso, la cantidad de concentrado por la cantidad de mucilago apta para suministro. (Montoya-Mejía et al., 2005)

#### **6.3.5 Miel**

La miel es causada por la extracción y concentración de jugos con altas concentraciones de azúcares provenientes del mucilago de café, tiene características como: Color castaño oscuro, jarabe denso y sabor dulce. Este no es un proceso económico ya que su producción tiene un alto consumo de combustible que se requiere en la etapa final.

#### **6.4 Metodología de hidrólisis básica**

La metodología consta en una extracción de bioetanol; tiene su base en que el proyecto busca extraer bioetanol de primera generación, lo que significa, que busca un sistema enfocado en la extracción de azúcares presentes en la materia de estudio. Para ello, es necesario que la materia orgánica pase por la molienda la cual tiene como función principal separar los jugos del material lignocelulósico, posterior se realiza una prueba de

jarras, precipitación y filtración para eliminar impurezas presentes en el producto obtenido. (Mahecha et al.,2022)

Partiendo de esta contextualización; se usa hidrólisis básica ya que su enfoque principal es tratar la biomasa que proviene de la materia orgánica con temperaturas específicas de ácido sulfúrico, este proceso rompe la estructura cristalina de la pared celular, las enzimas dan paso a la hidrólisis enzimática la cual rompe cadenas de azúcares fermentables ubicadas en la glucosa se usan “endoglucanasas y exoglucanasas y bglucosidasas, cabe resaltar que estas enzimas deben estar en un medio con pH de 4 a 4,5 y se deben manejar temperaturas entre 40 y 50 °C” (Rodríguez Siliceo,2014) La etapa de la hidrólisis representa una de las etapas más importante en la obtención de bioetanol.

#### 6.5 Bioetanol como desarrollo y economía potencial.

Desde los años 2000 China se ha convertido en uno de los mayores productores de bioetanol a nivel mundial. El rápido crecimiento se debe a su alta demanda energética y exportaciones de petróleo. Debido a esto y el cambio climático el gobierno chino ha iniciado con investigaciones en biocombustible por ser considerados carbono neutro lo cual los ha llevado a ser uno de los productores más grandes a nivel mundial solo por debajo de Estados Unidos y Brasil, con una exportación para el año 2021 1,7 millones de litros. (Usda,2021)

El crecimiento de la exportación de este país asiático es moderado pero fuerte y optimista para reducir su consumo energético, actualmente el bioetanol representa la quinta parte de su consumo de gasolina, lo cual ha generado reacciones positivas por su

disminución en emisiones. (Qju et al.,s.f) Actualmente el gobierno chino espera alcanzar una meta propuesta de manera interna que consiste en lograr el uso del 10% de bioetanol de primera generación para el año 2025. (Noticias del Exterior, s.f)

## **7. Análisis de restricciones:**

### **7.1 Sociales**

La Federación Nacional de Cafeteros fue constituida en 1927 actualmente está formada por más de 300 caficultores inscritos 353 comités municipales 15 comités departamentales un comité nacional y un comité directivo, el SICA o sistema de información cafetera aborda en la actualidad 564 municipios de 16 departamentos cafeteros y 16 municipios de departamentos antiguos como Casanare, Meta y chaqueta que generan empleos en mas 512.000 caficultores de los cuales el 94% poseen menos de 5 ha de café, fomentado el trabajo cooperativo y comunitario, impulsando a la formación de lideres con el fin de gestionar la ejecución de proyectos educativos, tecnológicos de infraestructura, forestales, que busca beneficios de familias cafeteras y todo el gremio agropecuario posibilitando la adaptación de nuevas tecnologías que faciliten la investigación científica y la extensión rural basada en la sostenibilidad ambiental. (FNCC,2002)

## **7.2 Ambientales**

La afectación de los cultivos de café es bastante alta ya que reducen significativamente las posibilidades de recuperación de las fuentes hídricas, la recuperación de suelos y la disminución de su biodiversidad, en el proceso de la obtención del beneficio del café se utilizan aproximadamente 40L de recurso hídrico para producir 1,0 Kg de café seco generando agua residual de difícil uso posterior, al mismo tiempo la pulpa subproducto del café por medio de su descomposición natural afecta las quebradas generando un cambio en el (pH) del suelo y descompensación de nutrientes, en el 2012 realizaron pruebas de evapotranspiración para lograr un secado de la pulpa de café con tecnología ECOMILL por medio de un secador solar parabólico, en donde se llegó a la conclusión de que los residuos sólidos tienen potencial de uso como biofertilizantes, aditivo de biogás,, alimento de consumos animal aglomerantes para la construcción y producción de plásticos biodegradables.(Cenicafe,2013)

## **7.3 Legales**

Actualmente la implementación de la disposición final del material ambiental es otorgada a autoridades ambientales regionales que tienen facultades y permisos de usos sobre los recursos naturales, el sector cafetero por medio de la Federación Nacional de cafeteros en Colombia (FNCC) ha implementado programas para optimizar los procesos tales como; Beneficio ecológico, Manejo de cuencas forestales y descontaminación de aguas, a su vez por medio del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (MADS) justo con el gremio agropecuario busca establecer guías para diversos sectores

agropecuarios al amparo del marco de la “política ambiental nacional de producción limpia”, el Sistema Nacional Ambiental (SINA) constituido bajo la ley 99 de 1993 como conjunto de actividades y normativas establece leyes, decretos y resoluciones para promover la calidad y disposición final de los residuos del café como los siguientes.

- Decreto/ley 2811 de 1994 por el cual se dicta “código de recursos naturales y renovables”
- Ley 9 de 1979 por el cual dicta “Código Sanitario Nacional”
- Ley 76 de 1927 por el cual dicta “Protección y defensa del café”
- Ley 9 de 1991 por el cual dicta “Normas generales sobre cambios internaciones y medidas complementarias- contribución cafetera”. (FNC, 2002)

#### **7.4 Salud y seguridad**

Cuando se habla de extracción de etanol por medio de fuetes orgánicas las restricciones de su manipulación no cambian, manteniendo el mismo grado de peligrosidad al ser clasificado por el reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP) como compuesto altamente inflamable. Al tener un alto conocimiento sobre el grado de peligrosidad, las recomendaciones más claras son mantener alejado del calor de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición; No fumar y muy importante mantener el recipiente herméticamente sellado. (REGLAMENTO CE,2008)

## **8. Metodología**

Este proyecto se encuentra planteado en cuatro objetivos claves para su éxito, los cuales constan de cuatro etapas. La primera etapa fue basada en la creación teórica de la idea de desarrollo y análisis de la viabilidad del proyecto propuesto; la cual se realizó; a lo largo de un mes; para el siguiente objetivo y etapa, en el segundo mes se determinaron las variables de producción para la hidrólisis de seleccionada junto con la metodología de desarrollo para las siguientes dos etapas, las cuales consisten las pruebas de laboratorio usando hidrólisis básica, lo que determina la cuarta y última etapa que es la presentación de resultados y análisis obtenidos en el marco de tiempo del proyecto.

### **8.1 Esquema metodológico**

La presente investigación es de tipo aplicado, lo cual permite poner en práctica la relación teórica con la metodología elegida para la extracción de la muestra, ubicando el lugar de practica en el laboratorio de química de la universidad EAN.

Durante el desarrollo de esta investigación con enfoque cuantitativo, se investigó los procesos de aprovechamiento de biomasa natural proveniente del mucilago de café y se llevó a cabo la elección de hidrólisis básica para la extracción de etanol. Se elige la hidrólisis básica como fuente de extracción por ser un método basado en la extracción de primera generación.

Durante la primera y segunda etapas de desarrollo del proyecto, se dio revisión a diversos proyectos donde se determina que la biomasa presente en el mucilago de café es una fuente apta para la extracción y procesamiento de bioetanol.

## **8.2 Descripción metodológica.**

### **8.2.1 Pretratamiento.**

Siguiendo las recomendaciones de Aimeé y Mahecha con un enfoque e investigación similar se decide hacer un pretratamiento de las cascara de café mediante un procesamiento en pH alcalino el cual según González Aimeé es un “Pretratamiento alcalino de bagazo de caña para mejorar la producción de biometano”. Este autor estipula además que es el pretratamiento más efectivo para las biomasa, con resultados como una estimulación de la biodegradabilidad en el bagazo de caña, empleando una solución de NaOH 0.5 gramos en un promedio de tiempo de tres horas a temperatura ambiente, logra un porcentaje mayor de desglinificación (Aimeé, 2019) Por otro lado, según Mahecha estipula que para tener un pretratamiento de mayor impacto, lo más recomendable es la adición de “500 g de cáscara de café a un reactor que contiene 500 mL de NaOH 1M, para después agitar la mezcla. A continuación, el vaso de precipitado es sellado y posicionado en una autoclave a una temperatura de 121 °C durante 3 horas” ((Mahecha et al.,2022) El mucilago es tratado a estas temperaturas con el fin que dicho tratamiento térmico rompa las estructuras celulares y se liberen carbohidratos para obtener la solución que servirá como materia prima.

### 8.2.2 Fermentación controlada y adición de levadura.

La levadura *Saccharomyces Cerevisiae* es la fuente de proteína unicelular para la obtención de biomasa microbiana que cuenta con la capacidad de fermentación de la glucosa. (Suarez et al.,2016). La materia prima obtenida en el paso anterior se divide en dos partes iguales, a las cuales se les agregará una concentración de 2,5% y 2% de levadura para un volumen total de solución de 500 ml. Este procedimiento fue determinado con base en las recomendaciones de Rodríguez et al- en su estudio "Levadura *saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol" (Rodríguez et al.,2016) para calcular las concentraciones se emplea la siguiente formula química:

*Ecuación 1. Formula química para determinar el porcentaje de levadura.*

$$P = \frac{M}{V}$$

*P = Porcentaje de levadura en gramos*

*M = Masa*

*V = Volumen*

Posteriormente se realiza agitación constante durante un tiempo de 30 minutos, finalizada esta agitación el vaso de precipitado es dejado en una incubadora a una temperatura de 22°C durante 72 horas (3 días) (Mahecha et al.,2022) a continuación se retiran los sólidos en suspensión, usando papel filtro como y un embudo Büchner para tener una mayor remoción (Dolors et al., s.f).

### 8.2.3 Destilación

La destilación se realiza a una temperatura de 80°C, la materia prima es tomada en un volumen total de 250 ml, esto se lleva a base de una destilación simple llevada a cabo en un montaje de laboratorio (Smith et al., 2021) donde se realiza la recolección de gases en la temperatura óptima para obtener el producto terminado.

### 8.2.4 Análisis cuantitativo

En esta etapa se medirán los grados brix, se analizará el pH y densidad del producto final. A través del método de picnómetro se determinará el grado alcohólico (AOAC International, 1995) en donde se emplea la siguiente formula química:

$$P \left( \frac{(m_c - m_a)}{(m_b - m_a)} \right) \cdot P_{H_2O}$$

*Donde: P = Densidad de la muestra*

*Ma = Masa del picnómetro en vacío*

*Mb = Masa del picnómetro lleno en agua destilada*

*Mc = Masa del picnómetro lleno de pulpa.*

*P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = Densidad del agua a 20°C*

*Ecuación 2. Grado alcohólico.*

### 8.3 Flujograma método de hidrolisis básica.

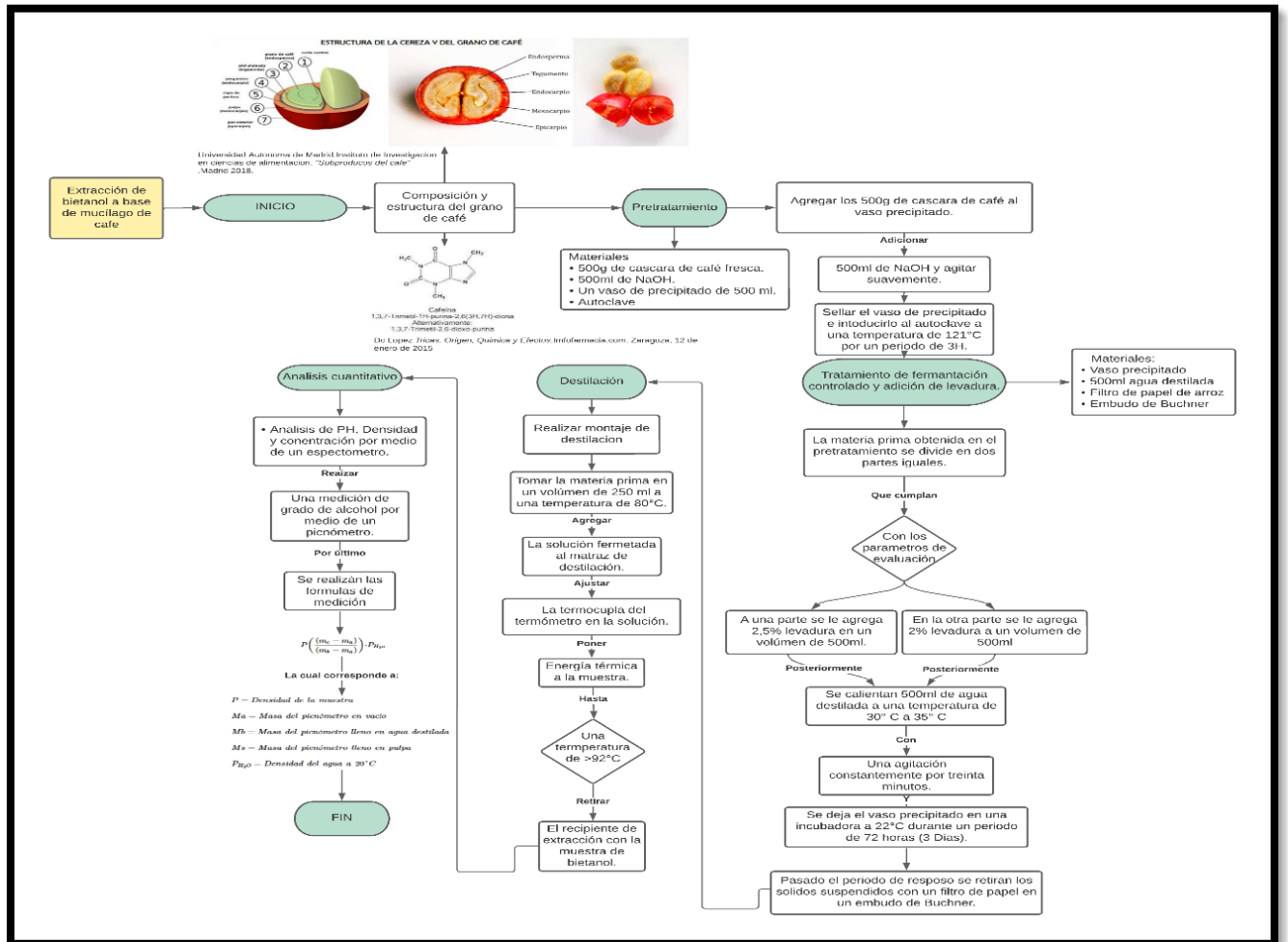


Ilustración 1. Flujograma método de hidrolisis básica.

Figura 1. Realización propia.

### 8.4 Cronograma de actividades.

#### 8.4.1 Cronograma de actividades general.

- Primera semana de febrero: Creación de grupo de trabajo-Realizada.
- Segunda semana de febrero: Selección de enfoque del proyecto-Realizada.

- Tercera y cuarta semana de febrero: Realización de las actividades correspondientes a la guía número uno y número dos-Realizada.
- Primera semana de Marzo: Entrega de actividades-Realizada.
- Semanas del doce de marzo al veinte de abril: Entrega de la tercera guía-Realizada.
- Semanas del veinte de abril al diecinueve de mayo: Entrega de la parte experimental con análisis de costos y conclusiones-Realizada.

#### **8.4.2 Cronograma de actividades específico para la última entrega.**

- Primera semana de mayo: Comprar la cereza del café, efectuar el pretratamiento y extraer cuatro litros de mucilago de café-Realizada.
- Segunda semana de mayo: Realizar el proceso de fermentación controlada y adición de levadura-Realizada.
- Tercera semana de mayo: Ejecutar el proceso de destilación, obtener la muestra y hacer el análisis cuantitativo-Realizada.
- Cuarta semana de mayo: Presentar la investigación con conclusiones, análisis de costos y presentación final-Realizada.

## 9. Extracción del Bioetanol

### 9.1 Procedimiento.

- Acondicionamiento de pulpa de mucilago de café; se realiza una mezcla homogénea por medio del licuado en donde se involucran 2L de agua por cada 400g de mucilago de café.



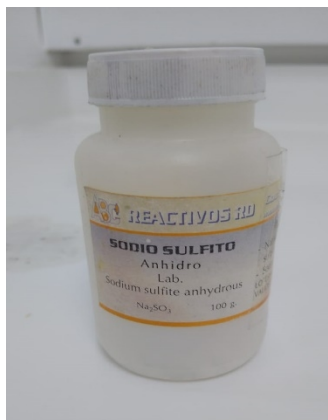
*Figura 1. Acondicionamiento de pulpa, Fuente: Elaboración propia.*

- Posteriormente de tener la mezcla homogénea, iniciamos la primera fase del pretratamiento adicionando 2,5g de soda caustica por cada 1L.



*Figura 2. Hidróxido de sodio- reactivo químico, Fuente: Elaboración propia.*

- Dentro de la primera fase del pretratamiento también se adiciona 7,5g de sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) por cada 1L de agua destilada generando una reacción básica, presurizando el proceso de fermentación ayudando a la aparición de solidos disueltos y aumentando el porcentaje de grados brix.



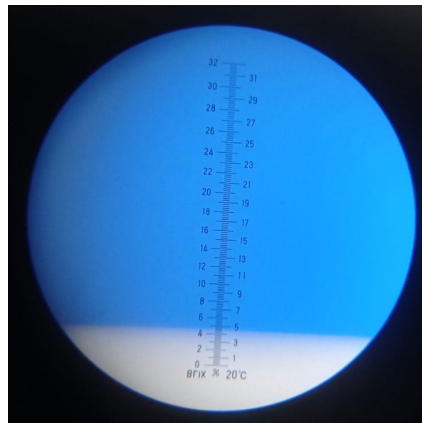
*Figura 3. Sulfito de sodio- Reactivo químico, Fuente: Elaboración propia.*

- Con ayuda de autoclave se realiza la última fase de pretratamiento, el cual consiste en calentar la muestra a una temperatura de 121°C durante 3 horas.



*Figura 4. Equipo de laboratorio- Autoclave, Fuente: Elaboración propia.*

- Seguimiento de pretratamiento se toma pH y grados brix por medio del pH-metro y el refractómetro identificando el grado de etanol que hasta el momento ha alcanzado la muestra. Lugo se deja fermentar durante 72 horas (3 días).

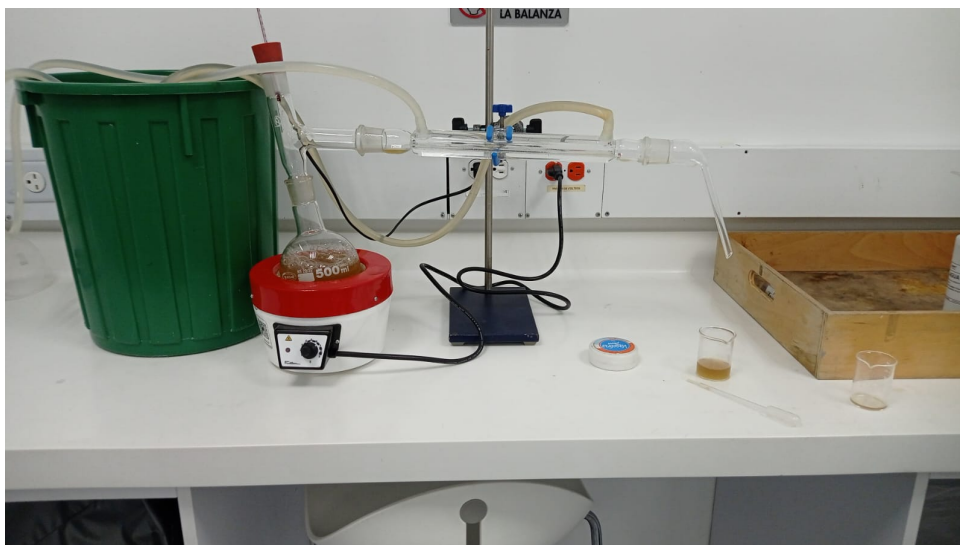


*Figura 5. Grados brix antes de la destilación, Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 6. pH inicial de la muestra, Fuente: Elaboración propia.*

- Pasado los tres días se inició el proceso de destilación y extracción del bioetanol este proceso se llevó a cabo a una temperatura de 78°C durante un periodo de 1 hora 30m.



*Figura 7. Montaje de destilación, Fuente: Elaboración propia.*

- Como resultado se logró extraer una muestra de 100ml de extracto de etanol con un pH de 10,19 con cuatro grados brix.



*Figura 8. pH final después del proceso de destilado, Fuente: Elaboración propia.*

- Se realiza la medición de densidad por medio de picnómetro donde se determina la densidad por la siguiente ecuación:

$$(M2 - M1) = M_{H_2O} - (19,6207g - 15,1951g) = 4,4256g$$

$$(M3 - M1) = M_{solución} - (19,6810g - 15,1951g) = 4,4859g$$

$$\rho = \left(\frac{M}{V}\right) = \left(\frac{M_{solución}}{V}\right) = \rho_{solución}$$

$$\rho = \left(\frac{M}{V}\right) = \left(\frac{4,4859g}{4,773 mL}\right) = 0,9398 \frac{g}{mL}$$

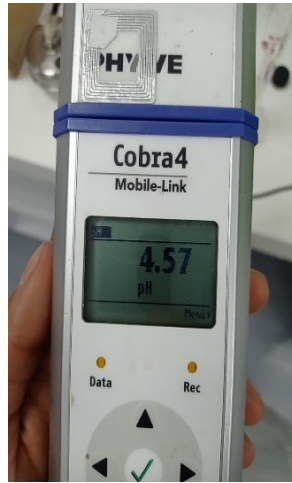
*M1 = Masa del picnómetro en vacío.*

*M2 = Masa del picnómetro con agua destilada.*

*M3 = Masa del picnómetro con la solución*

*Ecuación 3. Formula química para determinar la densidad.*

- Se optó por realizar un segundo procedimiento evidenciando que en el laboratorio uno los resultados no fueron los esperados ya que el porcentaje de alcohol de la muestra no alcanzaba el estándar de inflamabilidad mínimo para generar ignición necesaria en el etanol. En procedimiento; se inició dejando el mucílago una semana más en proceso de fermentación, en la cual se evaluaron los siguientes parámetros pH, densidad aparente y los grados brix.

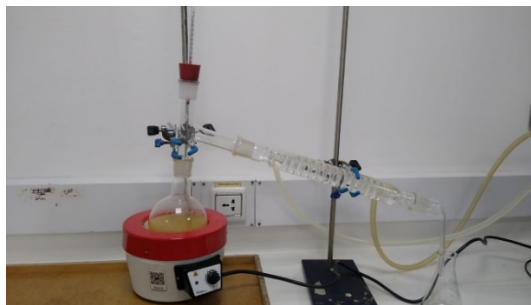


*Figura 9. pH inicial del laboratorio número dos.*

- Evidenciando en la primera etapa la dificultad en el proceso de destilación debido a la cantidad de solidos disueltos, se optó, en realizar un filtrado por bomba de vacío.

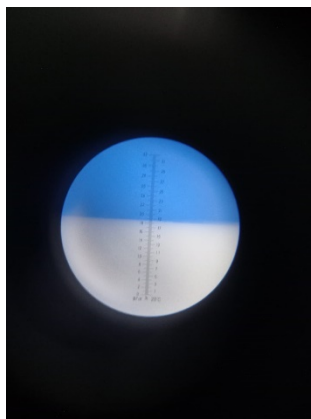


*Figura 10. Equipo de filtrado al vacío, Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 11. Montaje de destilación del segundo laboratorio, Fuente: Elaboración propia.*

- Conociendo que la muestra debe tener un porcentaje de alcohol se midieron grados brix con un resultado de 19 grados de la muestra pura del etanol presentando 96% de pureza, con una densidad de 0,742.

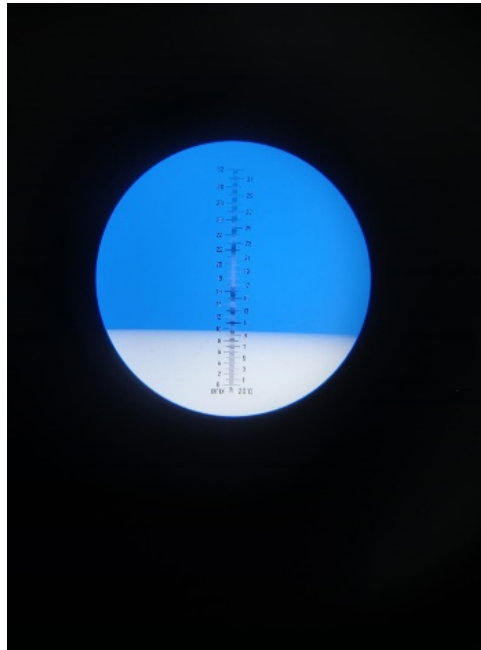


*Figura 12. Grados Brix del Etanol al 96%, Fuente: Elaboración propia.*

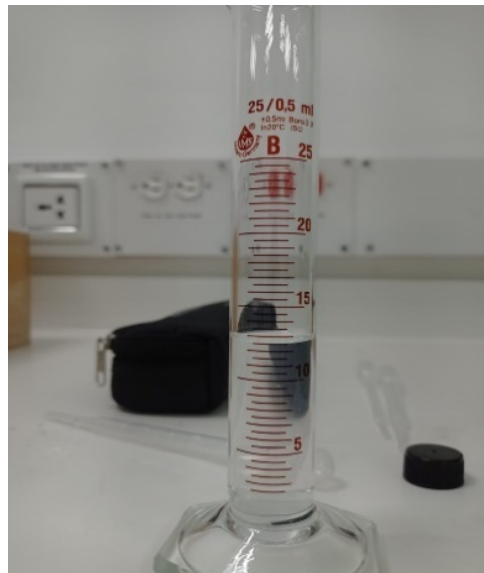
- Después del proceso de destilación durante 1 hora y media bajo una temperatura de 78°C se logró extraer una muestra de 12,5ml con un pH 2,33 con un porcentaje de grados brix de 9,7 con un porcentaje total de alcohol en producto final de 2.53%.



*Figura 13. pH final del producto final, Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 14. Grados brix del bioetanol obtenido, Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 15. Volumen total obtenido por la destilación, Fuente: Elaboración propia.*

## **10. Análisis de resultados**

El análisis de resultados como su nombre lo indica nos permitirá evaluar, analizar y concluir los resultados finales de las dos pruebas experimentales, de igual forma medir la viabilidad sobre el método de hidrolisis básica utilizado para la extracción de bioetanol a partir del mucilago de café.

### **10.1 Influencia del pH**

En la extracción del producto final la materia prima inicial determina un pH de 4,45 con la muestra de 2,5 gramos de levadura antes de iniciar la destilación. De acuerdo a lo estipulado por Rodríguez el pH óptimo recomendado se encuentra en el rango de 4,5 y 5,5 (Rodríguez et al.,2011) No obstante, según datos obtenidos en la investigación de Mahecha se determina que los mejores resultados se lograron en un rango de 3,9 y 4,8 (Mahecha et al.,2022). El pH de ingreso es un factor de vital importancia en la extracción de bioetanol.

En la salida del laboratorio uno el producto final registró un pH de 10,19 un valor muy alcalino por lo cual se estipula que, en el proceso se generó una descomposición, esto se puede dar debido a que hay puntos calientes en el equipo de destilación que no permite la homogenización del equipo en la temperatura de ebullición.

En otro orden de ideas, el pH del producto final obtenido en el laboratorio dos es de 2.33, no se presenta descomposición, sin embargo, si se evidencia un pH más bajo que el de ingreso.

Para determinar el contenido de azúcar se miden los grados Brix que consisten en la medición de sacarosa disuelta en un líquido, esta medición se realizó después del pretratamiento donde la muestra se ubicó en la autoclave durante tres horas a una temperatura de 121°C en la cual se obtuvo una concentración total de seis en grados brix, no obstante, en la salida de la destilación se obtuvieron cuatro grados brix; esta relación se encuentra directamente conectada con el porcentaje de alcohol el cual obtuvo 1.52% en el primer laboratorio con un tiempo de fermentación de tres días.

## **10.2 Contenido de azúcar y porcentaje de alcohol.**

Para el segundo laboratorio la muestra se dejó en proceso de fermentación por quince días, donde se obtuvo una concentración total de ocho grados brix y en la salida de la destilación la muestra alcanza una concentración neta de diez grados brix; una medida que está directamente relacionada con el porcentaje de alcohol el cual fue de 2,53%.

Los resultados finales debido a que no se presenta un porcentaje apto para generar combustión, debido a que, el límite inferior de inflamabilidad del etanol a 96% oscila entre 3%-4% de alcohol, se realiza la prueba de ignición y la muestra final no genera reacción.

### **10.3 Posibles hipótesis de la falencia en el laboratorio uno.**

Se determina que la posible causa de la falencia fue en el proceso de destilación en el cual se busca purificar los líquidos volátiles, uno de los mayores retos presente en la destilación es el calor suministrado.

Durante la fase experimental el termómetro se mantuvo en 80°C, se debe mencionar que los termómetros de los laboratorios son utilizados por varias personas que les podrían ocasionar daños y afectar su calibración debido a su uso constante, se recalca que en la fase experimental no se realizó el proceso de calibrado lo cual podría afectar la lectura de este. En conclusión, en la etapa experimental la temperatura se mantuvo constante en 80°C durante una hora y media, no obstante, en el equipo de destilación simple se podrían generen puntos calientes y generar una descomposición. Por otro lado, la cascara posiblemente no tenía la calidad deseada, debido a que la cascara fue comprada sin conocer las variables de crecimiento, por ende, podría haber tenido una concentración de azúcares muy baja.

### **10.4 Laboratorio número dos.**

Los resultados obtenidos en el segundo laboratorio son alentadores, sin embargo, no son los resultados deseados. Durante la parte experimental se evidencia que el bioetanol extraído no presenta capacidad de combustión. No obstante, si presenta un pH final ideal y una concentración de grados brix adecuada, de acuerdo a los estándares establecidos por Mahecha en su investigación. Los procedimientos de pretratamiento se llevaron a cabo de manera adecuada y el proceso de destilación fue exitoso.

### **10.5 Variables de diferencia del laboratorio uno y dos.**

Las variables de diferencia radican en las hipótesis realizadas por la falencia del laboratorio uno. Debido a la descomposición química que se realizó en la destilación en la fase experimental número uno se tuvo un mayor control de temperatura en el proceso de destilado, se realizó un filtrado al vacío para eliminar los sólidos volátiles orgánicos suspendidos presentes en la materia prima.

El montaje de destilado se realizó de una forma distinta, ya que, en el laboratorio uno el matraz aforado se encontraba a nivel de plataforma permitiendo con mayor facilidad el paso de sólidos suspendidos y agua, por consiguiente, en el segundo laboratorio se decidió por subir el matraz a una plataforma de mayor altitud generando un desnivel más notorio, este cambio permitió extraer una muestra de mayor pureza notoria en el color del producto final.

La materia prima se dejó fermentar por una semana más a diferencia del laboratorio uno que tuvo un tiempo de fermentación de tres días, proporcionando una mejor extracción de bioetanol.

## 11. Análisis de costos.

El análisis de costos nos permitirá conocer la viabilidad económica de este proyecto y su crecimiento a nivel industrial; según palabras expresadas por Jorge Bendeck presidente de la Federación de Biocombustibles de Colombia en el año 2022 entre bioetanol y biodiesel, la demanda de biocombustibles aumentó a 20,400 litros diarios (Bendeck,2022) por ende, es considerado como un sector económico consolidado con una producción anual de 7,446,000 litros.

Tomando la información expresada con anterioridad es necesario informar que el estudio será una aproximación a una producción de bioetanol a escala de laboratorio donde se evaluará, el costo de la materia prima, los equipos utilizados, reactivos químicos, valor de los costos indirectos y por último el costo final del producto. Estos datos obtenidos serán encontrados en la tabla número 2.

Tabla 2. Análisis de costos directos e indirectos.

Costos de materia prima- Directos.		
Nombre.	Cantidad.	Costo total en pesos colombianos.
Cascarilla de café	5 kilogramos	\$ 5.000
Levadura (Saccharomyces Cerevisiae)	200 gramos.	\$ 40.000

Hidróxido de sodio.	200 gramos.	\$ 15.000
Sulfito de sodio	500 gramos.	\$ 150.000
Costos de los equipos para la extracción de la materia prima-Directos.		
Nombre.	Cantidad.	Costos en pesos colombianos.
Autoclave.	Una unidad.	\$ 2,500,000 y 3,500,000
Licuadaora.	Una unidad.	\$ 346,415
Balanza Analítica.	Una unidad.	\$ 475,134
Costo de equipos para la obtención de bioetanol-directos.		
Equipo.	Cantidad.	Costos en pesos colombianos.
Columna de destilación.	Una unidad.	\$ 412,000
pHmetro.	Una unidad.	\$ 244,999
Condensador.	Una unidad.	\$ 281,000
Picnómetro.	Una unidad.	\$ 413,289
Balón de fondo redondo.	Una unidad.	\$ 58,278
Soporte universal.	Una unidad.	\$ 89,999

Manta de calefacción.	Una unidad.	\$ 2,028,026
Papel filtro.	Una unidad.	\$ 46,999
Matraz de Erlenmeyer.	Una unidad.	\$ 165,571
Microscopio.	Una unidad.	\$ 3,101,719
Costo de servicios – Indirectos.		
Electricidad.	KW/h	\$ 921
Agua.	M3	\$ 4,430
Agua destilada.	10 litros.	\$ 35,000
Residuos.	10 kilogramos.	= (1,128*kg) =11,280
Transporte.	Un galón de gasolina.	\$ 11,766
Costo final.		\$ 11,460,826

*Tabla 2. Análisis de costos directos e indirectos.*

Nota: Elaboración propia.

El costo aproximado para la extracción de bioetanol a tamaño laboratorio es de \$11,460,826 pesos colombianos lo que equivale a \$2.634,98 dólares. El mayor costo se

evidencia en los instrumentos de mayor tamaño utilizados en la extracción de la materia prima. Cabe aclarar que los costos indirectos son basados en aproximaciones, los valores fueron extraídos de las fuentes oficiales de las compañías prestadoras de servicios público, por otro lado, para los residuos la consulta fue realizada en compañías especializadas en el manejo de residuos peligrosos y se efectúa un promedio del valor en los residuos depositados.

## 12. Conclusiones

### 12.1 Laboratorio uno.

A lo largo de la investigación se logró extraer una muestra de bioetanol a base de mucílago de café por medio de una hidrólisis básica, no obstante, los resultados obtenidos no fueron los esperados, debido a que el producto final no tiene el potencial de uso como combustible en motores tradicionales de combustión.

La muestra de extracción fue sometida a un análisis cuantitativo en el cual se midió el pH, densidad y se realizó una medición por picnómetro para conocer los grados de alcohol, en los cuales se determinan los siguientes valores de muestra:

Tabla 3. Resultados del laboratorio uno.

pH Final-Inicial	Densidad	Porcentaje de alcohol
10,19-4,45	0.93 g/mL	1,52%

Tabla 3. Resultados del laboratorio número uno.

Se obtiene un porcentaje de alcohol bastante bajo, es un porcentaje el cual no tiene combustión y no genera ignición, ya que, se realiza la prueba con un catalizador sin ser efectiva. Teniendo en cuenta que el límite inferior de inflamabilidad del etanol oscila

entre 3% y 4%, la muestra obtenida no es lo suficientemente apta para producir combustión.

## 12.2 Conclusiones de laboratorio dos y conclusiones finales.

En el laboratorio dos, se logró extraer un bioetanol de mayor pureza por medio de hidrólisis básica y destilación simple, los resultados obtenidos son considerablemente mejores que los resultados de su antecesor, ya que, se logra obtener un bioetanol de mayor pureza. Se realiza la prueba de ignición, sin embargo, este no presenta combustión, la hipótesis radica en el proceso de destilación en el cual se intuye que pudo ingresar agua en la muestra.

En este laboratorio se inicia con un pH ácido y se finaliza con un pH de las mismas características, lo cual determina que no hubo descomposición química y se realizó un mejor proceso de destilación.

La muestra de extracción fue sometida a un análisis cuantitativo en el cual se midió el pH, densidad y se realizó una medición por picnómetro para conocer los grados de alcohol, en los cuales se determinan los siguientes valores de muestra:

Tabla 4. Resultados del laboratorio dos.

pH Final-Inicial	Densidad	Porcentaje de alcohol
2,33-4,60	0,79 g/mL	2,53%

*Tabla 4. Resultados del laboratorio número dos.*

Se obtiene un porcentaje de alcohol bastante elevado a comparación del laboratorio uno, partiendo de que el límite inferior de inflamabilidad del etanol al 96%

oscila entre 3% y 4%, por lo cual se estipula un porcentaje de alcohol cercano al límite de inflamación del alcohol tradicional. Sin embargo, la muestra obtenida no alcanza el estándar de inflamabilidad para generar reacción de encendido.

Se determina que el método seleccionado es factible debido a que se logra extraer el bioetanol, sin embargo, se debe tener en cuenta varias variables que pueden afectar la extracción, permitiendo conocer que el proceso de extracción de bioetanol puede ser mejorado. Se logró extraer los azúcares reductores y se llevó con éxito la hidrólisis básica ya que esta logra cumplir con el rango de pH deseado investigado por Rodríguez en su estudio “Producción de alcohol a partir del mucilago de café”; por lo cual se determina como una hidrólisis ideal para el proceso de extracción de mucílago de café para posteriormente ser convertido en bioetanol.

Finalmente, analizando la factibilidad económica del proyecto se determina que es viable respecto a los costos de obtención de la materia prima, no obstante, los costos directos relacionados a los equipos de laboratorio utilizados en el proceso de obtención del bioetanol son elevados considerando el volumen de muestra obtenida.

### 13. Referencias bibliográficas:

- Anónimo.(s.f).Obtención de subproductos.pág.13-28  
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/806/4/3%20Miel.pdf>
- Bianca Yadira Pérez S.,Rodríguez de León A.,Trinidad Saldaña S.,Jhosep Pathiyamatoon S.(2015) Optimizathion of bioethanol production from cofre mucilage.Bioresoures.com  
<https://repositorio.ipicyt.edu.mx/bitstream/handle/11627/3668/BioResources10%282015%294326.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- China: Biofuels Annual.(2021,Septiembre 16).USDA Foreign Agricultural Service.<https://www.fas.usda.gov/data/china-biofuels-annual-7>
- Contaminación del agua por materia orgánica y microorganismos –  
Agua.org.mx.(2017,March  
27).Agua.org.mx.<https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-materia-organica-y-microorganismos/#:~:text=Contaminaci%C3%B3n%20por%20materia%20org%C3%A1nica%20y,protozoarios%20y%20diversos%20organismos%20mayores>.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.(s.f).Aportes del sector al desarrollo sostenible.Segunda edición.FNC  
<https://federaciondefeteros.org/static/files/4Capitulo2.pdf>
- Federación Nacional de cafeteros de Colombia.(2014).Ensayos sobre economía cafetera.FNC.

[https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2019/12/Econom%C3%ADa-Cafetera-No.-30\\_Web.pdf](https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2019/12/Econom%C3%ADa-Cafetera-No.-30_Web.pdf)

Federación Nacional de cafeteros de Colombia.(2002).Marco jurídico.FNC,2º Edición

<https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2022/09/2.Normatividad-Especial-FoNC.pdf>

ODS.(S.F).Agenda 2030 para el desarrollo sostenible.Organización de naciones unidas la (ONU)

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

Garzón M.,Darío Sánchez H.(2018).Diagnostico ambiental de los residuos sólidos (pulpa y mucilago),generados por unidades productivas no certificadas en BPA en las veredas tabacal y Betania del municipio de Pitalito departamento del Huila.[Opción proyecto de grado] universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/20923/1030543816.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gonzales Vargas L.(2020).Actitudes de la ciencia y la tecnología en caso de la producción de bioetanol a partir del mucilago de café.[Opción de grado,magister,Universidad Pedagógica Nacional].

[http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/13202/trabajo\\_de\\_grado\\_ldgv.pdf?sequence=4&isAllowed=y](http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/13202/trabajo_de_grado_ldgv.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Gonzalez,A.G.,[Aimeé González Suárez],Hernandez,G.H.,[Giselle Hernández Alfonso],& Pereda,I.P.,[Ileana Pereda Reyes].(2019,December).PRETRATAMIENTO

ALCALINO DE BAGAZO DE CAÑA PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN DE BIOMETANO. Scielo. Retrieved April 25, 2023, from [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612019000400079#:~:text=El%20pretratamiento%20alcalino%20puede%20selectivamente,deslignificación%20\(36%2C5%20%25](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612019000400079#:~:text=El%20pretratamiento%20alcalino%20puede%20selectivamente,deslignificación%20(36%2C5%20%25)

Guzmán Salazar M., Guillermo Mahecha N., Rozo Perdomo S. (2022, agosto, 02). Determinación de las variables óptimas para la producción de bioetanol a partir del mucilago de café con el propósito de reducir el vertimiento de los desechos provenientes del pretratamiento del café en las fuentes hídricas del municipio de Pitalito [Proyecto de grado, Universidad Ean].

<https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/12386/RozoSergio2022.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/296708/IT\\_Bioetanol\\_01022018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/296708/IT_Bioetanol_01022018.pdf)

Iberdrola. (s.f). Contaminación del suelo “La contaminación del suelo sus efectos sobre nuestro futuro y que podemos hacer para reducirla”.

<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contaminacion-del-suelo-causas-efectos-soluciones#:~:text=CONSECUENCIAS%20DE%20LA%20CONTAMINACI%C3%93N%20DEL%20SUELO&text=Los%20contaminantes%20de%20la%20tierra,los%20pat%C3%B3genos%20a%20estos%20f%C3%A1rmacos.>

Ing. Fuentes Oliva D., Ing. Reyes Alfredo J., PH.D. Matamoros Antonio Isidro., PH.D. Trejo Odilia C., Ing. Cuestes Monje H., PH.D. Moncada Marielena. (s.f). Efecto con la suplementación con ensilaje de pula de café (Coffe Arábica L) sobre el desempeño

productivo del ganado lechero en Zamorano, Honduras. Escuela agrícola panamericana  
1942

Montoya Mejía D., Jaramillo hoyos Javier F., Bustamante Castillo  
Jairo. (2005). Manejo y aprovechamiento de los productos derivados del beneficio  
ecológico del café “Manejar los residuos del benéfico del café para evitar la  
contaminación y obtener otros productos útiles a partir de ellos”. Sena regional caldas.

<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/839/1/Manejo%20aprovechamiento%20productos%20derivados.pdf>

<http://apps.iica.int/pccmca/docs/MT%20Produccion%20Animal/Lunes%2029%20abril/5-Efecto%20Suplementaci%C3%B3n%20Ensilaje%20Pulpa%20Caf%C3%A9.pdf>

Jaramillo, Jorge (1999). Gestión integral de residuos sólidos municipales-  
GIRSM. Seminario Internacional Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos. Siglo  
XXI. Medellín

<http://www.resol.com.br/textos/girsm.pdf>

<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/839/1/Manejo%20aprovechamiento%20productos%20derivados.pdf>

Pérez Godoy M. (2022, febrero 28). Huila, Tolima, Cauca y Nariño ya concentran el  
49% de la producción de café en el país. Agronegocios

<https://www.agronegocios.co/agricultura/huila-tolima-cauca-y-narino-ya-concentran-49-de-la-produccion-de-cafe-en-el-pais-3311739>

<https://www.huila.gov.co/publicaciones/10606/caficultura-huilense-sigue-creciendo/#:~:text=Durante%20el%202020%20el%20Huila,productor%20del%20grano%20en%20Colombia.>

Pineda, J.S.T. (2021). Obtención de bioproductos a partir de residuos del beneficio húmedo del café (pulpa). <https://www.redalyc.org/journal/776/77670267002/html/>

Puerta Q., G.I.; Ríos A., S. (2011, abril 23). Composición química del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y refrigeración. *Cenicafé* 62

<https://www.cenicafe.org/es/documents/2.pdf>

Portalfruticola.com (2019, septiembre 04). Utilidad de la ceniza en la agricultura: como usarla

<https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/09/04/utilidad-de-las-cenizas-en-la-agricultura-comousarlas/#:~:text=Para%20mejorar%20la%20calidad%20del%20suelo%20y%20aumentar%20su%20fertilidad.&text=La%20ceniza%20tambi%C3%A9n%20neutraliza%20la,el%20nitr%C3%B3geno%20en%20la%20tierra.>

¿Qué es el bioetanol y para qué sirve? | Repsol. (2023, 19 abril). REPSOL. [https://www.repsol.com/es/energia-futuro/transicion-energetica/bioetanol/index.cshtml#:~:text=Reduce%20las%20emisiones%20de%20CO&text=Aunque%20al%20quemarse%20produce%20CO,procedente%20de%20residuos%20de%20biomasa\).](https://www.repsol.com/es/energia-futuro/transicion-energetica/bioetanol/index.cshtml#:~:text=Reduce%20las%20emisiones%20de%20CO&text=Aunque%20al%20quemarse%20produce%20CO,procedente%20de%20residuos%20de%20biomasa).)

Qiu, H., Huang, J., Yang, J., Rozelle, S., Zhang, Y., Zhang, Y., & Zhang, Y. (2010). Bioethanol development in China and the potential impacts on its agricultural economy. *Applied Energy*, 87(1), 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.015>

Rodríguez Valencia N., Zambrano Franco D. (2010, marzo). Los subproductos del café: fuente de energía renovables. [Investigación científica, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia]. *Avances técnicos cenicafe*.

<https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393.pdf>

Ramírez Vélez A., Jaramillo López J. (2013, junio 20). Proceso para la obtención de miel o harina de café a partir de la pulpa o cascara y el mucilago del grano de café. [solicitud internacional de patentes, WIPO PCT].

<https://patentimages.storage.googleapis.com/af/6b/cd/c8f24a1bacdea3/WO2013088203A1.pdf>

Rodríguez-Valencia, N., Zambrano Franco, D.A., & Ramírez, C.A. (2013). Manejo y disposición de los subproductos y de las aguas residuales del beneficio del café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (Vol. 3, pp. 111–136). Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/496/1/arc062%2801%2956-69.pdf>

Roben, Eva (2002). Manual de compostaje para Municipios. Ecuador: [http://www.opaci.org.py/biblioteca/Servicio\\_Sanitario/](http://www.opaci.org.py/biblioteca/Servicio_Sanitario/).

[http://repositorioubasib.uba.ar/gsd/collect/encruci/index/assoc/HWA\\_280.dir/280.PDF](http://repositorioubasib.uba.ar/gsd/collect/encruci/index/assoc/HWA_280.dir/280.PDF)

Sánchez Banda F. (2018, mayo 11). Hidrolisis enzimática, etapa indispensable para producir etanol. Ciencias mx noticias.

<http://www.cienciamx.com/index.php/tecnologia/biotecnologia/20950-hidrolisis-enzimatica-indispensable-bioetanol#:~:text=La%20hidr%C3%B3lisis%20enzim%C3%A1tica%20tiene%20como,y%20se%20obtiene%20el%20bioetanol.>

Siliceo, M.S. (2014, noviembre). Análisis de la productividad industrial de bioetanol. Universidad Veracruzana. Recuperado en abril 25, 2023, de

<https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46727/SiliceoRodriguezMLuisa.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Suarez, C.S., Garrido, N.A., & Guevara, C.G. (2016, abril 1). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Redalyc. Recuperado abril 25, 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223148420004.pdf>

S.F. (2007, noviembre 8). Contaminación del agua por materia orgánica y microorganismos. Bragado Alcanzaras, R. (2018, julio 03). Materia orgánica II: consecuencias de la acumulación. Tiloom.

<https://www.tiloom.com/materia-organica-ii-consecuencias-de-su-acumulacion/#:~:text=Este%20incremento%20de%20la%20materia,energ%C3%ADa%20necesaria%20para%20tal%20proceso.>

Valencia Rodríguez N. (2003, julio). Ensilaje de pulpa de café. [Programa de investigación científica, Cenicafe]. Federación Nacional de cafeteros en Colombia.

<https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0313.pdf>

Vilalta, D.V., & Gorchs, R.G. (n.d.). TÉCNICAS BÁSICAS DE EXPERIMENTACIÓN EN QUÍMICA EN FORMATO DIGITAL. UPC. Recuperado abril 25, 2023, de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/6657/tecnicas\\_basicas\\_experimentacion.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/6657/tecnicas_basicas_experimentacion.pdf)