



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA DE CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**



**OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE MATERIAL
LIGNOCELULÓSICO DISPONIBLE EN LA SEDE UNELLEZ BARINAS, 2023.**

AUTOR(AS):

ALVARADO HELEN

C.I.27.216.567

RODRÍGUEZ ELSIMAR

C.I.27.881.480

TUTOR ACADÉMICO:

ING. GERICKSSON DEVIES

BARINAS, MARZO 2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA DE CIENCIAS BASICAS Y APLICADAS
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

**OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE MATERIAL
LIGNOCELULÓSICO DISPONIBLE EN LA SEDE UNELLEZ BARINAS, 2023.**

(Trabajo Especial de Grado presentado como requisito parcial para optar por el título de:
Ingeniera de Petróleo)

AUTOR(AS):

ALVARADO HELEN

C.I.27.216.567

RODRÍGUEZ ELSIMAR

C.I.27.881.480

TUTOR ACADÊMICO:

ING. GERICKSSON DEVIES

BARINAS, MARZO 2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA DE CIENCIAS BASICAS Y APLICADAS
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Tutor (a) del Trabajo de Especial de Grado presentado por las ciudadanas **Elsimar del Carmen Rodríguez Castellano, C.I. 27.881.480** y **Helen Cristiely Alvarado Calatayu, C.I: 27.216.567**, para optar al título de **Ingeniero de Petróleo**, considero que este reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Barinas a los _____ días del mes de _____ del

Tutor (a): Ing. Gericksson Devies

C.I 13.636.850



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA DE CIENCIAS BASICAS Y APLICADAS
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

**OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE MATERIAL
LIGNOCELULÓSICO DISPONIBLE EN LA SEDE UNELLEZ BARINAS, 2023.**

AUTOR(AS):

ALVARADO HELEN

C.I.27.216.567

RODRÍGUEZ ELSIMAR

C.I.27.881.480

Trabajo Especial de Grado aprobado en nombre de La Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” por el siguiente jurado, a los _____ días del mes de _____ del _____.

JURADO C.I.

JURADO C.I.

TUTOR C. I.

Ing. Gericksson Devies
C.I 13.636.850

DEDICATORIA

Dedicamos nuestro trabajo de grado primeramente a Dios, por ser el motor principal en nuestras vidas, por brindarnos la vida, la salud y el entendimiento por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. Por haber puesto en nuestros caminos a aquellas personas que han sido nuestro soporte durante todo el periodo de estudio.

A nuestros padres por su amor, trabajo, sacrificio y confianza en todos estos años, por sus sabios consejos que con esfuerzo y dedicación se alcanza el éxito, por ser nuestra inspiración y motivación en esos días difíciles.

A nuestros hermanos, amigos y compañeros de carrera por estar siempre presente acompañándonos y por el apoyo moral que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas, por siempre hacerse presente.

Al ingeniero Gericksson Devies, por su dedicación y compromiso quien nos ha guiado con su paciencia y su rectitud, por su valioso aporte para nuestra investigación; a nuestra casa de estudio UNELLEZ por abrirnos sus puertas y darnos la oportunidad de formarnos como profesionales, a todos los profesores que laboran en esta casa de estudio por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y por compartir sus valiosos conocimientos con cada uno de nosotros.

Alvarado & Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecerle a **DIOS** mi padre celestial quien es el forjador de mi camino, el que me acompaña siempre y me levanta de mis continuos tropiezos, le agradezco por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi luz y mi fortaleza en los momentos de debilidad, por contemplar en mí el don de la sabiduría y del entendimiento.

A mis padres por ser los primordiales promotores de mis sueños, gracias por todos los días confiar y creer en mí, por apoyarme incondicionalmente, por estar para mí en los momentos más difíciles, que a pesar de la distancia siempre se hicieron presentes. **A mi Madre: Magali Castellano**, mujer fuerte y luchadora que ha dado todo por y para mi crecimiento, por darme la vida, por ser la figura más importante de mi vida, por ser la mejor amiga y consejera, por todo el apoyo ilimitado e incondicional que siempre me has brindado, por tu entrega y compromiso. Gracias madrecita hermosa, te amo y nunca me alcanzara la vida para agradecer todas y cada una de las cosas que haces y que seguramente seguirás haciendo por mí. **A mi padre Rafael Rodríguez**, el amor de mi vida por educarme y hacer de mi la persona que hoy en día soy, por ser el apoyo más grande del mundo que todo hijo desea tener, por las enseñanzas que me has dado, por darme ánimos con cada palabra de esperanza que se hacía presente en aquellos días donde sentía que ya no se podía más, gracias por siempre celebrar conmigo los más pequeños logros de mi vida. Gracias padre de mi vida, te amo. A los dos muchas gracias espero de ahora en adelante poder retribuirles no solo el amor sino todo lo que han dado por mí, este logro no es solo mío también es de ustedes.

A mi hermano Heimi José y mi Cuñada-Madrina Elva Pérez, gracias infinitas por ser los promotores de este sueño, gracias por acogerme en su hogar durante casi toda mi carrera universitaria y ser como mis segundos padres, por no dejar que me faltara nada y permitirme que llegara hasta aquí, gracias no solo por ser parte fundamental de este gran logro, sino también por todos aquellos momentos bonitos que hicieron que lo difícil fuera más fácil, por cuidarme y preocuparse cada día por mí, no habría llegado hasta este punto si no fuese por ustedes, espero algún día poder recompensar todo lo que han hecho por mí, y les estaré eternamente agradecida este logro también es de ustedes, Los Amo.

A mi hermana Naisbelys Rodríguez, a quien amo y admiro con todo mi corazón, gracias porque siempre estas a mi lado apoyándome por tu amor y cariño, por ser mi amiga incondicional, por desear y anhelar siempre lo mejor para mí, gran parte de lo que he surgido en mi vida también te lo debo a ti, Gracias infinitas hermana de mi corazón Te Amo. **A mi hermano Erlys Rodríguez**, gracias por el apoyo por cuidarme y estar presente siempre, te amo. **A mis sobrinos;** por ser mi motivación, inspiración y felicidad, espero ser un gran ejemplo para ustedes siempre, les agradezco por cada mensaje de confianza que me hacían llegar a diario, los amo con mi alma.

A mis hermanos Elson Rodríguez y Deximar Rodríguez, que desde el cielo me acompañaron siempre y sé que desde el cielo celebran con gozo este logro.

A mis primas (os) y demás familiares, por su respaldo y cariño, gracias por el apoyo y hacerse presente siempre, los quiero.

A mis Amigas Helen Alvarado y Anyi Becerra, que más que mis compañeras se convirtieron en mis hermanas de carrera universitaria, les agradezco por todo el amor y apoyo incondicional que me brindaron, con ustedes compartí momentos increíbles que no cambiaría por nada, gracias por compartir sus conocimientos conmigo y por cada palabra de motivación, gracias por su amistad, optimismo y consejos, las quiero mucho y les deseo el mayor de los éxitos.

A mis compañeros de carrera, en especial a: **Anthony A, Berman M, Antony M, José M, George B, Sarai S, Rusneidi H**, por haberme brindado una mano amiga cuando los necesite, les deseo a todos un futuro brillante.

Al Prof. ING Gericksson Devies nuestro tutor académico, por su paciencia, confianza y compromiso, por todos los conocimientos impartidos, por asumir este reto con nosotras, fue un pilar fundamental, gracias infinitas Dios le bendiga siempre. **A la Profesora Msc. Lisbeth Pérez**, por toda la ayuda y colaboración que nos brindó para llevar a cabo esta investigación, por la paciencia y dedicación. Dios le bendiga. **A los Profesores**, que con dedicación y amor a diario siguen apostando por la calidad y la educación humana, a ustedes mil gracias y que dios bendiga el don de enseñar y la vocación de querer cambiar el mundo con una educación de calidad. **A la UNELLEZ**, por acobijarme por años bajo el calor de los conocimientos y el aprendizaje.

Elsimar Rodríguez.

Al Dios Omnipotente, por darme la sabiduría, el conocimiento y entendimiento necesario, por darme las fuerzas para avanzar, por arroparme con su manto y guiarme a lo largo de toda mi vida, por darme la vida, la salud, y cuidarme siempre ¡Bendito seas por los siglos de los siglos! .¡Amén!

A mis padres, por ser el motor de mi vida, el impulso y motivación para lograr mis sueños y cada meta que me proponga. Mi madre querida, **Gregoria Calatayu**, por ser una mujer incansable, luchadora, por consentirme y cuidarme, gracias por haberme dado la vida, y por educarme por el buen camino. A mí amado padre, **Yonny Alvarado**, por ser ese complemento de hombre sobreprotector, por ser mi ayudador, por sobreprotegerme siempre, por nunca decirme que no y siempre buscar la mejor solución y hacer de mí la mujer que hoy soy, por sus fieles consejos, por siempre querer lo mejor para mí y hacerme ver que los sueños se pueden cumplir con constancia y dedicación. A ambos gracias por cada sacrificio y por confiar en mí. Son lo más importante en vida y la mayor inspiración y espero seguir siempre su ejemplo de vida. Por ustedes eh llegado tan lejos y seguiré así para que estén orgullosos de mí y un día poder volverles multiplicado cada uno de sus esfuerzos.

A mi hermanos, Jesús y Luis, por cuidarme y **a mis hermanas, Elianny, Eliexi y Marianny**, por apoyarme también. ¡Los quiero ah todos inmensamente!

A mi hermanas de otra madre, **Yalimar, Yoersis, Becci** por estar siempre que las necesite, por preocuparse por mí y aconsejarme. Las adoro

A Mis Sobrinos y Sobrinas, que no los mencionare ah todos pero son la motivación de tía, para el día de mañana poder brindarles todo mi apoyo en especial mi pequeña **Estefany Nazaret**.

A el profesor Henrique Díaz, de quien recibí clases particulares y fue de gran ayuda para mi formación académica, siempre le estaré agradecida. Dios le bendiga mucho más.

A mi gran amigo, Ender rojas por estar en cada etapa de mi vida por celebrar mis logros y ayudarme agradecida siempre contigo.

H.E, A ti por ser parte de mí, por confiar en mí, por motivarme, por ser esa luz en mi vida, simplemente gracias mi amor bonito. ¡Te Quiero!

A mi tutor académico, **Ing. Gericksson Devies**, gracias por la gran ayuda y paciencia en todo momento, por la experiencia vivida y las largas jornadas en los laboratorios, por el aprendizaje obtenido, al igual que por la motivación a seguir avanzando y así formarnos como profesional, cada consejo fue escuchado. ¡Que Dios le Bendiga grandemente!

A la Profesora **Msc. Lisbeth Pérez**, por los largos días de trabajo en los laboratorios, por la comprensión y dedicación para con nosotras, por los momentos compartidos y gran ayuda. Infinitas gracias.

A los amigos que la vida y Barinas, me premio con su amistad, **Adrianny, Luis Arévalo, Saray**. Gracias por cuidarme y preocuparse siempre por mí, por consentirme, por motivarme, por escucharme y ayudarme en los buenos y malos momentos. Y en especial ah **Frangela, Oneida y Yennifer**, por acompañarme en esta última etapa de mi carrera, por largas horas de trasnochos, por el gran apoyo que necesitaba y consejos para no rendirme, por consentirme, cuidarme. Gracias Infinitas mis niñas.

A mis compañeros de carrera **Anyi B, Anthony A, Berman M, Antony M, Jose M, George B, Rusneidy H**. Todos les agradezco.

A mi compañera de carrera y de tesis, **Elsimar Rodríguez**, a ti por la dedicación y entrega desde el principio, por tu sincera amistad, tú gran ayuda, esfuerzo y dedicación y sobre todo el desempeño que has tenido de la tesis, por motivarme en toda nuestra carrera y en este proyecto. Te quiero mucho amiga.

Helen Alvarado.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
Objetivo General:	19
Objetivos Específicos:	19
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	20
ALCANCE Y LIMITACIONES	21
CAPÍTULO II: MARCO CONTEXTUAL	22
ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN	22
ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	16
MARCO TEÓRICO	24
1. Ventajas del uso del bioetanol	25
2. Usos del bioetanol como biocarburantes	25
3. Biocombustibles	26
4. Clasificación del biocombustible de acuerdo a sus características	27
4.1- Según su estado	27
4.2- Según su generación	28
4.3- Según su procedencia	31
5. Biomasa	32
6. Usos de la biomasa lignocelulósica	32
7. Tipos de biomasa para la obtención de bioetanol	32
8. Composición del material lignocelulósico	33
9. Celulosa	34
10. Hemicelulosa	34
11. Lignina	35
12. Lignocelulosa	36
13. Materias primas lignocelulósicas	36
14. Proceso para la obtención de bioetanol	36
15. Pre-tratamiento	37
15.1 Pre-tratamientos físicos	37
15.2 Pre-Tratamientos Químico	38
15.3 Pre-tratamientos Biológicos	38
15.4 Pre-tratamiento mecánico	39
15.5 Pre-tratamiento térmico	39
15.6 Pre-tratamiento con vapor de agua	39
15.7 Pre-tratamiento con agua caliente	39

16. Hidrólisis	40
16.1 Hidrólisis Enzimática	40
16.2 Hidrólisis Química	41
16.3 Hidrólisis ácida	41
17. Fermentación	43
18. Tipos de Fermentación	43
19. Levadura saccharomyces cerevisiae	45
20. Factores que afectan el desempeño de los microorganismos en la producción de bioetanol	46
GLOSARIO DE TERMINOS	47
SISTEMA DE VARIABLES	51
NORMATIVAS Y ASPECTOS LEGALES	54
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	56
NATURALEZA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	56
METODOLOGÍA	57
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	57
POBLACIÓN Y MUESTRA	58
TÉCNICA, INSTRUMENTOS Y MATERIALES APLICADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS.	59
Descripción de las actividades para cumplir con los objetivos planteados	61
CAPÍTULO IV: ANALISIS DE LOS RESULTADOS	77
OBJETIVO I	77
OBJETIVO II	80
OBJETIVO III	85
OBJETIVO IV	
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
CONCLUSIÓN	95
RECOMENDACIONES	96
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	98
ANEXOS	99

LISTA DE FIGURAS.

FIGURA N°1- Imagen satelital de la ubicación de los laboratorios	22
FIGURA N°2- Estructura de la celulosa y la D- glucosa	34
FIGURA N°3- Estructura de los polímeros que posee la hemicelulosa	35
FIGURA N°4- Estructura de la lignina	35

FIGURA N°5- Proceso de la obtención de bioetanol a partir de hojas secas de árbol de caoba	37
FIGURA N°6- Proceso de la obtención de bioetanol a partir de hojas secas de árbol de caoba	58

LISTA DE TABLAS.

Tabla N°1- Comparación de las propiedades físico-químico del bioetanol y la gasolina	26
Tabla N°2- Diferentes materias primas para la obtención de bioetanol y su producción potencial.	33
Tabla N°3- Mapa de variable	52
Tabla N° 4 Sinopsis de la recopilación de datos (objetivo n°1)	60
Tabla N° 5 Sinopsis de la recopilación de datos (objetivo n°3)	60
Tabla N° 6 Sinopsis de la recopilación de datos (objetivo n°4)	61
Tabla N°7 Recopilación de información de los pretratamientos aplicados en diversos estudios.	78
Tabla N°8: Resultados de la materia prima antes y después del lavado, secado y molido	80
Tabla N°9: Resultados de prueba %Humedad	81
Tabla N° 10: Resultados de la Hidrólisis ácido diluido	81
Tabla N°11: Lavado del sólido de cada muestra	81
Tabla N° 12: Resultados del volumen obtenido de la filtración de las muestras y los lavados después de la hidrólisis.	82
Tabla 13: Resultados de la Neutralización de la Solución ácida	82
Tabla N°14: %Azúcares Reductores	84
Tabla N°15: ° BRIX medidos antes de la fermentación	85
Tabla N°16 Resultado de la fermentación	86
Tabla N°17: Resultados de la evolución del °Brix y pH durante la fermentación de las soluciones	86
Tabla N°18: volumen fermentado y destilado	89
Tabla N°18: Resultados y datos del caudal (Q) de la M1	90
Tabla N°19: Resultados y datos del caudal (Q) de la M2	90
Tabla N°20: Resultados y datos del caudal (Q) del L1	90



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA DE CIENCIAS BASICAS Y APLICADAS
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

**OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO
DISPONIBLE EN LA SEDE UNELLEZ BARINAS, 2023.**

AUTOR(AS):

Alvarado Helen

C.I.27.216.567

Rodríguez Elsimar

C.I.27.881.480

TUTOR ACADÊMICO:

Ing. Gericksson Devies

Marzo, del 2023

RESUMEN

El presente trabajo de grado, consiste en la obtención de bioetanol a través de materia lignocelulósica, usando como materia prima hojas secas de árbol de caoba. Dentro la parte experimental del proceso primeramente se realizó un acondicionamiento de la materia prima en el cual se incluye el lavado, secado y reducción de tamaño de la materia prima, luego llevamos al proceso de hidrólisis con una temperatura dada de 90 °C, la solución para la hidrólisis Acida. Se realizó con HCl (ácido clorhídrico) al 4% de 1.30 M. La hidrólisis fue sometida durante 1.5 y 2 horas. En el hidrolizado obtuvimos un líquido que corresponde a los azúcares reductores y un sólido que es la lignina y celulosa que no reaccionó, por medio de una filtración al vacío se realizó la separación de la lignina, para luego realizar la neutralización de las muestras hidrolizadas con solución de NaOH (Hidróxido de Sodio) al 4% 3N, esto se realizó con el objetivo de regular el pH a un nivel $\leq 5,3$. Una vez listo las muestras la solución se mezcló con la levadura *Saccharomyces Cerevisiae* al 14% del 100%, del peso total de los azúcares reductores totales cuantificada en cada muestra, se llevó a cabo en un medio aislado a una temperatura 30°C por un lapso de 8 días, controlando el pH ya que es de suma importancia para determinar si las muestras están listas para la destilación y los °Brix, así como también las muestras fueron agitadas diariamente por 20 minutos, para tener activas las levaduras. Finalmente se logró obtener el bioetanol por destilación a 78°C, con un grado alcohólico 20 GL°.

Palabras clave: biomasa, bioetanol, biocombustibles, residuos lignocelulósicos.

E- mail de los autores:

- elsimardelcarmenrodriguezcaste@gmail.com,
- helen03alvarado@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El cambio climático global es una realidad y uno de sus principales orígenes está en la quema indiscriminada de combustibles fósiles, lo que ha incrementado los niveles de CO₂ atmosférico, por lo tanto se hace necesario un cambio de mentalidad que disminuya la explotación de los recursos energéticos no renovables, desarrollando un nuevo modelo de aprovechamiento energético en armonía con el medio ambiente, a partir de un mayor protagonismo de las energías renovables, eficientes, económicas y poco contaminantes. Evidentemente, una de las más importantes aplicaciones de la biotecnología moderna, es la utilización de residuos orgánicos de la actividad humana y de materiales renovables para producir biocombustibles más limpios como el bioetanol, factibles de ser empleados como sustitutos de los combustibles fósiles.

Según Rosillo C. & Walter, (2006), afirmaron que en los últimos años más de treinta países han estado estimulando la implementación de programas, para promover el uso de bioetanol. No cabe duda, que el bioetanol es un producto que está habilitando posibilidades de mitigación frente a problemáticas económicas y ambientales presentadas en todo el planeta y, aunque su aplicación fue sugerida por Henry Ford a comienzos del siglo pasado, fue descartado y reemplazado por la incursión de los combustibles de origen fósil, considerados en el momento, como de mejor viabilidad económica.

Posteriormente, el uso de combustibles de base biológica permite reducir de manera importante la acumulación de gases de efecto invernadero y la dependencia a combustibles fósiles. De hecho el bioetanol puede ser obtenido mediante la fermentación de los azúcares solubles provenientes de materiales vegetales ricos en azúcar y mediante el uso de levaduras y bacterias. Simultáneamente, el alcohol de segunda generación (llamado así por la fermentación de azúcar obtenido a partir de biomasa vegetal), ha sido señalado como el sustituto inmediato del crudo y a diferencia de este, puede obtenerse de manera continua y renovable. Una alternativa atractiva es la producción a partir de materiales lignocelulósicos, ya que estos no compiten directamente con los alimentos destinados al consumo humano y animal, y

por ende permiten aprovechar grandes cantidades de biomasa que generan los procesos agroindustriales.

La gran biodiversidad vegetal con la que cuenta nuestro país puede ser aprovechada para la obtención de la materia prima además que se representa una fuente de empleo, promueve una mejora económica y tecnológica en distintos niveles. En virtud de esto este trabajo se propuso con el objetivo de obtener bioetanol a partir de material lignocelulósico, utilizando los residuos que se obtienen de los operativos de limpieza de la universidad como materia prima para elaborar el biocombustible, evidenciando así las potencialidades agroindustriales de este residuo vegetal, el cual representa poca contaminación ambiental, teniendo en cuenta que es un producto innovador porque puede reemplazar a otros productos que generalmente se utiliza como combustible, tal como la gasolina. En este mismo sentido, el bioetanol es ampliamente utilizado para el sector transporte en muchas partes del mundo preferido por el alto número de octano ya que tiene alrededor de 110 octanos.

A fin de realizar un desarrollo adecuado de la investigación, el estudio se estructura en cinco (V) capítulos, donde se describe y ejecutan las etapas que permiten llegar al cumplimiento de los objetivos deseados; la organización se encuentra estructurada de la siguiente manera:

En el capítulo I, se plantea el problema, los objetivos, la justificación, alcances y limitaciones de la investigación.

En el capítulo II, se presenta el marco contextual, área de la investigación, exponiéndose los antecedentes de la investigación, marco teórico, sistema de variables, mapa de variables, normativa y aspectos legales.

El capítulo III, está definido por el marco metodológico, metodología, nivel y diseño de investigación, la población y muestra seleccionada, las técnicas e instrumentos de recolección de datos y procedimientos.

En el capítulo IV, se muestran los resultados obtenidos de las técnicas e instrumentos aplicados, así como también los análisis técnicos para llegar a las conclusiones del trabajo especial de grado (TEG).

Finalmente, en el capítulo V, se presentan las conclusiones y las recomendaciones del TEG.

Producción no convencional de bioetanol.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El sector mundial de transporte casi depende en su totalidad de los combustibles líquidos a base de petróleo, siendo este sector responsable del 60% del consumo de éste combustible fósil, generando más del 70% de las emisiones globales de monóxido de carbono (CO) y 19% de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂), (Balat, 2011), además de otros componentes gaseosos como metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonados, perfluorocarbonados; provocando así los llamados gases de efecto invernadero, directamente relacionado con el calentamiento global, al cual se le atribuyen problemas ambientales tales como desabastecimiento de agua dulce por derretimiento de glaciares, aumento del nivel del mar, largas sequías, muerte de barreras coralinas, aumento de la frecuencia e intensidad de huracanes ente otras (Laine, 2009).

En consecuencia, la utilización de los biocombustibles, se plantea como alternativa viable a los hidrocarburos fósiles por su sostenibilidad, disponibilidad, desarrollo regional, empleo rural, reducción de gases de efecto invernadero, etc. Según Limayem & Ricke, (2012), entre los biocombustibles, el bioetanol es ampliamente el más utilizado para el sector transporte en todo el mundo, preferido por el alto número de octano (108), previniendo así la ignición temprana, lo que conduce a golpes de cilindro, al mismo tiempo eleva la relación de compresión y produce menores emisiones, adicionalmente los combustibles oxigenados como el bioetanol proveen un valor antidetonante razonable (Celik, 2008).

No obstante, Von Braun (2008) hace mención que existen impactos negativos con el auge en la producción de biocombustibles, a razón de que estudios revelan el significativo incremento de los precios de los alimentos en el mercado internacional, ligados al aumento de la producción de biocombustibles basados en cultivos, produciendo un efecto de competencia, arriesgando la seguridad alimentaria de millones de personas en el mundo. Del mismo modo otros autores (Fargione, Hill, Tilman, Polasky, & Hawthorne, 2008) sostienen que la utilización de materia prima

para doble propósito; alimentos y generación de biocombustibles, obliga a expandir nuevos terrenos, resultando en pérdida de ecosistemas naturales

Por consiguiente, debe conducirse el aumento en la demanda hacia el bioetanol de segunda generación derivado de tecnologías de conversión basado en materias primas lignocelulósicas, esto debido a su bajo costo y abundancia, convirtiéndolo en el mayor recurso renovable en el mundo, además dos terceras partes de la materia seca son celulosa y hemicelulosa, polisacáridos que pueden ser hidrolizados a azúcares por medio de pretratamientos y luego fermentado a bioetanol por microorganismos (Li et al., 2012).

De esta manera, el pretratamiento se convierte en un factor clave en el éxito de la tecnología de bioetanol lignocelulósico, sin embargo las condiciones operacionales empleadas en esta etapa (altas temperaturas, medios ácidos, etc.) facilitaría la formación de compuestos inhibidores, como los derivados del furano, productos de degradación de la lignina y ácidos, afectando la fermentación y los rendimientos de etanol, causado por la toxicidad de estos compuestos sobre los organismos fermentativos que inhiben su metabolismo, reduciendo la eficiencia en la utilización de azúcares. Para el caso de los amiláceos, así su contenido sea más fácil de degradar, el hecho de aplicar métodos de pretratamiento para acceder a los azúcares fermentables, puede formar compuestos inhibidores, generando posiblemente efectos adversos en el proceso fermentativo (Mussatto & Roberto, 2004)

Por su potencial energético ha sido aprovechada desde tiempos remotos por numerosos organismos, lo que ha llamado la atención de los biotecnólogos que estudian procedimientos para utilizarla (Galbe & Zacchi, 2007). A nivel mundial, la producción de biocombustibles viene adquiriendo una importancia creciente. Entre sus principales causas se destacan el ascendente nivel de los precios del petróleo, y la necesidad de disminuir la contaminación ambiental y las emisiones de carbono que llevan al calentamiento global. Es por ello, que a partir de la crisis del petróleo de los años 70 el estudio de la hidrólisis de la celulosa pasó a ser una línea de investigación prioritaria en varios países del mundo, siendo uno de estos los Estados Unidos, Canadá y Reino Unido (Bai et al., 2008; Slade et al., 2009). En este mismo sentido en Venezuela también se han implementado estudios basado en la hidrólisis de la

celulosa de hecho en el año 2012, en el estado Zulia tuvo relevancia una investigación de hidrólisis ácida diluida en dos etapas en la cual utilizaron como materia prima el bagazo de caña de azúcar, el objetivo de este estudio estuvo enfocada en obtener azúcares fermentables mediante el proceso de hidrólisis a fin de generar biocombustibles que generen menos contaminación ambiental. Sin embargo, el interés de muchos países en el financiamiento de esta línea de investigación decreció en los años 80; ya que fue descartado y reemplazado por la incursión de los combustibles de origen fósil, considerados en el momento, como de mejor viabilidad económica. Cabe destacar, que en la actualidad el empeño de microbiólogos, bioquímicos y genetistas en resolver las incógnitas planteadas ha permitido continuar con diversos proyectos orientados en la obtención de biocombustibles a partir del proceso de hidrólisis.

En virtud de esto, es importante estudiar las operaciones que se formen para la obtención de bioetanol a partir de material lignocelulósico, a fin de evaluar el efecto de dichos compuestos en el proceso de fermentación e identificar las mejoras a través del desarrollo de pretratamientos adecuados o de optimización de las estrategias de fermentación, para así convertir esta clase de biocombustible en una alternativa sostenible técnica y económicamente, además de ambientalmente aceptable, en vista de que estas materias primas, en especial los lignocelulósicos, entre los que se encuentra el bagazo de caña panelera, tienen el potencial de producir más de 442 billones de litros de bioetanol por año en el mundo (Balat, 2011).

Para la ejecución de todo lo antes mencionado sin duda surgen las siguientes interrogantes:

- ✚ ¿El material de desecho producto del mantenimiento de las áreas verdes de la universidad es una buena fuente de material lignocelulósico para la producción de bioetanol?
- ✚ ¿Cuál será el método de pretratamiento más adecuado para obtener el bioetanol?
- ✚ ¿Qué cantidad de bioetanol se podrá obtener de los residuos de mantenimiento de las áreas verdes de la UNELLEZ en Barinas?
- ✚ ¿Es necesario determinar rendimiento del proceso empleado?

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVO GENERAL

Elaborar bioetanol partiendo del material lignocelulósico disponible en los residuos del mantenimiento de las áreas verdes de la UNELLEZ en Barinas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Recopilar información sobre los métodos de pretratamientos aplicables al material lignocelulósico (residuos forestales), en la obtención de bioetanol.
2. Aplicar el pre-tratamiento más factible para el desarrollo del proceso fermentativo del material lignocelulósico.
3. Producir bioetanol a escala de laboratorio partiendo del material lignocelulósico.
4. Establecer el rendimiento del proceso empleado en la elaboración del bioetanol.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto nace como una iniciativa a fin de generar una fuente de energía que permita reducir de manera importante la acumulación de gases de efecto invernadero y la dependencia de combustibles fósiles, ya que el petróleo y sus derivados, representan la principal fuente de energía usada en la actualidad a nivel mundial; este debe ser extraído de la naturaleza, pero su disponibilidad no es uniforme en el mundo; siendo un recurso no renovable y relativamente escaso, trayendo como consecuencia que la producción no sea suficiente para satisfacer la demanda mundial, lo que se ve reflejado en los precios y el deterioro del medio ambiente.

Por el contrario el uso del bioetanol como fuente de energía se ha convertido en un tema amplio de investigación mundial, y su producción ha aumentado notablemente en los últimos años. En este sentido, el bioetanol se perfila como un recurso energético potencialmente sostenible, de alta viabilidad técnica, que puede ofrecer ventajas medioambientales y económicas a largo plazo en contraposición al uso del petróleo. De hecho, el bioetanol puede ser obtenido de diversas fuentes: melazas, ingenios azucareros, granos y de materiales lignocelulósicos, considerando que este último tiene la ventaja de ser biodegradables y renovables, siendo el resultado del proceso de fotosíntesis de los vegetales mediante la energía solar. Bajo este enfoque, su empleo como fuente alternativa de energía, ya que representa una forma sostenible y amigable con el medio ambiente de aprovechamiento de la energía solar. Por lo tanto la investigación actual se orienta en los denominados biocombustibles de segunda generación, obtenidos a partir de material lignocelulósico, tal y como lo son los residuos que se obtienen de los operativos de limpieza de la universidad.

Es de hacer notar, que el bioetanol es un producto que está habilitando posibilidades de mitigación frente a problemáticas económicas y ambientales presentadas en todo el planeta, ya que es un combustible de origen vegetal que tiene como materia prima diferentes tipos de plantas, todas ellas ricas en azúcares, asimismo representa una fuente de energía renovable y por lo tanto es inagotable.

ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES

El presente Trabajo Especial de Grado tiene como objetivo, elaborar bioetanol utilizando los residuos que se generan de los operativos de limpieza de la Universidad como materia prima para elaborar el biocombustible, dicha materia prima son residuos forestales, buscando con este producto una fuente de energía que generen nuevas innovaciones económicamente rentables y ecológicamente favorable. Con el fin de lograr un óptimo aprovechamiento de la materia prima además de su trascendental importancia sobre todo por el impacto ambiental.

LIMITACIONES

Según Arias (2012), las limitaciones de un proyecto investigativo “son obstáculos que eventualmente pudieran presentarse durante el desarrollo del estudio y que escapan del control del investigador” (p. 10). De esta manera, una de las limitaciones que se presentaron durante la ejecución del proyecto de investigación son: la falta de agua en el laboratorio para el lavado de la materia prima, así como también la falta de algunos reactivos específicamente el H_2SO_4 . Adicionalmente, otra de las limitaciones fue la falla de energía eléctrica, ya que en ocasiones hubo cortes eléctricos que dificultaron el avance del estudio.

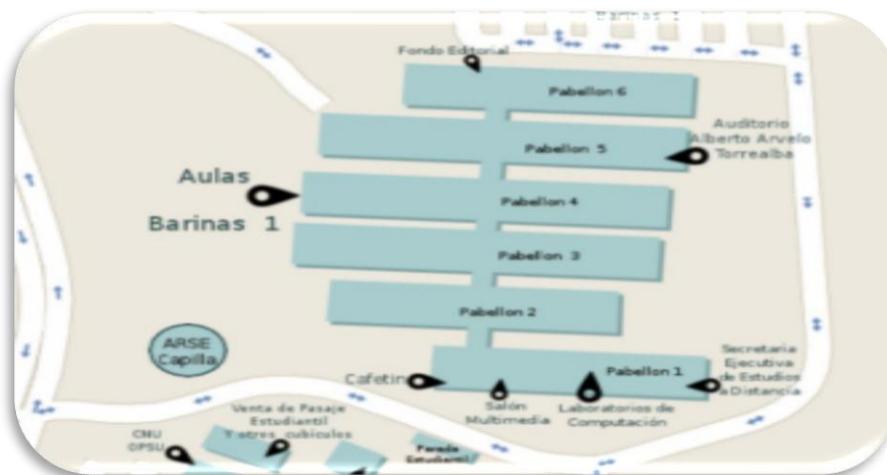
CAPÍTULO II

MARCO CONTEXTUAL

ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente Trabajo Especial de Grado se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, Vicerrectorado de Planificación y Desarrollo Social (UNELLEZ VPDS), en el Estado Barinas, Venezuela, específicamente en el laboratorio de fitoquímica y el laboratorio de calidad de aguas.

Figura N°1: Imagen satelital de la ubicación de los laboratorios.



ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Alvarado (2021). “Obtención de bioetanol a partir del bagazo de caña de azúcar mediante hidrólisis enzimática”. CUENCA-ECUADOR. En el presente trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental, se realizó varios procesos donde se utilizó el bagazo de la caña de azúcar un residuo lignocelulósico, producido por las industrias agrícolas con el fin de obtener bioetanol a partir de la celulosa presente en él ya que las celulosas presentes en el bagazo no pueden ser fermentadas de manera directa se realizaron diferentes procesos para convertirla en azúcares más simples para su posterior conversión en alcohol. Este proyecto de investigación fue escogido con la idea de que el residuo

agroindustrial conocido como bagazo de caña de azúcar y que no representa una afectación a la seguridad alimentaria sea empleado para producir bioetanol siendo una alternativa muy interesante como por ejemplo, para minimizar los gases de efecto invernadero difundido en la atmósfera.

Vázquez (2019) Ecuador. “Obtención de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica presente en la cascarilla del arroz para ser utilizado en equipo motorizados”. CUENCA- ECUADOR. Tomando en cuenta este trabajo de grado para optar por el título de Ingeniería Ambiental, el cual tuvo como objetivo establecer un tratamiento y procesamiento que nos permita obtener bioetanol a partir de la celulosa presente en este residuo, se realizó un proceso utilizando la hidrólisis ácida, la hidrólisis enzimática y la fermentación. Finalmente al combustible obtenido se le realizó pruebas físicas y químicas para cuantificar la cantidad de alcohol obtenido y determinar su calidad. La cascarilla de arroz constituye un residuo agrícola con bajo valor útil, lo que supone que su obtención tenga un costo muy bajo. Dichos residuos podrían ser aprovechados, utilizándolos como materia prima para la producción de bioetanol combustible. Debido a la abundante generación y acumulación de cascarilla de arroz, han sido varias las investigaciones de aprovechamiento en ámbitos como la generación de biocombustibles, para intentar suplir a los combustibles fósiles.

Ventura (2020) Tarija-Bolivia “obtención experimental de bioetanol a partir de material lignocelulósico de residuos del maíz amarillo (marlo u olote)”. Este trabajo de grado le permitió optar al grado académico de licenciatura en Ingeniería Química, que consiste en la obtención de bioetanol a través de materia lignocelulósica. Al hablar de bioetanol es imprescindible hablar de biocombustibles siendo Brasil en 1975 con la crisis del petróleo que empezó a producir con el objetivo de reemplazar a la gasolina, hoy en día Brasil es el mayor productor de bioetanol a nivel mundial con 15.098 millones de litros seguido de EE.UU. con 12.907 millones de litros teniendo como materia prima la caña de azúcar, sorgo y maíz. El bioetanol se obtiene a partir de la fermentación de los

azúcares, dentro de la investigación siendo el de 2G (segunda generación) el que no afecta al consumo humano, como el mazo del maíz u olote contiene celulosa, hemicelulosa y lignina; siendo la celulosa que se llega a usar como azúcares para la fermentación. En el proceso existen distintos métodos para la obtención de bioetanol teniendo un mejor resultado en costo, rendimiento y tiempo de obtención el método de hidrólisis ácida diluida. Todas estas políticas tanto a nivel internacional como nacional es con un solo objetivo. Fuera de buscar nuevas fuentes de energía y reemplazo al petróleo, es de tener mayor conciencia con la naturaleza y llegar a tener combustibles más amigables con el planeta.

MARCO TEÓRICO

La necesidad de desarrollar alternativas energéticas se ha acelerado debido a la crisis energética mundial y a los problemas ambientales que acarrear muchos de los recursos que se utilizan actualmente. En consideración a esto, Monroy, Narváez, Vera, & Bautista, (2017), definen que el bioetanol o etanol lignocelulósico es un biocombustible generado a través del proceso de fermentación de compuestos orgánicos que contienen una gran cantidad de azúcar, existen también plantas que están compuestas por grandes cantidades de celulosa, la cual a través de un correcto proceso pueden ser transformadas en azúcares fermentables para la generación de bioetanol.

El bioetanol generado a través de los azúcares almidones y material celulósico presenta ciertas características entre las cuales destacan ser un alcohol incoloro e inflamable, además puede ser empleado como combustible biodegradable de alto octanaje (Puc Blanco, 2017).

Fórmula química del bioetanol o etanol: **C₂H₅OH**

VENTAJAS DEL USO DEL BIOETANOL.

- **Fuente de combustible limpia y renovable:** ya que emite entre un 40 y un 80% menos de gases promotores del efecto invernadero que los combustibles fósiles, mejora la calidad del aire en zonas urbanas y no contamina el agua.
- **Mejora del índice de octanos:** con un bajo costo.
- **Mejora la biodegradabilidad de la gasolina:** cuando se utiliza mezclado con esta.
- **Reduce la toxicidad de la gasolina:** su mezcla con la gasolina permite la reducción del número de compuestos aromáticos, reduciendo por tanto las emisiones de benceno a la atmósfera. Su uso como aditivo a la gasolina, además genera menos monóxido de carbono.
- **Es un combustible fácil de producir y de almacenar:** es menos inflamable que la gasolina.
- **Bajo costo económico:** reduce el costo general de controlar la contaminación del motor y por lo tanto requiere menos mantenimiento

USOS DEL BIOETANOL COMO BIOCARBURANTES.

Existen tres formas de utilizar el etanol como biocarburos. La más utilizada de esta es cuando el bioetanol se emplea en mezclas con gasolinas convencionales para sustituirla como carburante en mayores o menores proporciones; no sustituye totalmente a la gasolina, ya que esta le da la mezcla de estabilidad y resta la volatilidad. Las mezclas pueden ser de E5, E10, E20 y hasta E95 (PC., 2012), indicando en números el porcentaje de etanol empleado en la mezcla: en medida que se aumenta el contenido de etanol en la mezcla se reduce el impacto contaminante, ya que libera menos CO₂.

Otra manera de poder utilizar el bioetanol como combustible es modificar las características del motor del vehículo para usar mezclas con mayor contenido de etanol. La tercera estrategia es utilizar el bioetanol como un aditivo sustituyendo el metil terbutil éter (MTBE) que es un aditivo utilizado para incrementar el nivel de octanaje en la gasolina común pero que es altamente contaminante.

Tabla N° 1: Comparación de las propiedades físico-químico del bioetanol y la gasolina.

PARÁMETRO	UNIDAD	ETANOL	GASOLINA
Fórmula	-	CH ₃ -CH ₂ OH	C _n H _m (n=4/12)
Peso molecular	Kg/mol	46.07	100/105
Oxígeno	% en peso	34.80	0
Solubilidad en agua	%	100	0.1
Calor latente de vaporización	KJ/Kg	850	330
Temperatura de ebullición	°C	78	30/215
Temperatura de fusión	°C	-114	-
Poder calorífico inferior	KJ/Kg	28.225	43.500
Relación estequiométrica aire/combustión	-	9.0	14.5
Temperatura de ignición	°C	420	220
Punto de inflamabilidad	°C	13	-43
Límite de explosividad	%	3.3 a 19	1.2 a 7.6
Índice RON (n° de octanos en ciudad)	-	120/135	95/98

Fuente: Recopilado por autores.

De estos datos se desprenden que algunas propiedades del bioetanol son mejores que la gasolina. Así, su mayor octanaje dará lugar a una mayor capacidad antioxidante que la gasolina, y su mayor volatilidad (expresada en T° de ebullición y tensión de vapor), hace que la mezcla con el aire sea más rápida y homogénea en la carburación, y que el proceso de combustión sea mejor que el que se obtiene con la gasolina.

BIOCOMBUSTIBLES.

De acuerdo a Serrano- Ruíz & Luque, (2011). Son aquellos combustibles obtenidos directa o indirectamente a partir de la biomasa y que, por tanto, son considerados una energía renovable. A lo largo de los años los combustibles fósiles como carbón, gas natural y petróleo han representado el mayor surtidor de energía en el mundo con un 85% de la energía total consumida, los biocombustibles representan una alternativa potencial frente al petróleo ya que es una fuente de carbón orgánico aprovechable en la Tierra.

El 98 % de las emisiones de carbono son producto de la ignición de energía fósil, la creación de biocombustibles como etanol, metano, hidrógeno y biodiesel son una gran fuente renovable para lugares en donde los combustibles derivados del petróleo no se

encuentran a disposición (Fernández-Linares, Montiel-Montoya, Millán-Oropeza, & Badillo-Corona, 2012).

Sin embargo, Salinas Callejas & Gasca Quezada, (2009), plantea que los biocombustibles son aquellos biocarburantes obtenidos a partir de cualquier tipo de materia orgánica conocida como biomasa de origen animal o vegetal, es decir son todos los alcoholes, éteres, ésteres y otros productos químicos generados por materiales conformados por celulosa liberada de las plantas y que pueden llegar a sustituir en mayor o menor porcentaje el uso de la gasolina. Los biocombustibles son compuestos químicos que contienen un gran contenido energético a partir de procesos de biomasa de organismos vivos y como resultado pueden encontrarse en estado sólido, líquido o gaseoso (Plaza Lázaro & García Cubero, 2017).

CLASIFICACIÓN DEL BIOCOMBUSTIBLE DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS.

➤ Clasificación según su estado:

- **Biocombustibles sólidos.**

Se consideran biocombustibles sólidos a aquel combustible sólido, no fósil, compuesto por materia orgánica de origen vegetal, animal, o producida a partir de la misma mediante procesos físicos, susceptible de ser utilizado en aplicaciones energéticas. Su origen engloba distintos sectores productivos desde los cultivos agrícolas o los aprovechamientos forestales, hasta los residuos producidos en industrias agroalimentarias o forestales.

- **Biocombustibles líquidos.**

Los biocombustibles líquidos (aceites y alcoholes) son una serie de productos de origen biológico que pueden sustituir a los derivados del petróleo, o bien pueden ser utilizados como aditivos para éstos en los motores. Este nombre hace referencia a los biocombustibles líquidos que proceden de materia prima producidas en el sector agrícola y que han sido transformadas hasta conseguir unas propiedades similares a las de los combustibles tradicionales. En la Unión Europea se les denomina, en muchas

ocasiones, biocarburantes, debido a que la mayoría de las veces su uso energético se destina al transporte. Aunque hay otros tipos de biocombustibles líquidos, los principales, reconocidos como tales por la legislación española actual, son el bioetanol y sus derivados, que sustituyen a la gasolina, y el biodiésel, que puede utilizarse, junto a, o en lugar del gasóleo. De hecho, el uso de los biocombustibles líquidos es igual de antiguo que el de los combustibles de origen fósil y como el de los motores de combustión.

- **Biocombustibles gaseosos.**

El proceso de digestión anaerobia ocurre de forma espontánea en la naturaleza, degradando la materia orgánica y produciendo, por ejemplo, el gas de los pantanos, el gas natural de yacimientos subterráneos, o incluso el gas metabólico producido en el estómago de los rumiantes. A partir de la primera crisis energética de principios de los años 70, y durante la segunda crisis del petróleo en la década de los 80, el interés por la tecnología de digestión anaerobia volvió a adquirir importancia como forma de recuperación energética en explotaciones agropecuarias y agroindustriales. No obstante, con la bajada del precio del petróleo, y al igual que sucedió con los biocombustibles líquidos, el interés por esta tecnología volvió a decaer, aunque algunos países como Dinamarca, han desarrollado importantes programas de desarrollo de plantas anaerobias a escala industrial, teniendo como objetivos principales la gestión de residuos ganaderos, la estabilización e higienización de los mismos, y el fomento de las energías renovables, para disminuir las emisiones netas de gases de efecto invernadero.

➤ **Clasificación según su generación.**

Según la naturaleza de la biomasa, los biocombustibles son clasificados en: biocombustibles de primera, segunda, tercera y cuarta generación.

- **Biocombustibles de Primera Generación.**

Se denominan así a todos aquellos que su metodología de generación es sencilla, estos son generados a partir de materiales azucarados, amiláceos, aceites vegetales o grasas de animales y son considerados como alternativas ambientales porque su ciclo

de plantación y cosecha se puede realizar indefinidamente con el respectivo manejo del suelo además de que ayudan en la batalla por un mejor planeta ya sea contra el cambio climático y la disminución de contaminación ambiental (Montero de la Cruz, 2017).

Una de las ventajas que presentan los biocombustibles de primera generación es la de su poder de adaptación a metodologías de punta existentes, las combinaciones de gasolina con etanol permiten un mejor rendimiento del motor, por otra parte una desventaja que presentan los biocombustibles de primera generación es en la parte ambiental por la crisis alimentaria y el impacto que genera la producción debido a que los biocombustibles son generados a partir de alimentos y también su competencia por la tierra que puede ser utilizada para los mismos (Salinas Callejas & Gasca Quezada, 2009).

La forma de la obtención de los biocombustibles de primera generación está dada principalmente por su planta de origen, si contienen un gran porcentaje de azúcares serán transformados en alcoholes por medio del proceso de fermentación, mientras que si son plantas el mayor porcentaje está representado por grasas o aceites, se emplea un proceso químico conocido como transesterificación en donde se combinaran los aceites con un alcohol para producir biodiésel (Ramos, Díaz, & Villar, 2016).

- **Biocombustibles de Segunda Generación.**

Son generados por medio de labranza no alimentaria como los residuos sólidos, paja de cereal, madera entre otros, al ser aprovechados de materia prima no alimentaria permiten un mayor desarrollo agroindustrial al igual que la posibilidad de generar combustibles propicios con los diferentes ecosistemas sin interferir con la generación de cultivos alimenticios (Montero de la Cruz, 2017).

La forma de obtención de estos biocombustibles está dada a través de residuos forestales y agrícolas que contienen un alto contenido de celulosa, lignina y su fases de producción está relacionada mediante las ramas de la bioquímica y la termoquímica, la primera de ellas emplea microorganismos para minimizar azúcares de la celulosa y posteriormente transformar los azúcares en biocombustibles (Ramos et al., 2016).

Una de las ventajas que presenta los biocombustibles de segunda generación es que se generan con tecnologías y materias primas nuevas, tal es el caso de la biomasa proveniente de la celulosa, si bien su estructura es difícil de descomponer y requiere de desarrollos tecnológicos. Entre las desventajas que presentan los biocombustibles de segunda generación están los grandes costos de manufactura, la producción a gran escala de etanol y celulosa son elevados a comparación con el de la gasolina (Salinas Callejas & Gasca Quezada, 2009).

- **Biocombustibles de tercera generación.**

Son obtenidos de la biomasa presente en el agua como las algas, la tecnología de generación de este tipo de biocombustibles requiere de parámetros muy controlados con respecto a la temperatura y fósforo, sin embargo pueden generar diversos combustibles como el biodiésel, butanol, gasolina, metanol, metano, entre otros (Montero de la Cruz, 2017).

Una de las ventajas que muestra la producción de estos biocombustibles es de que tienden a llegar a rendimientos óptimos de biomasa por unidad de superficie incluso mayores que los cultivos presentes en la tierra ya que pueden desarrollarse en demarcaciones no cultivables utilizando corrientes de agua residuales, aportando con la limpieza de las aguas mientras se desarrollan en el mismo hábitat (Plaza Lázaro & García Cubero, 2017).

Los biocombustibles de tercera generación son producidos por organismos como las algas ya que estos a su vez pueden generar su propio alimento aprovechando la energía solar y CO₂, las algas pueden ser cultivadas en piletas al aire libre luego pasan a ser secadas y posteriormente se extrae el aceite que está compuesto por células que pueden ser transformadas en biocombustible mediante el empleo de tecnologías (Ramos et al., 2016).

- **Biocombustibles de cuarta generación.**

Los biocombustibles de cuarta generación se basaran en materias primas que son inagotables, baratas y ampliamente disponibles. La cuarta generación va un paso más allá y lo que busca es modificar genéticamente los microorganismos para mejorar la

eficiencia en la captación y almacenamiento del CO₂. Estos biocombustibles tampoco se comercializan por el momento, aunque existen plantas piloto en Brasil y Estados Unidos

➤ **Clasificación de la biomasa según su procedencia.**

La biomasa se puede obtener de muchas formas diferentes, de acuerdo a sus procedencias.

- **Biomasa natural:** La biomasa generada sin intervención humana (caída de ramas de los árboles). Producida en los ecosistemas naturales, es una de las principales fuentes energéticas en los países en vías de desarrollo, no es la más adecuada para un aprovechamiento energético masivo, ya que puede originar una rápida degradación de los ecosistemas.
- **Biomasa Cultivada:** Para la producción de energía alterna se ha empleado biomasa cultivada con el propósito específico de producir energía térmica, eléctrica o mediante su transformación en biocombustibles. Existe una amplia variedad de cultivos alimenticios que se consideran cultivos energéticos. Esto causa una fuerte controversia ya que se plantea la cuestión del impacto de la producción de biocombustible en la disponibilidad y acceso a los alimentos. Aparte del aumento de precio por el uso de estos productos para fines no alimentarios, la mayoría de ellos requieren de una gran cantidad de energía para su plantación y cuidado anual, ya que implican requerimientos de suelo, fertilizantes, agua para su riego, además del costo de la materia prima. (Goldemberg, 2007; Ranalli & Di Candilo, 2007; Wyman, 1999).
- **Biomasa residual:** subproductos generados en diferentes actividades.
 - ✓ **Residuos forestales:** poda y rastrojos.
 - ✓ **Desechos agrícolas:** residuos generados en la industria forestal.
 - ✓ **Desechos industriales:** principalmente de la industria alimenticia. Se producen residuos sólidos y líquidos con alto contenido en azúcares y carbohidratos.
 - ✓ **Desechos urbanos:** basura orgánica.

BIOMASA

Monteiro Machado, (2010), dice que se denomina biomasa al conjunto de productos energéticos, componentes primarios que son generadas tomando como punto de partida los compuestos orgánicos que a su vez pueden ser utilizados para elaborar formas bioenergéticas para el consumo final como por ejemplo el carbón vegetal, el bio-gas, biocombustibles líquidos como el etanol y biodiésel entre otros.

La biomasa se precisa como una parte biodegradable ya sea de productos, desechos o residuos de procedencia animal o vegetal es decir que los recursos de biomasa provienen de distintas fuentes entre ellas se destacan actividades agrarias, silvicultura, industriales, acuicultura entre otras (De Lucas Herguedas, Del Peso Taranco, Rodríguez García, & Prieto Paniagua, 2012).

USOS DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA.

Por su potencial energético ha sido aprovechada desde tiempos remotos por numerosos organismos, lo que ha llamado la atención de los biotecnólogos que estudian procedimientos para utilizarla (Galbe & Zacchi, 2007).

A partir de la crisis del petróleo de los años 70 el estudio de la hidrólisis de la celulosa pasó a ser una línea de investigación prioritaria en países como Estados Unidos, Canadá, Reino Unido (Bai et al., 2008; Slade et al., 2009). El interés de los gobiernos en el financiamiento de esta línea de investigación decreció en los años 80; sin embargo, el empeño de microbiólogos, bioquímicos y genetistas por resolver las incógnitas planteadas ha permitido continuar con el proyecto de aprovechar la de diferentes formas.

Entre los principales productos que pueden obtenerse o recuperarse de la biomasa lignocelulósica se encuentran los azúcares fermentables, enzimas, furfurales, fenoles, metabolitos secundarios, fertilizantes y biocombustibles.

TIPOS DE BIOMASA PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL.

Existen diversos tipos de biomasa que pueden ser empleadas, una de las más utilizadas son los materiales azucarados como la remolacha y caña de azúcar en

donde el azúcar es extraída y fermentada a etanol utilizando microorganismos específicos, también se encuentran los amiláceos como el maíz en donde la materia prima debe ser molida e hidrolizada para generar azúcares fermentables (Guigou, 2011).

Tabla N° 2: Diferentes materias primas para la obtención de bioetanol y su producción potencial.

MATERIA PRIMA	PRODUCCIÓN POTENCIAL DE BIOETANOL (L/T)
Caña de azúcar	70
Remolacha azucarera	110
Boniato	125
Papa	110
Mandioca	180
Maíz	360
Arroz	430
Cebada	250
Trigo	340
Sorgo dulce	60
Bagazo y otras biomásas celulósicas	280

Fuente: (Guigou, 2011)

COMPOSICIÓN DEL MATERIAL LIGNOCELULÓSICO.

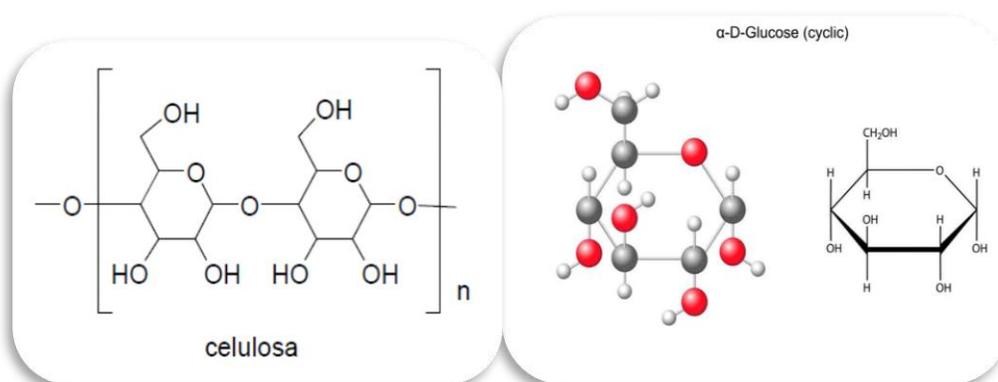
La composición de un material lignocelulósico varía dependiendo de muchos factores entre los que podemos citar: especie, clima, nutrientes, ubicación geográfica, entre otros. Es importante conocer la cantidad de celulosa contenido en los materiales lignocelulósicos, pues en ella principalmente se encuentra el potencial para generar biocombustibles.

Están compuestos principalmente de tres tipos diferentes de polímeros, celulosa, hemicelulosa y lignina envueltos en una compleja estructura. Este tipo de materiales son los más abundantes en la naturaleza. (Cortez, 2014).

CELULOSA.

Está conformada por subunidades de D-glucosa, unidas por b-1,4 glicosídicosmonosacàridos de gran importancia en la fermentación. La celulosa posee dos estructuras una cristalina (organizada) y otra amorfa. Las cepas de celulosa son “empaquetados” denominados fibrillas de celulosa. Estas fibrillas de celulosa son en su mayoría independientes y débilmente vinculados a través de uniones de hidrógeno (Castillo, Delgado, García, & Domínguez, 2012).

Figura N°2: Estructura de la celulosa y la D-glucosa.



Fuente: Rodríguez & Alvarado

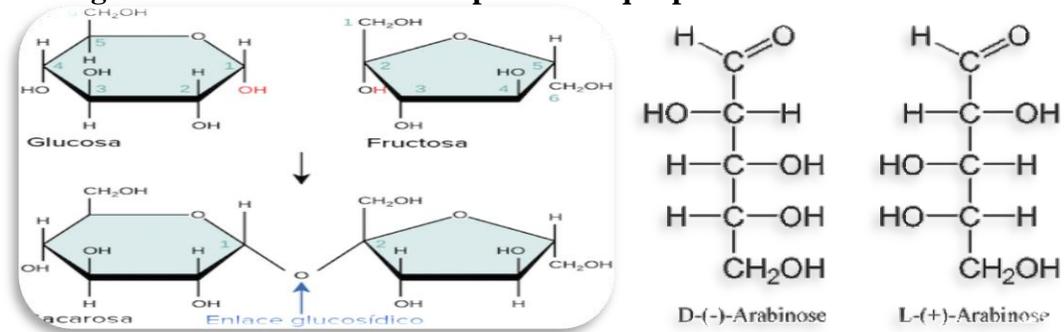
HEMICELULOSA

Carbohidrato complejo y heterogéneo ya que su estructura posee diferentes polímeros como pentosas (como xilosa y arabinosa) hexosas (como manosa, glucosa y galactosa), azúcar y ácidos, entrelazadas entre sí glucosídicamente. Muchas de ellas en la degradación hidrolítica, dan, junto a glucosa, manosa, galactosa, etc. La Hemicelulosa sirve de conexión entre la lignina y las fibras de celulosa y da toda rigidez a la red de celulosa, Hemicelulosa y lignina. (Castillo, Delgado, García, & Domínguez, 2012).

La hemicelulosa es el segundo polisacárido más abundante en la naturaleza. Está conformada por polímeros cortos y en general ramificados, incapaces de agregarse, y por tanto, susceptibles de hincharse, dispersarse fácilmente en agua por lo que resulta más fácil de hidrolizar que la celulosa. Su función principal en la pared vegetal es la de unir la celulosa y la lignina. Con base al grado de polimerización y el tipo de sustituyentes que la conforman, se han identificado dos tipos de hemicelulosa: en las maderas duras existe

mayormente en forma de xilanos, mientras que las maderas suaves contienen principalmente glucomano.

Figura N°3: Estructura de los polímeros que posee la hemicelulosa.

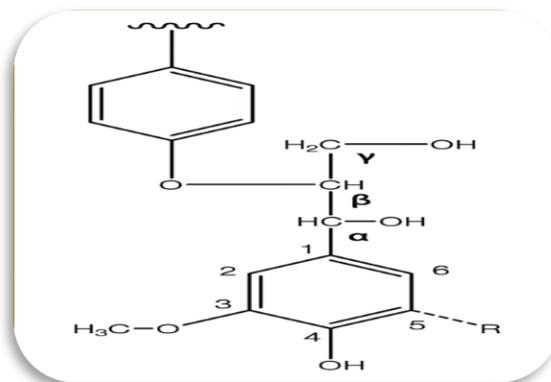


Fuente: Rodríguez & Alvarado

LIGNINA

Es un hetero polímero amorfo que consta de tres diferentes unidades de hetero polímero (Hetero polímero, conferir y sepaxil alcohol) que se mantienen unidos por diferentes enlaces. El hetero polímero amorfo no es soluble en agua y ópticamente inactivo; todo esto hace que la degradación de la lignina sea muy complicada. (Karafov, Cristina & Pagano, 2015).

Figura N°4: Estructura de la lignina.



Fuente: Rodríguez & Alvarado

LIGNOCELULOSA

La lignocelulosa es el material más abundante en nuestro planeta, ya que lo podemos encontrar en cualquier parte de las plantas, desde pastos, tallos, hojas, semillas, madera, etc. Se estima que la lignocelulosa representa cerca de la mitad de la materia producida por la fotosíntesis. La macromolécula de lignocelulosa está constituida por tres polímeros, siendo un polímero un conjunto de moléculas del mismo tipo unidas por enlaces químicos. Por ejemplo: Imagina una torre de legos roja, una verde y una azul, las cuales están unidas entre sí, ahora imagina que cada lego es una molécula que está unida a otra por medio de un enlace químico (un lego negro) formando la torre, o sea el polímero. Pues, algo semejante es la estructura de la biomasa lignocelulósica, la cual está compuesta en su mayoría, como ya se mencionó, por tres polímeros, los cuales estarían representados por cada torre de legos: lignina, hemicelulosa y celulosa.

MATERIAS PRIMAS LIGNOCELULÓSICAS.

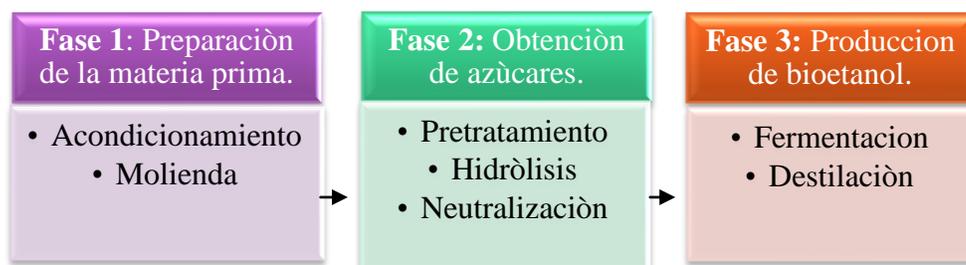
La extracción de azúcares de este tipo de materia prima es muy compleja, ya que la celulosa y la hemicelulosa (convertibles en bioetanol) están unidas estructuralmente a la lignina (no transformable en bioetanol) en la pared celular, por lo que será necesaria su separación. Además, algunos azúcares simples liberados en la degradación de la hemicelulosa (xilosa, arabinosa, manosa) presentan fermentaciones muy difíciles. El tratamiento al que es sometida la materia prima para romper la pared celular y separar los componentes hemicelulósicos y celulósicos de la lignina posee diversas modalidades en función a su naturaleza.

PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL

Por lo que se refiere al proceso de obtención del bioetanol de segunda generación, requiere de un proceso que se efectúa en distintas fases: empieza con la primera fase que consiste en la preparación de la materia prima respectivamente, para realizar el primer proceso de acondicionamiento y molienda de la materia luego la segunda fase para proceder a la obtención de azúcares, el cual se lleva a cabo la etapa de pretratamiento la cual puede ser tanto físico, físico-químico, químico o biológico. Una vez realizado este

proceso, la materia prima se somete a un proceso de hidrólisis de la celulosa y hemicelulosa así poder realizar la neutralización. Posteriormente la tercera etapa es la fermentación de los azúcares por medio del empleo de microorganismos de levaduras y, luego mediante destilación se procede a separar el bioetanol producto del material hidrolizado que no reacciona, para finalmente dar la obtención del bioetanol producido.

Figura N°5: Proceso de la obtención de bioetanol a partir de hojas secas de árbol de caoba.



Fuente: Rodríguez & Alvarado (2023)

PRETRATAMIENTO

Está destinado a modificar las propiedades físicas y fisicoquímicas del material lignocelulósico, como pueden ser el grado de polimerización y el estado cristalino de la celulosa. Tiene como objetivo el rompimiento del escudo de lignina que limita la accesibilidad de las enzimas a la celulosa y hemicelulosa, y altera el tamaño y estructura para facilitar la hidrólisis rápida y eficiente; puede llevarse a cabo mediante métodos físicos, químicos o biológicos. El éxito del pretratamiento se mide en función de la degradación de la lignina y la hemicelulosa como un indicador de la disociación de la matriz celulosa-lignina, la disminución de la cristalinidad y el aumento de la porosidad de la celulosa.

- **Pre-Tratamientos Físicos:** Tiene como objetivo reducir el grado de polimerización de la celulosa y la lignina, así como de aumentar la superficie accesible para las enzimas. Suelen ser ineficaces y poco rentables, como pueden ser la molienda y las técnicas de irradiación.

➤ **Pre-Tratamientos Químico:**

• **Pre-tratamiento en medio alcalino:** Los pre-tratamientos alcalinos son realizados mediante el uso de bases tales como hidróxido de sodio, potasio, calcio y amonio, los cuales son eficaces en la alteración de la estructura de la lignina, por lo tanto aumenta la accesibilidad enzimática a la celulosa y hemicelulosa y aumenta el tamaño del poro lo que facilita la difusión de las enzimas hidrolíticas. Suelen llevarse a cabo con NaOH al 8-12% (p/p), en el rango de 80-120°C y durante 30-60 minutos. Presentan algunas desventajas como son las pérdidas inevitables de un 30 a un 35% de la materia seca inicial.

• **Pre-tratamiento con ácido diluido:** Los ácidos como el H₂SO₄ y HCl concentrados son poderosos agentes que hidrolizan la celulosa, pero son tóxicos, corrosivos y peligrosos por lo que requieren reactores que resistan su corrosión. Estos pretratamientos se llevan a cabo comúnmente con ácido sulfúrico diluido, en proporción del 1 al 5% en relación a la biomasa lignocelulósica seca. Las temperaturas y los tiempos de pretratamiento varían según las técnicas utilizadas. El objetivo de este pretratamiento es aumentar la superficie de la celulosa accesible a los enzimas, gracias a la extracción de la fracción hemicelulósica. Sin embargo, tienen poco efecto sobre el grado de cristalinidad de la celulosa.

➤ **Pre-tratamientos Biológicos:** Los principales organismos que descomponen la lignina pertenecen al grupo de los hongos. Estos degradan los polímeros de la madera, incluyendo los componentes de la lignina, mediante la secreción de enzimas extracelulares. Las ventajas de la deslignificación biológica sobre otros métodos incluyen las leves condiciones de reacción, mayor rendimiento por productos y pocas reacciones laterales, menor demanda de energía y menor resistencia en el reactor a la presión y la corrosión. Sin embargo, la velocidad de la hidrólisis en la mayoría de los procesos de pretratamientos biológicos es muy baja y la dificultad de controlar las condiciones de

operación hace que no se conozcan ensayos a una escala superior al nivel de laboratorio.

- **Pre-tratamiento mecánico:** Consiste particularmente en el corte de la biomasa lignocelulosa en pedazos más pequeñas. El objetivo de un pretratamiento mecánico es la reducción en el tamaño de partículas así como de la cristalinidad. La reducción de tamaño de las partículas conduce a un aumento de la superficie disponible y una reducción del grado de polimerización. El aumento de la superficie específica, la reducción del grado de polimerización y el corte, son todos factores que aumentan el rendimiento de la hidrólisis total de la biomasa lignocelulosa.
- **Pre-tratamiento térmico:** Durante este pretratamiento la biomasa lignocelulosa se calienta. Si la temperatura aumenta por encima de 150-180°C, en primera instancia la hemicelulosa y poco después la lignina, comenzará a solubilizarse. Esta temperatura a 180°C es probablemente solo una indicación, ya que la reactividad térmica de la biomasa lignocelulosa depende en gran medida de su composición. Durante los procesos térmicos una parte de la hemicelulosa se hidroliza y forma ácidos. Estos mismos ácidos se supone siguen cristalizando la hidrólisis de la hemicelulosa.
- **Pre-tratamiento con vapor de agua:** Durante el pretratamiento con vapor la biomasa se pone en un recipiente grande, a altas temperaturas (hasta 240°C) y presión, durante unos minutos. Después de un tiempo el vapor se libera y la biomasa se enfría rápidamente. El objetivo de un pretratamiento con vapor o de explosión con vapor es solubilizar la hemicelulosa y así tener mejor acceso para la hidrólisis enzimática de la celulosa evitando la formación de los inhibidores. La diferencia entre el pretratamiento con vapor y la explosión con vapor, es que en este último hay una despresurización rápida y refrigeración de la biomasa al final del pretratamiento, lo que hace que el agua de la biomasa es que explote el material.
- **Pre-tratamiento con agua caliente:** En este caso el agua se encuentra líquida, el objetivo del pretratamiento es solubilizar principalmente la hemicelulosa para tener mejor acceso a la celulosa y evitar la formación de

inhibidores. Para evitar la formación de inhibidores, el pH debe mantenerse entre 4 y 7 durante el pretratamiento. Mantener este rango de pH minimiza la formación de los monosacáridos, y por lo tanto también la formación de productos de degradación que pueden seguir catalizando la hidrólisis del material celulósico durante el pretratamiento.

HIDRÓLISIS.

La hidrólisis es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química. Esta reacción es importante por el gran número de contextos en los que el agua actúa como disolvente (Morcilo, 1989). Este proceso se realiza para las materias primas de naturaleza amilácea y lignocelulósica.

➤ **Hidrólisis Enzimática**

La hidrólisis enzimática se realiza en condiciones leves, con un pH de 4.5-5.0 y temperatura 40-50 °C. Las ventajas que presenta con respecto a la hidrólisis química, son problemas de corrosión bajos y se tiene baja toxicidad de los hidrolizados. En la hidrólisis enzimática, la sacarificación de la celulosa se lleva a cabo enzimáticamente mediante celulasas, las cuales producen la ruptura de las cadenas poliméricas de la celulosa y la hemicelulosa, que previamente han sido modificadas estructuralmente en el pretratamiento. A partir de la celulosa se obtiene glucosa, mientras que a partir de la hemicelulosa se obtienen diferentes monosacáridos, tales como xilosa, glucosa, arabinosa, galactosa y manosa, entre otros. La principal ventaja de la hidrólisis enzimática sobre la química, es que la enzimática no presenta problemas de corrosión.

La hidrólisis enzimática es un método específico, realizado en condiciones relativamente suaves (50°C), que permite rendimientos de hidrólisis superiores a los obtenidos por vía química. El procedimiento más común consiste en poner en contacto la disolución de enzima con la muestra del sustrato lignocelulósico previamente pretratado, manteniendo el pH, la temperatura y la homogeneidad de la mezcla durante todo el proceso. Una vez determinadas las condiciones óptimas de

pH y temperatura, las posibilidades de optimización son bastantes limitadas. Los factores que afectan la hidrólisis enzimática de la celulosa incluyen: el tipo de sustrato, la actividad celulosa y las condiciones de reacción: temperatura y pH.

➤ **Hidrólisis Química.**

La hidrólisis química consiste en la exposición de los materiales lignocelulósicos a una sustancia química por un periodo de tiempo determinado y a una temperatura específica, resultando en la obtención de monosacáridos a partir de los polisacáridos (celulosa y hemicelulosa). Durante la hidrólisis química se producen compuestos extraíbles, los cuales son compuestos de los materiales lignocelulósicos que son solubles en disolventes orgánicos neutros o agua. Suelen representar una pequeña fracción (entre 1-5%) de los materiales lignocelulósicos, contienen un gran número de constituyentes tanto lipofílicos como hidrofílicos. Los extractos se pueden clasificar en cuatro grupos: (a) terpenoides y esteroides, (b) grasas y ceras, (c) los componentes fenólicos y (d) los componentes inorgánicos.

➤ **Hidrólisis ácida.**

En la hidrólisis ácida se emplea cualquier tipo de ácido concentrado o diluido, aunque en su mayoría, por razones económicas, se emplea de forma generalizada el ácido sulfúrico. El ácido disuelve los polisacáridos y los separa de la lignina. Después la celulosa y la hemicelulosa se hidrolizan al diluirse los ácidos, y al aplicar calor se obtienen azúcares fermentables. Esta metodología aunque proporciona velocidades de reacción rápidas destruye una gran cantidad de azúcares en el proceso y es costoso debido a su carácter corrosivo. Además la generación de productos de degradación durante la hidrólisis puede afectar a los microorganismos encargados de realizar la fermentación. Los ácidos son aplicados predominantemente en la hidrólisis química. La hidrólisis ácida puede ser dividida en dos grupos: (a) ácido diluido e (b) hidrólisis de ácido concentrado.

a) Hidrólisis ácido diluido:

Convencionalmente, la hidrólisis ácida diluida se realiza en dos etapas por las diferencias que existen entre la degradación de la celulosa y las hemicelulosas, la

primera etapa es un pretratamiento. El fraccionamiento de la celulosa se realiza a altas temperaturas para optimizar la hidrólisis de la celulosa.

La hidrólisis ácido diluido es una tecnología vieja de conversión de biomasa a etanol. Esta puede realizarse poniendo en contacto el material celulósico con una solución diluida de ácido sulfúrico a altas temperaturas por un tiempo determinado. Se realiza en reactor agitado o a flujo a contracorriente en un reactor estático en un corto tiempo, alta concentración de sólidos y altas temperaturas (240 °C).

b) Hidrólisis de ácido concentrado:

Según Di Pardo (2003) para tratar el producto lignocelulósico con el tratamiento de hidrólisis de ácido diluido, la biomasa se seca antes de la adición de ácido sulfúrico concentrado; posteriormente se adiciona agua para diluir el ácido y se calienta para liberar los azúcares para producir un gel que puede ser separado por residual sólido. Para la recuperación del ácido se pueden utilizar columnas cromatográficas que separan el ácido de los azúcares.

El Laboratorio de Energía Renovable Nacional (NREL) estima que la recuperación de ácido y el rendimiento de azúcares para el proceso de hidrólisis ácido concentrado debe proveer ahorros de 3,7 cent./litro de etanol y el ácido diluido 5 cent./litro de etanol. Algunos estudios usan para la hidrólisis el 100% del ácido reciclado. Los trabajos más notables fueron realizados por las autoridades del Valle de Tennessee que desarrollaron tecnologías para la conversión de materiales celulósicos a etanol combustibles en los años 50.

Entre las desventajas de estos procesos de hidrólisis acida figuran:

- La hidrólisis ácido diluido tiende a rendir una gran cantidad de subproductos.
- La hidrólisis ácido concentrado forma menos subproductos pero por razones económicas el ácido debe de reciclarse. La separación y reconcentración de ácido genera más complejidad al proceso, además el ácido sulfúrico es altamente corrosivo y difícil de manipular.

- Ambos procesos se realizan a altas temperaturas (entre 100-200 °C) lo cual puede degradar los azúcares, y se reducen las fuentes de carbono y se obtiene una disminución en el rendimiento a etanol.

FERMENTACIÓN

Es el proceso durante el cual los azúcares simples que se obtienen de las fases anteriores son transformados en bioetanol gracias a la acción de determinados microorganismos. El más común es la levadura natural (*Saccharomyces cerevisiae*), que presenta una actividad óptima a temperaturas de 33-35 °C a un pH ácido entre 3 y 5. Esta levadura acumula el bioetanol en su crecimiento hasta concentraciones del 11%.

TIPOS DE FERMENTACIÓN.

Existen numerosas técnicas de fermentación entre las que cabe destacar:

- **Fermentaciones discontinuas o por lotes (Batch).**

Son aquellas fermentaciones donde la formación del producto (etanol) está directamente relacionada con la utilización del sustrato (o caldo de fermentación). La fermentación comienza en condiciones aerobias, con crecimientos bajos de los microorganismos (que se están adaptando a las condiciones del caldo de fermentación) y, por tanto, sin producción de etanol. Posteriormente, cuando se agotan los nutrientes en el caldo de fermentación, y se da un efecto inhibitor de la concentración de etanol en el medio, se detiene el crecimiento de los microorganismos y, por tanto la producción de etanol.

- **Fermentación continúa.**

Este tipo de fermentación funciona como un sistema abierto. En el caso más simple se introduce una cantidad constante de alimentación al biorreactor compuesta por sustratos (azúcares), medio de cultivos nutrientes y oxígeno. Al mismo tiempo, se extrae una cantidad similar de producto compuesto por etanol, células y azúcar residual, de tal forma que se alcanza un estado estacionario deseable dentro del sistema. La productividad de los procesos continuos suelen ser tres veces mayor a la de procesos por lotes, pudiendo alcanzar hasta 6 g/l.hora. Además los costos del

biorreactor son menores en comparación a los procesos discontinuos y los requerimientos de mantenimiento son menores.

- **Fermentación fed- batch y fermentación semi-discontinua.**

Estas tecnologías se presentan como soluciones intermedias entre una fermentación en discontinuo (in batch) y en continuo, añadiendo los sustratos de forma escalonada al biorreactor, en intervalos particulares de tiempo. En la fermentación fed-batch, se realiza la alimentación intermitente con un sustrato nutritivo, que contiene los microorganismos. En la fermentación semi-discontinua se añaden periódicamente los microorganismos. Su aplicación a nivel industrial es todavía escasa.

- **Fermentación extractiva.**

Se lleva a cabo una extracción en continuo del bioetanol, que puede ser conseguida mediante diferentes alternativas:

- ✓ **Extracción liquido-liquido:** El medio fermentado se recoge en la cabecera del fermentador y se centrifuga. La levadura se recicla y el medio clarificado se mezcla con un solvente de extracción (polipropileno-glicol). posteriormente se decanta y se recupera el bioetanol por destilación.

- ✓ **Extracción con membrana:** El medio fermentado y prelavado en la cabecera del fermentador, pasa a lo largo de una membrana permeable al bioetanol y al solvente. En la actualidad hay tres tipos de membrana disponibles: ultrafiltración (permeabilidad en función de las dimensiones de las partículas), de destilación (permeabilidad en función del vapor de los compuestos) y de pervaporación en silicón o polidimetilsiloxano (permeables solamente al bioetanol). Los elevados costes de estas membranas limitan la utilización de este tipo de fermentación.

- ✓ **Extracción mediante evaporación en continuo (proceso *Vacuferm*):** La fermentación se efectúa a baja presión (30-50 mmHg) con una posterior evaporación en continuo del etanol a la temperatura de fermentación. Este método presenta elevados rendimientos, pero debido a su alto coste energético no se ha aplicado a nivel industrial.

- **Fermentación por diálisis.**

En este caso el reactor está dividido en dos cámaras separadas por una membrana impenetrable para las levaduras, pero permeable al sustrato y al bioetanol. Es una técnica poco rentable debido al alto coste de la membrana.

- **Fermentación alcohólica.**

Este tipo de fermentación se desarrolla de forma análoga para todas las producciones de la cadena del bioetanol, independientemente de la naturaleza de la materia prima empleada, salvo en el caso de materias lignocelulósicas, ya que la levadura natural no resulta eficiente en presencia de azúcares simples de difícil fermentación.

La fermentación alcohólica es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire, originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono (por regla general azúcares: como pueden ser por ejemplo la glucosa, la fructosa, la sacarosa, el almidón, etc.). Para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol, dióxido de carbono en forma de gas y unas moléculas de ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico. (Tejada, Marimon, & Medina, 2014). Cabe mencionar, que durante la fermentación alcohólica la glucosa es transformada en alcohol etílico y dióxido de carbono a través de reacciones de óxido reducción.

LEVADURA SACCHAROMYCES CEREVISIAE.

Las levaduras son cuerpos unicelulares, este tipo de levadura es el cuerpo usado frecuentemente para fermentar azúcares a bioetanol en los procesos industriales, ha demostrado ser arbusto en los procesos de los hidrolizados lignocelulósicos (Galbe, 2002). Es importante mencionar que la masa de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* necesaria para optimizar el proceso fermentativo, corresponde a un rango de 12-14% del 100% de azúcares reductores presentes en el sustrato, de acuerdo a lo indicado por (Hidalgo, 2010), no puede haber un exceso ni carencia de la misma, porque incurre en costos para el primer caso y bajos rendimientos para el segundo. Así mismo el tiempo de fermentación es de 5 a 15 días de acuerdo a la cantidad de sustrato presente en la muestra. (Tian, 2008).

FACTORES QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO DE LOS MICROORGANISMOS EN LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL.

Los procesos fermentativos, requieren de condiciones de operación que garanticen el buen desempeño de los microorganismos. El manejo de estos presenta ciertas dificultades, específicamente en las condiciones de medio de cultivo y del proceso de fermentación a nivel industrial. Así mismo los factores más importantes que afectan el desempeño de una cepa en un proceso de fermentación y la manera como a partir de estos fenómenos se generan criterios en la selección de microorganismos que optimicen la producción de etanol, son: inhibición por producto, temperatura, aireación y pH. (Sridhar, 2004).

• **Inhibición por producto:** A raíz del interés generado en la producción de etanol a altas concentraciones, se ha visto como este factor afecta el desempeño de los microorganismos fermentadores, causando inhibición en el crecimiento microbiano y la reducción en el rendimiento producto/sustrato. En general, una concentración de etanol mayor al 6% (p/v) tiene un efecto inhibitorio sobre todos los microorganismos. Las mayorías de las cepas toleran una concentración de 5.5% de etanol en el medio de cultivo. (Sridhar, 2004).

• **Temperatura:** La composición y la estructura de la membrana plasmática y la concentración de fosfolípidos se obstruyen cuando la bacteria alcanza una temperatura de 40 °C, lo cual conlleva a una pérdida de la integridad de la membrana. Posteriormente, la elevada temperatura resulta en la acumulación de etanol dentro de la célula, lo cual tiene un significativo efecto en la viabilidad de las células. En el caso de la levadura como las especies del género *Saccharomyces* la velocidad de producción de alcohol incrementa de forma estable hasta los 30°C y de forma suave hasta los 36°C, pero disminuye a temperaturas superiores a los 37°C. Algunas cepas son capaces de crecer a temperaturas por encima de los 37°C y son comúnmente llamadas como termofílicas, mientras que otras tienen una temperatura máxima superiores a los 45°C y son comúnmente llamadas termotolerantes. (Sridhar, 2004).

• **Condiciones de aireación:** Muchos microorganismos, tanto levaduras como bacterias, crecen en condiciones anaeróbicas y el oxígeno en exceso tiene un efecto negativo sobre la producción de etanol porque inhibe el consumo de sustrato y el crecimiento microbiano. A baja concentraciones de sustrato, las velocidades de crecimiento y el rendimiento de biomasa son independientes de la presencia de oxígeno, de forma opuesta, a altas concentraciones de sustrato, las velocidades de crecimiento y el rendimiento de la biomasa son independiente de la presencia de oxígeno, de forma opuesta, a altas concentraciones de sustrato, decrecen los parámetros de crecimiento. (Chandraraj, 2004).

• **pH:** La concentración de iones de hidrógeno es un factor muy importante que afecta en velocidad de crecimiento de célula. En un intervalo de pH entre 4 a 6 las levaduras, tanto la velocidad de crecimiento y el rendimiento se ven óptimamente favorecidas. Un cambio de pH del medio puede afectar la composición y la naturaleza de la superficie microbiana al disociarse ácidos y bases. (Fajardo y Sarmiento, 2007).

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Acidez:** Es la cualidad de un ácido. Pueden presentar características tales como sabor agrio, liberación de hidrógeno o pH menor que 7 (a 25°C). La escala más común para cuantificar la acidez o la basicidad es el pH, que solo es aplicable para disolución acuosa. Sin embargo fuera de disoluciones acuosas también es posible determinar y cuantificar acidez de diferentes sustancias.
- **Ácido Sulfúrico:** Es un compuesto químico extremadamente corrosivo y cuya fórmula es H_2SO_4 . Es un líquido aceitoso, incoloro y transparente, sumamente corrosivo. También se le llama ácido sulfínico, ácido de batería y sulfato de hidrógeno.
- **Amorfa:** Sin forma regular o bien determinada. Es decir, Que no tiene una forma definida.
- **Amilácea:** Que contiene almidón o que se parece a esta sustancia.
- **Bioenergética:** Parte de la biología que estudia las transformaciones y cambios de energía en los organismos y sistemas vivos.
- **Biodegradabilidad:** Es la capacidad que tienen las sustancias y los materiales orgánicos de descomponerse en sustancias más simples mediante la actividad (enzimática) de microorganismos.
- **Biodiésel:** Es por definición un biocarburante o biocombustible líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo la soja, la colza, y el girasol, las materias primas más utilizadas mundialmente para este fin. El Biodiésel es un biocombustible seguro, biodegradable, y produce menos contaminantes que el diésel a base de petróleo.
- **Combustible:** Es cualquier material capaz de liberar energía cuando se cambia o transforma su estructura química.
- **Combustión:** Reacción química entre el oxígeno y un material oxidable, acompañada de desprendimiento de energía y que habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.
- **Deslignificación:** Es un proceso para obtener fibras celulósicas, en la actualidad se hace mediante métodos químicos que en algunos casos provoca contaminación del medio ambiente. Consiste en la eliminación

total o parcial de la lignina, de la madera u otra materia vegetal por tratamientos químicos o enzimáticos para la fabricación de pastas de celulosa química.

- **Despresurización:** Proceso de liberación de presión de un recipiente o área. Se produce cuando la presión del aire u otro gas se reducen de forma repentina, permitiendo que el aire u otro gas se expandan.
- **Digestión anaerobia:** También llamada biometanización, es un proceso biológico que tiene lugar en ausencia de oxígeno, en el que parte de la materia orgánica de los residuos orgánicos se transforma, mediante la acción de los microorganismos, en una mezcla de gases (biogás), constituido principalmente por metano y dióxido de carbono.
- **Energía renovable:** Son aquellas fuentes energéticas basadas en la utilización del sol, el viento, el agua o la biomasa vegetal o animal, entre otras.
- **Enzima:** Son proteínas complejas que producen un cambio químico específico en todas las partes del cuerpo.
- **Glucosidicamente:** Es aquel mediante el cual un glúcido se enlaza con otra molécula, sea o no un glúcido.
- **Hexosa:** Azúcar de seis átomos de carbono
- **Hidrolizado:** Que ha sido descompuesto por la acción del agua, de un ácido o de un fermento.
- **Hidrofílico:** Es el comportamiento de toda molécula que tiene afinidad por el agua. En una disolución o coloide, las partículas hidrófilas tienden a acercarse y mantener contacto con el agua. En pocas palabras adsorbe el agua con gran facilidad.
- **Índice de octano:** Es la escala que va a permitir calificar el poder antidetonante de un carburante cuando este último es comprimido en el cilindro que forma parte del motor de un vehículo. A esta escala también se le conoce con el nombre de índice de octano, que mide la capacidad de antidetonación de la gasolina, es decir, hasta qué punto está aguantando sin detonar prematuramente.
- **Ignición:** La acción y el efecto producido cuando el calor generado por una reacción química es suficiente para mantener la reacción.

- **Lipofílicos:** Es una molécula que tiene afinidad por los lípidos. Es decir, es capaz de disolver lípidos (grasas), y de ser disuelto en ellos o absorberlos.
- **Monosacáridos:** Azúcar que no se puede descomponer en otro más simple por hidrólisis. También conocidos como glúcidos simples o azúcares simples, son moléculas que no se pueden hidrolizar. Esto implica que no es posible su descomposición en moléculas de menor tamaño.
- **Polisacáridos:** Son macromoléculas formadas por una larga serie de sacáridos (azúcares o carbohidratos) unidos químicamente por enlaces glucosídicos.
- **Planta piloto:** Son una infraestructura experimental en la que se estudian y/o desarrollan los procesos de refinación, petroquímica y tecnologías alternas, consistiendo en unidades experimentales conformadas por equipos diseñados a menor escala para representar los procesos industriales.
- **Reactor:** Motor que funciona mediante la expulsión a gran velocidad y presión de un chorro de gases producidos por combustión.
- **Sacarificación:** Proceso mediante el cual un polisacárido se transforma en azúcar fermentable. Es decir, es un proceso de rotura o desdoblamiento de un carbohidrato complejo como el almidón y la celulosa en sus componentes monosacáridos o disacáridos. En dicho proceso un polisacárido es transformado en azúcar fermentable.
- **Silvicultura:** Es la ciencia destinada a la formación y cultivo de bosques. Forman parte de su campo la capacidad de crear o conservar un bosque, y la teoría y la práctica de regular el establecimiento de una masa arbórea, su composición y desarrollo.
- **Solubilizar:** Separar las moléculas o iones de una sustancia para incorporarlas de forma homogénea en otra. En otras palabras es transformar químicamente una sustancia de tal modo de que pase de soluble a insoluble para un solvente dado.
- **Transesterificación:** Es la reacción de un triglicérido con un alcohol para formar ésteres y glicerol.

SISTEMA DE VARIABLES.

Según Arias (2006) señala que una variable “es una característica o cualidad, magnitud o cantidad susceptible de sufrir cambios y es objeto de análisis, medición, manipulación o control en una investigación”. Las variables identificadas en el estudio indicarán en forma directa que se debe observar o medir en el proyecto de investigación y por ende, podrán ser objetos de análisis y medición con precisión, validez y confiabilidad.

Por otra parte, Sabino (1980) establece "que una variable es cualquier característica o cualidad de la realidad que es susceptible de asumir diferentes valores, es decir, que puede variar, aunque para un objeto determinado que se considere puede tener un valor fijo".

- **Variable Independiente:** Sobre la variable independiente, se puede expresar que, para Igartua y Humanes (2004), son las que el “investigador utiliza para ver en qué medida cambia la variable dependiente”. Sin embargo para Pino (2010) “es aquella que el experimentador modifica a voluntad para averiguar si sus modificaciones provocan o no cambios en las otras variables, o sea, en variables dependientes”. De esta manera, podemos afirmar que la variable independiente es el material lignocelulósico a utilizar (residuos forestales).
- **Variable Dependiente:** Es el factor que el investigador observa o mide para determinar el efecto de la variable independiente o variable causa. Autores como Igartua y Humanes (2004), la definen como “aquellas que el investigador pretende investigar y explicar”. Por consiguiente, para efecto del presente trabajo las variables dependientes son: el proceso fermentativo del material lignocelulósico y el rendimiento del proceso empleado en la elaboración del bioetanol.

MAPA DE VARIABLES

Objetivo General: Elaborar bioetanol partiendo del material lignocelulósico disponible en los residuos del mantenimiento de las áreas verdes de la UNELLEZ en Barinas.

Tabla N°3: MAPA DE VARIABLES

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
Recopilar información sobre los métodos de pre-tratamientos aplicables al material lignocelulósico (residuos vegetales), en la obtención de bioetanol.	Métodos de pre-tratamientos	Los métodos de pre-tratamientos se pueden clasificar en mecánico, físico, térmico, químico y biológico.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Métodos ▪ Pretratamientos ▪ Mecánico ▪ Físico ▪ Químico ▪ Biológico
Aplicar el pre-tratamiento más factible para el desarrollo del proceso fermentativo del material lignocelulósico.	Proceso fermentativo	Se habla de fermentación cuando las sustancias orgánicas se transforman con la ayuda de cultivos de bacterias, hongos o células y la adición de enzimas (fermentos), y crean gases, alcohol y ácidos.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fermentación ▪ Sustancias Orgánicas ▪ Cultivos ▪ Bacterias ▪ Hongos ▪ Células ▪ Enzimas ▪ Gases ▪ Alcohol ▪ Ácidos

<p>Producir bioetanol a escala de laboratorio partiendo del material lignocelulósico.</p>	<p>DEPENDIENTE</p>	<p>Bioetanol</p> <p>El bioetanol es un tipo de alcohol inflamable que se obtiene a partir de la fermentación de ciertos tipos de material orgánico, principalmente la materia vegetal con alto contenido en celulosa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ bioetanol ▪ Alcohol ▪ Inflamable ▪ Fermentación ▪ Celulosa ▪ Material orgánico ▪ Materia vegetal
<p>Establecer el rendimiento del proceso empleado en la elaboración del bioetanol.</p>	<p>DEPENDIENTE</p>	<p>Rendimiento</p> <p>El rendimiento, también referido como rendimiento químico y rendimiento de reacción, es la cantidad de producto obtenido en una reacción química. El rendimiento absoluto puede ser dado como la masa en gramos o en moles (rendimiento molar).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Químico • Reacción • Cantidad • Masa • Moles

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

NORMATIVA Y ASPECTOS LEGALES.

El presente estudio tiene como sustento legal los siguientes artículos de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, Ley de Impuesto sobre Alcoholes y Especies Alcohólicas y Plan de la patria.

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela

Artículo 127: Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bioéticos regulará la materia. Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley.

Artículo 129: Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y sociocultural. El Estado impedirá la entrada al país de desechos tóxicos y peligrosos, así como la fabricación y uso de armas nucleares, químicas y biológicas. Una ley especial regulará el uso, manejo, transporte y almacenamiento de las sustancias tóxicas y peligrosas. En los contratos que la República celebre con personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, o en los permisos que se otorguen, que afecten los recursos naturales, se considerará incluida aun cuando no estuviere expresa, la obligación de conservar el equilibrio ecológico, de permitir el acceso a la tecnología y la transferencia de la misma en condiciones mutuamente convenidas y de restablecer

el ambiente a su estado natural si éste resultare alterado, en los términos que fije la ley.

Ley de Impuesto sobre Alcoholes y Especies Alcohólicas publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 6.151 Extraordinario de fecha 18 de noviembre de 2014, en su capítulo II de las exenciones, exoneraciones y reintegros de Impuesto, expone:

Artículo 26: "El Ejecutivo Nacional podrá exonerar total o parcialmente el impuesto que grave al alcohol etílico producido en el país cuando, se destine a los Institutos Oficiales del Gobierno Nacional, Estados o Municipalidades, para uso de sus institutos asistenciales, benéficos o de investigación, o cuando se utilice para fines industriales que por su naturaleza o condición requiera este beneficio”.

Plan de la patria 2019-2025

Objetivo 3.4. Consolidar el papel de Venezuela como Potencia Energética Mundial y aprovechar el potencial energético para el desarrollo de procesos de generación de valor intensivos en energía.

7. Energía asequible y no contaminante

Artículo 39: “Todas las personas tienen el derecho y el deber de participar en los asuntos relativos a la gestión del ambiente.”

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico de la investigación es una elaboración compleja que integra las decisiones y acciones teórico-metodológicas del proceso investigativo. Franco (2011 p.118) lo define como el conjunto de acciones destinadas a describir y analizar el fondo del problema planteado, a través de procedimientos específicos que incluye las técnicas de observación y recolección de datos, determinando el “cómo” se realizará el estudio. En virtud de esto, este capítulo está comprendido por el tipo de investigación, la metodología, el diseño de investigación, población y muestra, las técnicas y los procedimientos desarrollados para llevar a cabo la investigación.

NATURALEZA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la investigación, se debe entender que se encuentra contextualizada dentro del tipo cuantitativo. En este sentido, Palella y Martins (2004, p.38) señalan que “la investigación cuantitativa requiere el uso de instrumentos de medición y comparación que proporcionarán datos cuyo estudio necesita la aplicación de modelos matemáticos y estadísticos”. En virtud de esto, para la presente investigación, el modelo cuantitativo es el más idóneo para llevar a cabo las actividades del mismo, debido a que se desarrollaron pruebas de carácter físico-químico que requieren la aplicación de instrumentos de medición que fueron empleados en el proceso de obtención del bioetanol y su posterior cuantificación.

Aunado a esto, Hernández, Fernández y Baptista, (1998, pág. 185) definen que la investigación cuantitativa, “es un modelo de investigación, cuyo propósito es hallar las leyes generales que expliquen la naturaleza de su objeto de estudio a partir de la observación, la comprobación y la experiencia”.

Debido a la complejidad de la investigación se puede decir que la investigación puede ser categorizada también como descriptiva, ya que permitió conocer detalles sobre el procesamiento del alcohol obtenido partiendo del material lignocelulósico recolectado en las áreas verdes de la sede UNELLEZ de Barinas. Según Arias (2004), los estudios tipo descriptivo, son aquellos “que permiten obtener minuciosos datos

sobre los fenómenos que se investigan, usando técnicas e instrumentos predeterminados para ofrecer una visión aproximada de la realidad”.

METODOLOGÍA

En la presente investigación se basó en una metodología de carácter experimental, la cual es definida por Hernández et, al (2003), como una serie de pasos correlativos que se llevan a cabo en un ambiente controlado que permite la manipulación de variables o supuestas causas (variables independientes) con el propósito de analizar las supuestas consecuencias (variables dependientes) y dar respuesta a una o varias interrogantes génesis de la investigación.

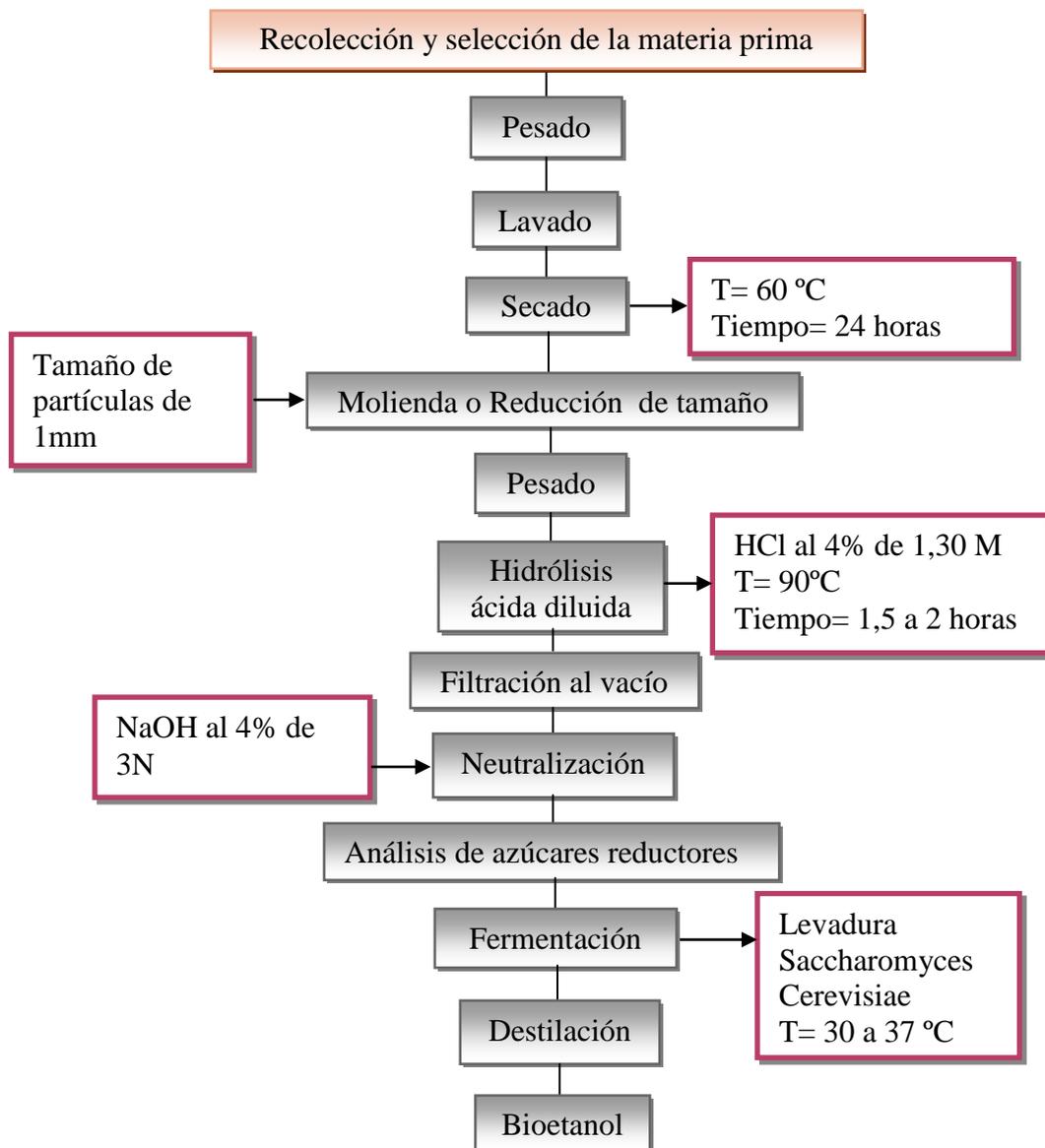
De acuerdo, a lo expuesto por el autor, se aplica la investigación experimental debido a que es evidente el desarrollo de una serie de procesos prácticos en el laboratorio (ambiente controlado), puesto a que se basa estudiar si es posible la utilización de material lignocelulósico provenientes del mantenimiento de las áreas verdes de la UNELLEZ en Barinas (supuesta causa) para la obtención de bioetanol que (supuesta consecuencia) a través de diversos procesos prácticos. Esto permitió definir un proceso, sus variables de control y el rendimiento del mismo.

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Según Arnau (1995), el diseño de una investigación es “un plan estructurado de acción que, en función de unos objetivos básicos, está orientado a la obtención de información o datos relevantes a los problemas planteados” (p. 27).

En este sentido, la investigación se llevó a cabo cumpliendo una ruta de trabajo en función de los objetivos esbozados en el capítulo I. Por tanto para el primer objetivo se desarrolló bajo una revisión bibliográfica que permitió establecer el proceso de bioquímico de producción de etanol a partir de materia prima biológica no tradicional; para los siguientes objetivos, se estableció un procedimiento experimental (ver figura N° 6) en donde se empleó hoja seca de caoba (*Swietenia macrophylla*) y se observaron los cambios obtenidos en cada etapa hasta la obtención del producto en forma bruta.

Figura N°6: Proceso de la obtención de bioetanol a partir de hojas secas de árbol de caoba.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

POBLACIÓN Y MUESTRA.

Según Arias (2006) “La población, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación”.

En este estudio, se considera que la población es infinita ya que el número de elementos que la forman no puede ser contabilizada (Castro, 2003, p. 75) dado que se

trata de un biopolímero constituyente de la estructura (cuerpo) de todas las especies vegetales (material lignocelulósico). Es por ello que para desarrollar el estudio fue necesario tomar una muestra de la población, el cual es “un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible.” (Arias, 2006); empleando para esto el muestreo casual o intencional, ya que se escogió bajo el criterio de accesibilidad a la población de hojas secas del árbol de caoba tomándose dos muestras de 150 gramos cada una de ellas.

TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES APLICADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS.

En el marco metodológico la selección del instrumento o técnica juegan un rol muy importante, ya que de este depende el éxito del trabajo. El instrumento se emplea para medir o registrar algo, mientras que una técnica comprende los pasos para recolectar datos.

Como ya fue mencionado anteriormente, durante el proceso de obtención de alcohol, se tomaron datos basados en la observación la cual según Tamayo y Tamayo (2007), es “aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación”. Así mismo ambos autores definen el instrumento como “una ayuda o una serie de elementos que el investigador construye con la finalidad de obtener información, facilitando así la medición de los mismos”.

En función a la investigación desarrollada, para recolectar datos se emplearon técnicas, instrumentos y materiales diferentes en atención a lo que debía realizarse en cada objetivo específico, lo cual se destaca a continuación:

OBJETIVOS ESPECÍFICOS N°1	Recopilar información sobre los métodos de pre-tratamientos aplicables al material lignocelulósico residuos forestales en la obtención de bioetanol
OBJETIVOS ESPECÍFICOS N°2	Aplicar el pretratamiento más factible para el desarrollo del proceso fermentativo del material lignocelulósico

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Para el cumplimiento de estos objetivos se realizó una revisión bibliográfica que permitió recoger datos con el fin de poder estudiar los diferentes pretratamientos aplicados

a nivel experimental por otros investigadores. En este mismo sentido, para llevar a cabo esta etapa se hizo una búsqueda y recolección de información relacionada con los diferentes métodos de pretratamientos para así determinar cuál es el más adecuado y eficaz para aplicar al material lignocelulósico, dado que el pretratamiento es una etapa crucial en el proceso de obtención de bioetanol, cuya finalidad es mejorar la digestibilidad de los materiales lignocelulósicos, las propiedades físico-químicas y el comportamiento de cada materia prima, por lo que es necesario aplicar el pretratamiento adecuado, dependiendo del tipo de biomasa.

Tabla N° 4 Sinopsis de la recopilación de datos (objetivo n°1)

TÉCNICA	INSTRUMENTOS	MATERIALES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisión Bibliográfica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis Documental 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Libreta de apuntes ▪ Lápiz ▪ Procesador de palabras word®

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

OBJETIVO ESPECÍFICO N°3	PRODUCIR BIOETANOL A ESCALA DE LABORATORIO PARTIENDO DEL MATERIAL LIGNOCELULÓSICO.
--------------------------------	---

Para el cumplimiento de este objetivo se estableció un proceso a escala de laboratorio o montaje experimental, sobre el cual se realizaron una serie de mediciones y anotaciones producto de la observación directa. En la Tabla 4 se presentan de manera ordenada las técnicas, instrumentos y materiales empleados.

Tabla N° 5 Sinopsis de la recopilación de datos (objetivo n°3)

TÉCNICA	INSTRUMENTOS	MATERIALES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Observación Directa. ▪ Medición de variables. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Balanza analítica ▪ Balanza digital ▪ Peachímetro ▪ Refractómetro ▪ Picnómetro 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lápiz ▪ Libreta de apuntes ▪ Cámara

-
- Cilindros
 - Graduados
 - Bureta
 - Pipetas
 - Erlenmeyer
 - Cronómetro
-

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

OBJETIVO ESPECÍFICO N°4	ESTABLECER EL RENDIMIENTO DEL PROCESO EMPLEADO EN LA ELABORACIÓN DEL BIOETANOL.
--------------------------------	---

Para cumplir con este objetivo se aplicaron modelos matemáticos (cálculos), para posteriormente realizar un análisis comparativo del rendimiento en función a estudios realizados anteriormente con diferentes tipos de materia prima. En la Tabla N° 5 se realiza el resumen de la técnica así como los instrumentos y materiales utilizados en la recolección y procesamiento de los datos.

Tabla N° 6 Sinopsis de la recopilación de datos (objetivo n°4)

TÉCNICA	INSTRUMENTOS	MATERIALES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis Comparativo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelos matemáticos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Calculadora ▪ Libreta ▪ Lápiz ▪ Antecedentes

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PARA CUMPLIR CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.

- RECOLECCIÓN Y SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA (HOJAS SECAS).

Materiales:

- ✓ Bolsas
- ✓ Tapa boca

✓ Guantes

Para la producción del bioetanol se recolectaron hojas secas de árbol de caoba en las áreas de la UNELLEZ.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

➤ PESADO DE LAS HOJAS

Equipos:

- Balanza digital.

Se pesó la cantidad de hojas promedio que se recolectó inicialmente el cual fue de 575 gramos.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

➤ LAVADO DE LA MATERIA PRIMA.

Materiales:

- 1 Bañera de 40 litros

Reactivos:

- Agua de grifo (31 litros de aguas)

Se procedió al lavado de dichas hojas con agua de grifo, esto con el objetivo de eliminar las impurezas y materiales extraños presente en las hojas de árbol.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

➤ **SECADO**

Materiales:

- Papel aluminio
- Agua

Equipos:

- Estufa

Posteriormente, se colocó en una estufa a fin de eliminar el exceso de humedad presente en las hojas, dicho proceso se realizó a una temperatura de 70°C por un lapso de tiempo de 23 horas aproximadamente.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

➤ **MOLIENDA O REDUCCIÓN DE TAMAÑO.**

Materiales:

- Colador

Equipos:

- Molino de disco manual

Seguidamente, se procedió a triturar en un molino de disco hasta obtener un tamaño de 1mm, con el fin de aumentar la superficie de contacto favoreciendo los rendimientos en la hidrólisis y porcentajes de azúcares reductores. El tamaño de partícula del polvo obtenido se estandarizó realizando un tamizado con un colador cuya abertura era de 1mm



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

➤ **PESADO**

Materiales:

- Vaso precipitado de 250 ml
- Espátula plástica

Equipos:

- Balanza analítica

Como punto de control se procedió a pesar la cantidad total de materia que se obtuvo después del secado y lavado la cual fue de 449.91 gramos.

Se tomaron dos muestras cada una de 150 gramos a fin de que dichos datos se puedan utilizar como referencia para la determinación de porcentajes de rendimientos.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

➤ **HIDRÓLISIS ACIDA.**

Materiales:

- Matraz de bola
- Plancha de calentamiento
- Campana de gas
- Termómetro

Reactivos:

- HCl(acido clorhídrico) al 4% de 1.30 M

- ✓ En seguida se dio inicio a un proceso químico con ambas muestras de 150 gramos, para la conversión del material hemicelulósicos en azúcares reductores.
- ✓ Para este proceso se hidrolizó con acido clorhídrico (HCl) al 4% de 1,30 M, para cada muestra se emplearon 500 ml de la solución de ácido clorhídrico (HCl).
- ✓ Tanto las muestras como la solución se colocaron en un matraz de bola, y se procedió a colocar ambas muestras en una plancha de calentamiento a una temperatura de 90 °C.
- ✓ La muestra n°1 se colocó por un lapso de tiempo de 2 horas y la muestra n° 2 por un tiempo de 1.5 horas.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

➤ FILTRACIÓN AL VACÍO

Materiales:

- Embudo de cerámica
- Papel filtro
- Espátula
- Frasco Erlenmeyer

Equipos:

- Bomba de vacío

Reactivos:

- Agua destilada.

Luego de realizado el proceso de digestión, se dio inicio al proceso de filtración de ambas muestras, con el fin de separar el líquido del sólido y poder obtener el líquido a fin de acondicionar y llevar a cabo el proceso de fermentación para obtener el bioetanol.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Posteriormente, una vez realizado el proceso de filtración, se observó que el sólido hidrolizado aun contenía ácido clorhídrico (HCl).

Por lo tanto, se procedió a realizar lavado sucesivo con 500 ml de agua destilada hervida hasta obtener una temperatura de 90 °C esto con el objetivo de extraer la solución que aún estaba contenida en la muestra en estudio.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Luego que se filtró se calentó nuevamente la misma solución para hacer un segundo lavado sucesivo para volver a filtrar y obtener otras muestras adicionales las cuales también se puedan adaptar para realizar la fermentación.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

➤ NEUTRALIZACIÓN

Materiales:

- Vaso precipitado de 500 ml
- Pipeta
- Agitador magnético
- Cilindro graduado de 100 ml
- Termómetro

Equipos:

- Peachímetro

- Plancha de calentamiento

Reactivos:

- NaOH(Hidróxido de Sodio) al 4% 3N
- Agua destilada

- ✓ Como punto de inicio se les realizo medición de pH a las muestras hidrolizadas.
- ✓ Sin embargo las muestras presentaron valores relativamente bajos, por lo que se neutralizaron con solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 4% de 3N para regular el pH ≥ 5.3 , para luego poder iniciar el proceso fermentativo, ya que regular el pH favorece el metabolismo de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, de igual modo la producción de bioetanol.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

➤ **CLARIFICACIÓN**

Materiales:

- Carbón activado.
- Papel filtro.
- Embudo de cerámica.
- Frasco Erlenmeyer plástico.
- Espátula.

Equipos:

- Bomba de vacío.
- Embudo Buchner.
- Papel de filtro Whatman N.º 2.

Reactivos:

- Crema de alúmina
- Carbón activado

- ✓ Considerando, que las muestras que se obtuvieron después de la neutralización, presentaban un color negro, se pudo observar que las mismas se habían carbonizados.
- ✓ Posteriormente, se procedió a realizar un proceso de clarificación en las muestras.
- ✓ Inicialmente se utilizó 5 ml de crema de alúmina en la muestra 1 para ver si se podía decolorar, sin embargo este no dio resultados óptimos, es decir que con la aplicación de dicha crema no se logró clarificar la muestra.
- ✓ En virtud a esto, se utilizó 5,6464 gramos de carbón activado, para llevar a cabo se usó nuevamente el equipo de filtración al vacío, filtrando las diferentes muestras tres veces hasta presentar color transparente.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

➤ ANÁLISIS DE AZUCARES REDUCTORES.

Materiales:

- Bureta
- Pipeta
- Frasco Erlenmeyer
- Cilindro graduado de 100 ml

- Soporte universal

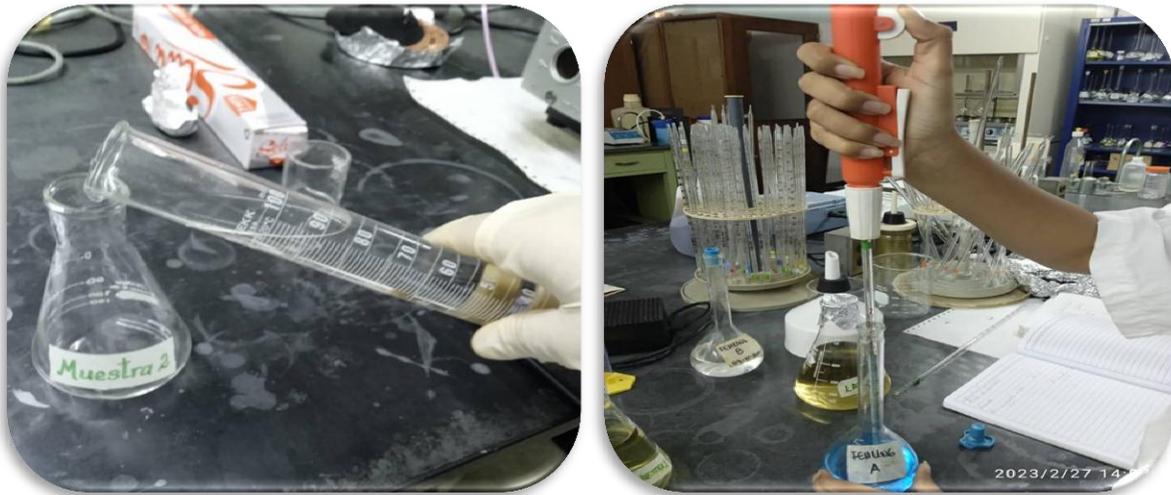
Equipos:

- Plancha de calentamiento

Reactivos

- Agua destilada
- Solución Fehling A
- Solución Fehling B
- Azul de metileno

- ✓ Para este análisis se tomaron 100 ml agua destilada en un frasco Erlenmeyer, se le agregó con una pipeta 5 ml del reactivo de Fehling A y 5 ml de reactivo de Fehling B, que estaban preparados en el laboratorio por el técnico según las indicaciones de la norma COVENIN.
- ✓ Se colocó en una plancha de calentamiento hasta ebullición y se le agregó tres gotas de azul de metileno.
- ✓ Luego se le agregó gota a gota con una bureta la muestra en estudio, hasta que este presentara un color rojo ladrillo, ya que a partir de allí se podría determinar la existencia de azúcares reductores. Este proceso se llevó a cabo para las diferentes muestras.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

➤ **FERMENTACIÓN.**

Materiales:

- Levadura (*Saccharomyces cerevisiae*)
- Espátula
- Frasco Erlenmeyer de vidrio
- Tapones de plástico
- Termómetro
- Papel aluminio
- Bañera de 20 litros
- Vasos precipitados
- Varilla

Equipos:

- Refractómetro
- Balanza analítica
- Estufa

Reactivos:

- Agua destilada.
- Agua de Grifo

- ✓ En primer lugar, antes de someter las muestras al proceso de fermentación, se procedió a pesar usando la balanza analítica, papel aluminio y la espátula la cantidad de levadura *Saccharomyces cerevisiae* que se requería para la muestra de acuerdo al cálculo realizado, considerando que este tipo de levadura corresponde a un rango de 12-14% del

100% de azúcares reductores presentes en el sustrato, de acuerdo a lo indicado por (Hidalgo, 2010), ya que no puede haber un exceso ni carencia en la misma, porque incurre en costos para el primer caso y bajo rendimiento para el segundo.

- ✓ Luego se llevaron las muestras a la estufa a una temperatura de 80°C por 30 minutos, con el propósito de esterilizar dichas muestras, de manera de eliminar cualquier microorganismo extraño que afectara el rendimiento o las condiciones para que la levadura pudiese trabajar adecuadamente.
- ✓ En seguida, se colocó en una bañera con agua de grifo y se procedió a colocar las muestras con la finalidad de estabilizar la temperatura de las mismas a 30°C.
- ✓ Ya controlada la temperatura, se procedió a agregarle la levadura requerida de la cantidad correspondiente a cada muestra.
- ✓ Adecuada cada una de las muestras, se llevaron a una estufa a una temperatura de 30°C, para dar inicio al proceso fermentativo por 8 días.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

- ✓ Durante el proceso de fermentación las muestras fueron agitadas diariamente durante 20 minutos, y luego se destapaban para liberar el dióxido de carbono (CO₂) producido.
- ✓ Así mismo, también se le hizo mediciones de temperatura con el termómetro, pH con el Peachímetro y °Brix con el refractómetro.
- ✓ Todas estas mediciones se realizaron todos los días a fin de supervisar el rendimiento en el proceso de fermentación.



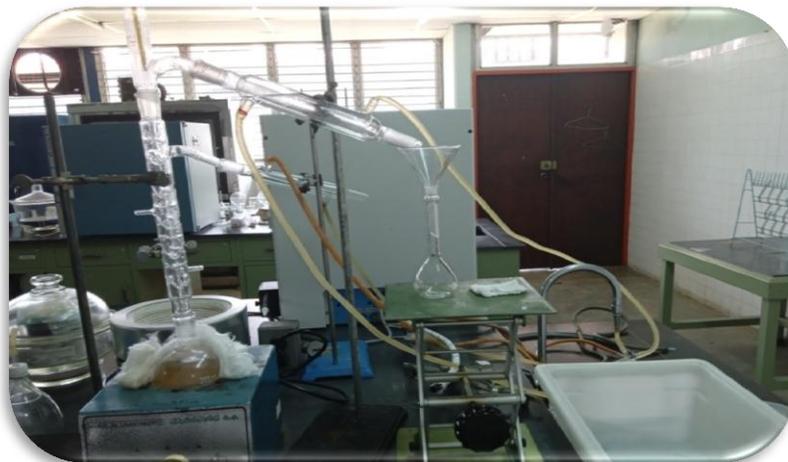
Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

➤ DESTILACIÓN

Materiales:

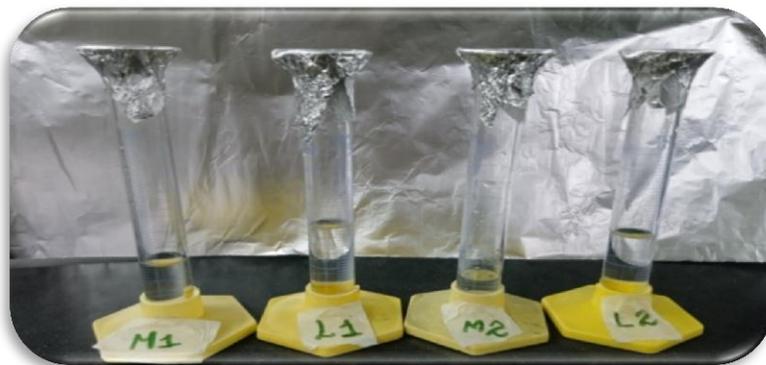
- Balón de destilación
- Probeta
- Termómetro
- Columna tipo Vigreux
- Mangueras
- Soporte universal

- Manta calentadora
 - Perlas de ebullición
 - Cilindros graduados
 - Embudo
 - Pinzas
 - Condensador
- ✓ Cumplido el proceso de fermentación durante el tiempo requerido, se realizó una destilación atmosférica, para separar el alcohol producido.
- ✓ En primer lugar se realizó el montaje de cada parte del equipo que se requerían para realizar la destilación, una vez hecho esto se midió el promedio del caudal en la salida del agua.
- ✓ Después, se agregó la muestra en el balón de destilación junto con las perlas de ebullición y se empezó el proceso de destilación, en el mismo se controló cuidadosamente la temperatura considerando que el punto de ebullición del bioetanol es de 78°C.
- ✓ Terminado el proceso de destilación se espera que enfríen los materiales para recolectar el destilado y el residuo. Teniendo en cuenta que este proceso se llevó a cabo del mismo modo para todas las muestras.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

- ✓ Terminado el proceso de destilación se realizó una cuantificación de él destilado obtenido de cada muestra usando un cilindro graduado de 10 ml.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

- ✓ Posteriormente, se pesó el destilado obtenido y el cilindro vacío, para realizar los cálculos de densidad y determinar el alcohol presente en las muestras, usando el método de picnometría.

➤ **PRUEBA DEL % DE HUMEDAD.**

Materiales:

- Capsulas Petri
- Espátula
- Desecador
- Pinzas
- 4 gramos de c/u de las muestras

Equipos:

- Estufa eléctrica
- Balanza analítica tipo digital

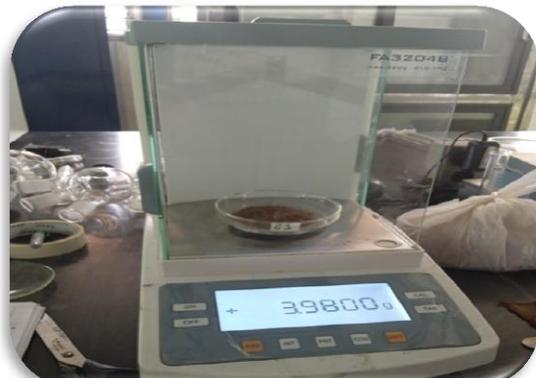
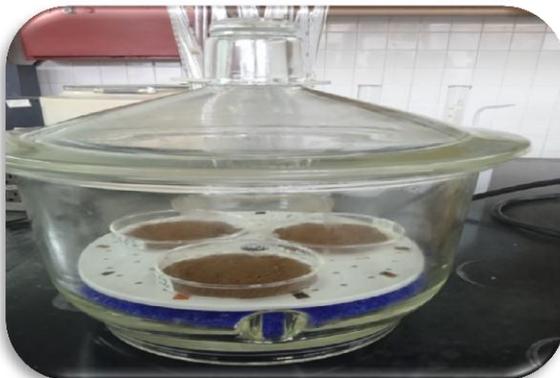
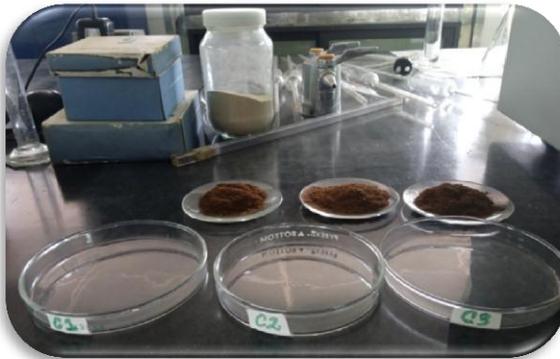
Reactivos:

- Agua destilada
- HNO₃ (Ácido nítrico)

PROCEDIMIENTO

- ✓ Se encendió la estufa y se colocó a una temperatura de 105°C
- ✓ Luego se lavó las capsulas con agua jabón, agua de grifo, ácido nítrico y agua destilada, para eliminar cualquier tipo de impurezas que puedan afectar las pruebas.

- ✓ Seguidamente se pesaron las capsulas de Petri, antes de colocar en la estufa a secar.
- ✓ Una vez pesada se llevó a secar a la estufa por 1 hora, luego se colocó con una pinza en el desecador por 15 minutos hasta lograr que se enfriaran.
- ✓ Pasado el tiempo en el desecador se volvió a pesar vacías.
- ✓ Luego se le agrego los 4 gramos de las muestras en estudio y se pesó nuevamente para llevar otra vez a la estufa por una hora.
- ✓ Al cumplir el tiempo previo de calentamiento, se sacó las capsula con cuidado de la estufa con ayuda de la pinza para luego colocarla dentro del desecador a enfriar unos 15 minutos, esto se hizo con el fin de enfriar un poco la capsula y no contrajera humedad.
- ✓ Luego se procedió a pesar en la balanza analítica digital para determinar la diferencia de peso.
- ✓ Finalmente se debía repetir las operaciones de calentamiento, enfriamiento y pesado cada 30 minutos, hasta que la diferencia entre las pesadas muestra de ensayo fuera mínima.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante la realización de la investigación, realizando un análisis de cada uno de ellos enfocados en los objetivos planteados.

RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO N°1: RECOPIRAR INFORMACIÓN SOBRE LOS MÉTODOS DE PRETRATAMIENTO APLICABLE AL MATERIAL LIGNOCELULÓSICO (RESIDUOS FORESTALES) EN LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL

Como se ha expuesto en el marco teórico los métodos de pretratamientos son de gran importancia para la obtención de bioetanol, ya que estos tienen como objetivo el rompimiento del escudo de lignina que limita la accesibilidad de las enzimas a la celulosa y hemicelulosa, y altera el tamaño y estructura para facilitar la hidrólisis rápida y eficiente, considerando que existen diversos tipos de pretratamientos se llevó a cabo una revisión bibliográfica a fin de realizar un análisis documental que permitiera obtener valiosa información de acuerdo a las ventajas que ofrecen los mismos y a partir de allí seleccionar el más óptimo. De acuerdo a la información recabada, de antecedente e investigaciones donde emplearon los diferentes métodos de pretratamientos para la obtención de bioetanol, a partir de diversos tipos de materia prima se pudo seleccionar que el pretratamiento químico es el más factible para aplicar al material lignocelulósico, debido a que este emplea agentes químicos que permiten alterar la estructura lignocelulósica y solubilizar los azúcares, considerando que con la implementación de este pretratamiento se facilita el proceso metabólico para la fermentación, y de esta manera se garantiza el rendimiento de la obtención del producto, ya que en la etapa de fermentación se consideran tres factores importantes: el sustrato, las condiciones de operación y el microorganismo fermentador.

Tabla N°7: Recopilación de información de los métodos de pretratamientos, a partir de diferentes trabajos.

AUTORES CONSULTADOS	NOMBRE DEL TRABAJO O FUENTE	APORTE
<p>✚ <i>Kiara Yanibeth Montiel Centeno y Leticia del Carmen Romero Castro (Managua, Diciembre 2015).</i></p>	<p>Obtención de bioetanol a partir de la coronta (Olote) del maíz HS-5, por el método de hidrólisis acida diluida-Fermentación separada, Laboratorio de química UNAN- MANAGUA, I-II Semestre 2015.</p>	<p>A partir de este trabajo de grado se pudo compilar información sobre los diferentes tipos de pretratamientos considerando que es una etapa crucial en el proceso de obtención de bioetanol, y que el tipo de pretratamiento va a depender del tipo de biomasa. Aunado a ello, se obtuvo información valiosa de acuerdo a las ventajas y desventajas que ofrecen los mismos y a partir de allí seleccionar el más óptimo.</p>
<p>✚ <i>Ever Aldo Ventura Ibañez. (Tarija – Bolivia, Octubre 2020)</i></p>	<p>“Obtención experimental de bioetanol a partir de material lignocelulósico de residuos del maíz amarillo marlo u olote”</p>	<p>Es este estudio se utilizó el bagazo de caña de azúcar que es un residuo lignocelulósico como materia prima, mediante la revisión bibliográfica de esta investigación se recopiló información de la clasificación de los diferentes Pretratamiento entre ellos se encuentran: el mecánico, térmico, físico-químicos, químicos y biológicos</p>
<p>✚ <i>Carla Arellano Perales Marzo, 2015.</i></p>	<p>Obtención de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos sometidos a hidrólisis enzimática”</p>	<p>Este trabajo tiene como objetivo generar bioetanol a partir de los residuos de la cáscara de <i>Jatropha curcas</i> y del <i>Pennisetum sp</i></p>

sometidos a hidrólisis enzimática. Mediante la información de los diferentes procesos de pretratamiento, para este estudio determinaron que el más óptimo era el químico, por el cual emplearon ácido, alcalino y autohidrólisis de las fibras de Pennisetum sp y de Jatropha curcas y fueron sometidos a hidrólisis enzimática. Considerando que los resultados obtenidos demuestran el potencial de este tipo de pretratamiento empleado para la obtención de bioetanol.

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

RESULTADOS OBJETIVO ESPECÍFICO N° 2 APLICAR EL PRETRATAMIENTO MÁS FACTIBLE PARA EL DESARROLLO DEL PROCESO FERMENTATIVO DEL MATERIAL LIGNOCELULÓSICO.

Se escogió como pretratamiento para el desarrollo del proceso fermentativo, la reducción de tamaño de las hojas secas a un polvo cuyo tamaño de partícula no excediera de 1 mm de diámetro, luego se sometió a digestión ácida por espacio de hora y media en caliente para finalmente realizar una neutralización parcial ajustando el pH en un rango de 4 a 6. A continuación los resultados obtenidos al escoger este pretratamiento.

Tabla N°8: Resultados de la materia prima antes y después del lavado, secado y molido.

Materia prima Inicial (gr)	Materia prima final (gr)
575	449,91

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

En esta tabla se puede observar la diferencia de peso que se obtuvo antes y después del proceso, cuya diferencia fue de 125,09 gramos, resaltando que dicha pérdida surgió por la eliminación de impurezas, el exceso de humedad y por los residuos obtenidos mediante el proceso de reducción de tamaño.

Resultados de prueba de humedad.

Para obtener el %Humedad realizado a las muestras y las hojas secas se usó la ecuación que establece la norma COVENIN 1156-79.

$$\text{Humedad}\% = \frac{H1-H2}{H1-Ho} * 100$$

Dónde:

Ho= peso de la capsula vacía, en gramos.

H1= peso de la conteniendo las s, en gramos.

H2= peso de la capsula y la después de desecarla, en gramos.

Aplicando la ecuación se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la tabla N° 9.

Tabla N°9: Resultados de prueba %Humedad.

Muestra	%Humedad
Seca	7,18
M1	58,22
M2	65,24

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Tabla N° 10: Resultados de la Hidrólisis acido diluido.

Muestra	Sustrato seco (gr)	Solución acida (ml) HCl	Concentración HCL (%V/V)	Tiempo (horas)
1	150	500	4	2

2	150	500	4	1.5
---	-----	-----	---	-----

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Para este proceso ambas muestras se colocaron a una temperatura de 90°C, sin embargo como se puede visualizar en la tabla N° 10 el proceso de digestión se llevó a cabo por diferente tiempo, acotando que para la muestra 2 el tiempo de ebullición fue más rápido lo que significa que la materia orgánica se ha digerido más fácilmente debido a que el sustrato seco absorbió con más rapidez la solución acida. Los resultados del volumen obtenido en el proceso de hidrólisis se presentan en la tabla N° 12

Tabla N°11: Lavado del sólido de cada muestra

Lavado	Agua destilada (ml)
1	500
2	500

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Del lavado sucesivo que se realizó del sólido de ambas muestras con agua destilada caliente, se obtuvieron dos muestras adicionales que se utilizaron para la obtención de bioetanol. El volumen obtenido se muestra en la tabla N°12.

Tabla N° 12: Resultados del volumen obtenido de la filtración de las muestras y los lavados después de la hidrólisis.

Muestra 1 (M1)	242 ml
Muestra 2 (M2)	257 ml
Lavado 1 (L1)	430 ml
Lavado 2 (L2)	381 ml

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

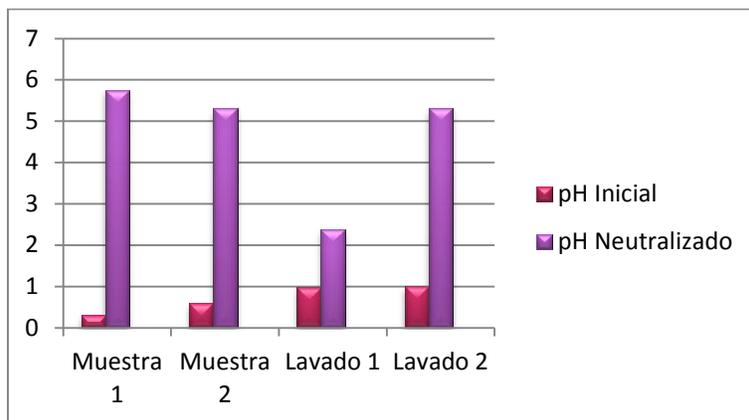
Tabla 13: Resultados de la Neutralización de la Solución ácida

Muestra	pH Solución acida inicial	pH Solución neutralizada	Volumen de NaOH gastado (ml)	Volumen después de la Neutralización (ml)
M1	0,30	5,75	85	348
M 2	0,58	5,30	88,8	295

L1	0,97	5,38	49,2	455
L2	1,00	5,30	50,3	400

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Grafico 1- Resultados de pH



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Como se puede notar los resultados de la tabla N°13, en cada muestra se usó un volumen de hidróxido de sodio (NaOH) diferente, ya que era necesario para lograr un $\text{pH} \geq 5,3$ para lograr un proceso óptimo en la fermentación, ya que durante el proceso de fermentación el pH debe ser ligeramente ácido con el fin de que las levaduras puedan realizar su actividad, asegurando a su vez la estabilidad microbiológica y la protección contra las bacterias u hongos de la fermentación. En el gráfico 1, se puede observar la variación de pH inicial y pH después de neutralizar.

Análisis de azúcares reductores.

Se realiza este análisis empleando el método basado en el reactivo de Fehling, esto con el objetivo de cuantificar la porción de azúcar que puede ser fermentada y convertida en alcohol por la levadura *Sacharomyces c.* utilizada en este estudio. Luego de llevar a cabo la prueba, se emplea la siguiente fórmula para la cuantificación mencionada.

Fórmula para calcular el %Azúcares reductores de acuerdo a la norma COVENIN 3107-1994.

$$A = \frac{2 * 0.005}{V * C} * 100$$

Dónde:

A= Porcentajes de azúcares reductores

2= Factor constante proveniente de 1ml de solución de Fehling A y 1ml de solución de Fehling B, utilizados en la marcha.

V= volumen consumida de solución de azúcar en la titulación.

C= dilución de la azúcar

Calculo del % Azúcares reductores de cada muestra.

$$\%A = \frac{2 \cdot 0.005}{15,2 \cdot 1} * 100$$

$$A = 0,065 \%$$

$$\%A = \frac{2 \cdot 0.005}{16,1 \cdot 1} * 100$$

$$A = 0,062\%$$

$$\%A = \frac{2 \cdot 0.005}{16,2 \cdot 1} * 100$$

$$A = 0,061\%$$

$$\%A = \frac{2 \cdot 0.005}{16,5 \cdot 1} * 100$$

$$A = 0,060\%$$

Tabla N°14: %Azúcares Reductores

Muestra	Volumen de solución consumido en la titulación (ml)	%Azúcares Reductores
M1	15,2	0,065
M 2	16,1	0,062
L1	16,2	0,061
L2	16,5	0,060

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

En virtud, de los datos obtenidos a través de los cálculos de azúcares reductores este análisis demostró que la hidrólisis acida diluida desarrollada obtuvo buenos resultados transformando la celulosa en glucosa. En este mismo sentido, estos datos eran indicativos de que dichas muestras podían producir alcohol.

Sin embargo, los resultados de la cantidad de azúcar fueron bajos, por lo que se implementó medición de °Brix con un refractómetro antes de llevar a cabo la fermentación de las muestras para confirmar la presencia de azúcares mediante este método. Cuyos datos arrojados se reflejan en tabla N° 15.

Tabla N°15: ° BRIX medidos antes de la fermentación.

Muestra	°BRIX
M1	8,5
M 2	9,6
L1	4,6
L2	5,6

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Con estos datos se pudo afirmar que dichas soluciones contenían azúcares para producir alcohol, es decir que representaban un factor de presencia de glucosa en la mezcla, y además estos valores sirvieron como referencia para el monitoreo durante el proceso de fermentación, ya que con los mismos se podía observar el rendimiento de los microorganismos durante la fermentación.

OBJETIVO ESPECÍFICO N°3: PRODUCIR BIOETANOL A ESCALA DE LABORATORIO PARTIENDO DEL MATERIAL LIGNOCELULÓSICO.

Tal como ya ha sido indicado, para este proceso se utilizó la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, para el cual fue necesario realizar un cálculo de la cantidad de

levadura a usar, considerando que este tipo de levadura corresponde a un rango de 12-14% del 100% de azúcares reductores presentes en el sustrato, teniendo en cuenta que no puede haber un exceso ni carencia en la misma, porque esto puede ocasionar bajos rendimientos.

Fórmula para el cálculo de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

$$L = \frac{V * \%A}{100} * 14\%$$

Dónde:

L= cantidad de levadura

V= volumen que se fermentara

%A= azúcares reductores

$$L = \frac{300 * 0,065}{100} * 14\%$$

$$L = 0,0273 \text{ gr}$$

Empleando la misma ecuación, usando los datos correspondientes de cada muestra se obtuvo la cantidad de levadura necesarias para las demás muestras y se indican en la tabla N°16.

Tabla N°16 Resultado de la fermentación.

Muestra	Tiempo de fermentación (días)	Volumen fermentado (ml)	Temperatura (°C)	Levadura <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> (gr)
M 1	8	300	30	0,0273
M 2	8	278	30	0,0377
L1	8	442	30	0,0241
L2	8	383	30	0,0321

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Se realizaron mediciones diarias durante el proceso de fermentación, de °Brix y pH, con la finalidad de que a partir de estos datos se pudiera considerar el tiempo de finalización de la fermentación. Dichas mediciones se presentan en la tabla N° 17.

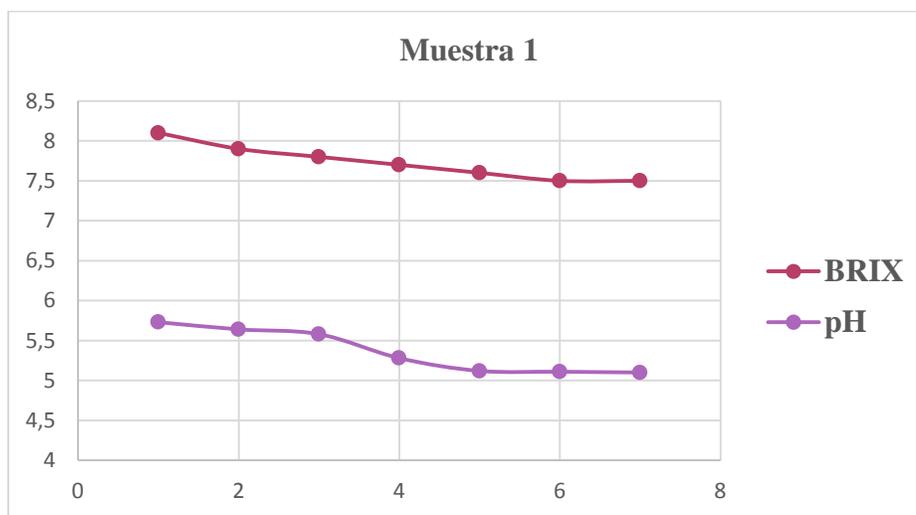
Tabla N°17: Resultados de la evolución del °Brix y pH durante la fermentación de las soluciones.

DIA	1		LAVADO M1		2		LAVADO M2	
	°BRIX	pH	°BRIX	pH	°BRIX	pH	°BRIX	pH
1	8,1	5,73	4,3	5,58	9,1	5,65	5,1	5,43
2	7,9	5,64	4,2	5,67	9	5,49	5,0	5,51
3	7,8	5,58	4,1	5,69	8,8	5,51	4,8	5,43
4	7,7	5,28	4,0	5,48	8,6	5,63	4,7	5,15
5	7,6	5,12	4,0	5,32	8,5	5,35	4,6	4,90
6	7,5	5,11	3,9	5,22	8,4	5,14	4,5	4,80
7	7,5	5,10	3,9	5,07	8,4	5,00	4,5	4,78

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

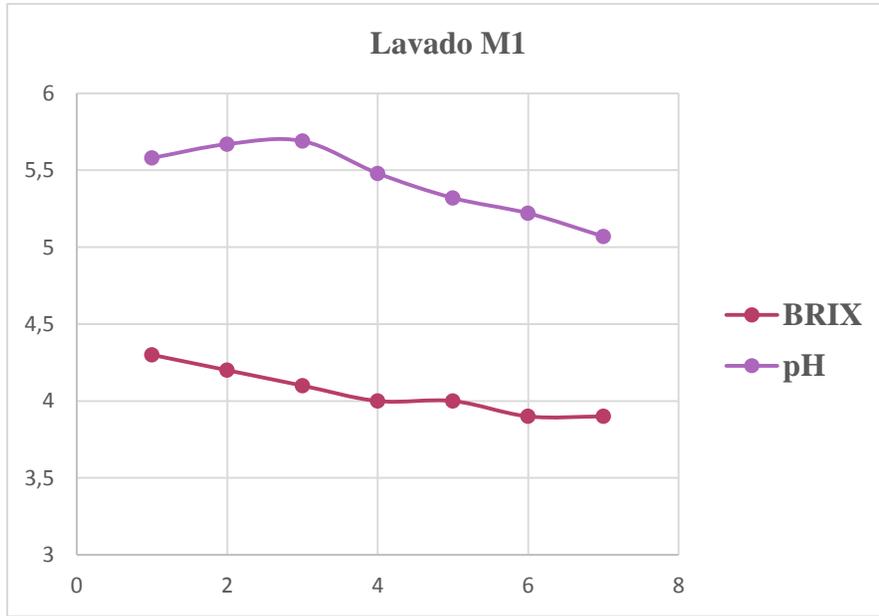
A fin de visualizar el comportamiento de estas variables durante el proceso de fermentación se muestran los siguientes gráficos:

Grafico 2- Muestra 1 (Tiempo vs pH y °Brix)



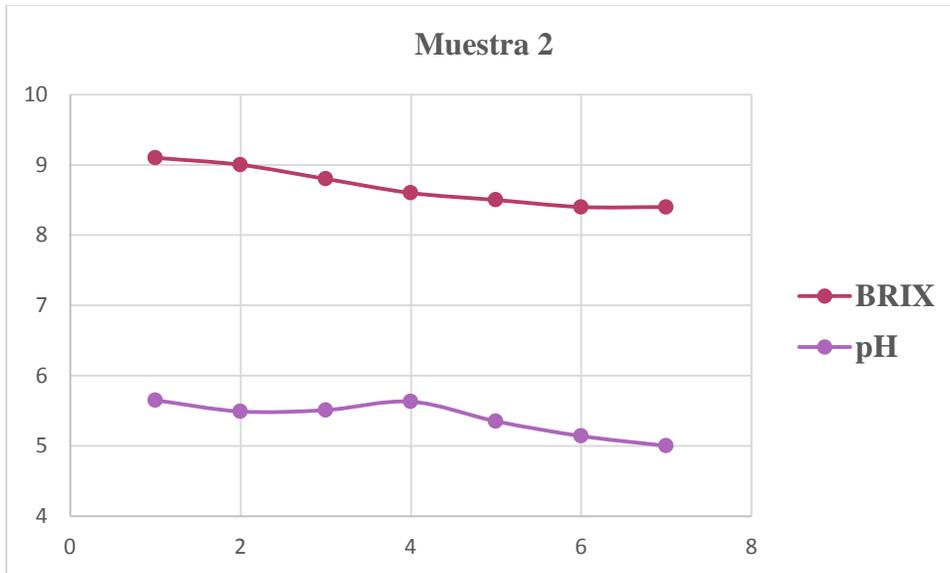
Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Grafico 3- Lavado 1 (Tiempo vs pH y °Brix)



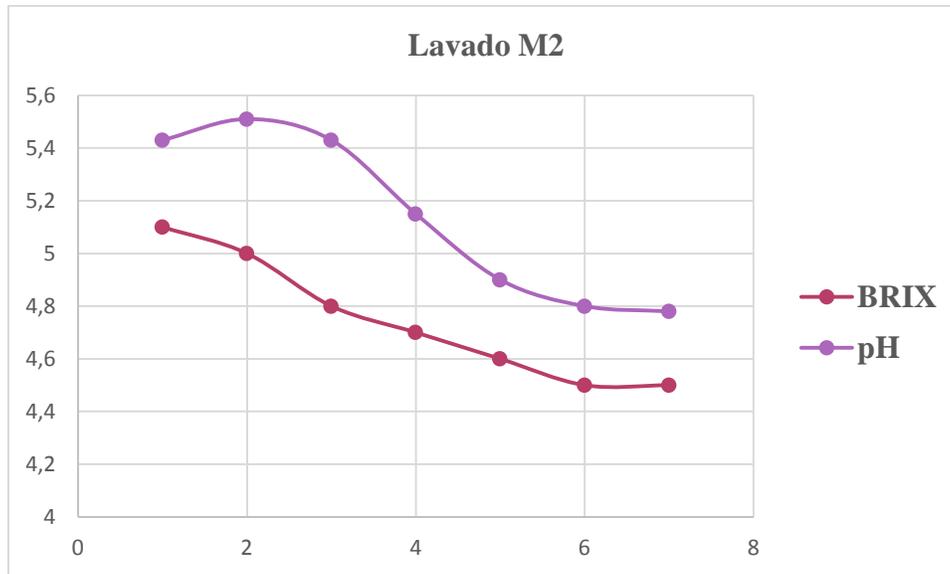
Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Grafico 4- Muestra 2 (Tiempo vs pH y °Brix)



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Grafico 5- Lavado 2 (Tiempo vs pH y °Brix)



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

De acuerdo a los resultados reflejado en la tabla N° 17 y a el comportamiento que se observa en los gráficos 2, 3,4 y 5, se puede notar que con el transcurso del tiempo de fermentación los °Brix fueron disminuyendo hasta llegar a mantenerse constante, lo que significa que las muestras ya no contenían azúcares y por ende los microorganismos, es decir, la levadura ya no podía alimentarse dando fin al proceso y se encontraban listas para su destilación.

De igual manera, se puede observar que los valores de pH de las soluciones cambiaron con el tiempo excepto el pH de la M1 que disminuyó constantemente, cuando esto ocurre significa que a medida que pasa el tiempo la solución se vuelve más ácida.

Etapa de separación del bioetanol (destilación)

La separación del alcohol producido se obtuvo empleando el proceso de destilación atmosférica a una temperatura aproximada de 78°C.

Tabla N°18: volumen fermentado y destilado

Muestra	Volumen fermentado (ml)	Volumen destilado (ml)
M1	300	3,4
M 2	278	2

L1	442	5,4
L2	383	4,6

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Durante el proceso de destilación se realizó el cálculo de caudal (Q) de agua para el destilado de cada muestra, para esto se tomó el tiempo que tardaba en llenarse un cilindro graduado de 10 ml; éstos cálculos se realizaron en 4 ocasiones para luego emplear la ecuación correspondiente y finalmente se promediaron los valores obtenidos.

Fórmula empleada para calcular caudal de agua.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dónde:

Q= caudal (ml/seg)

V= volumen (ml)

t= tiempo (seg)

En las siguientes tablas se muestran los datos y los resultados del caudal medido durante la destilación de cada solución.

Tabla N°18: Resultados y datos del caudal (Q) de la M1

Volumen (ml)	Tiempo (seg)	Q (ml/ seg)
10	6,87	1,45
10	5,46	1,83
10	5,67	1,76
10	6,19	1,61
Q promedio (ml/seg)		1,6625

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Tabla N°19: Resultados y datos del caudal (Q) de la M2

Volumen (ml)	Tiempo (seg)	Q (ml/ seg)
---------------------	---------------------	--------------------

10	2,31	4,32
10	2,46	4,06
10	2,30	4,34
10	2,18	4,58
Q promedio (ml/seg)		4,325

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Tabla N°20: Resultados y datos del caudal (Q) del L1

Volumen (ml)	Tiempo (seg)	Q (ml/ seg)
10	1,38	7,24
10	1,84	5,43
10	1,26	7,93
10	1,45	6,89
Q promedio (ml/seg)		6,8725

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Tabla N°21: Resultados y datos del caudal (Q) del L2

Volumen (ml)	Tiempo (seg)	Q (ml/ seg)
10	1,52	5,57
10	1,20	8,33
10	1,15	8,69
10	1,30	7,69
Q promedio (ml/seg)		7,57

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Calculo de Densidad.

Para determinar el grado de alcohol presente en cada muestra fue necesario, calcular la densidad de las mismas, aplicando la siguiente ecuación.

$$\rho = \frac{W_{llena} - W_{vacía}}{Volumen}$$

Dónde:

ρ = densidad (gr/ml)

W = peso (gr)

V = volumen medido (ml)

Tabla N° 22: Resultados del cálculo de densidad.

Muestra	Peso con la (gr)	Peso sin la (gr)	Volumen del destilado (ml)	Densidad(gr/ml)
M1	31,7489	28,4208	3,4	0,9788
M 2	30,3736	28,4831	2	0,9452
L1	33,6025	28,3246	5,4	0,9773
L2	33,3582	28,8136	4,6	0,9879

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Tabla N° 23: Alcohol presente en las soluciones.

Muestra	°GL	% de etanol en agua (m/m)
M1	13,0	10,4
M 2	37,02	30,60
L1	14,3	11,4
L2	5,3	4,20

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Cabe destacar, que para el cálculo de densidad no se utilizó picnómetro ya que no se tenía uno con la capacidad suficiente para las cantidades que se obtuvieron, y por tanto se realizaron las mediciones y los pesos con un cilindro graduado de 10 ml, teniendo en cuenta que al usar este instrumento de medición como picnómetro hay errores en el valor obtenido. Es por ello, que se unieron todos los volúmenes destilados para tener la cantidad de al menos 10 ml, ya que es la capacidad mínima que cuentan los picnómetros en el laboratorio.

Dado que el objetivo del trabajo se enfoca en la obtención de etanol considerando todo el proceso y no el obtenido en cada muestra, se mezclaron los destilados obtenidos y se determinó el °GL de la solución resultante.

Tabla N° 24: Resultados de la densidad del bioetanol total producido.

Peso lleno (gr)	Peso vacío (gr)	Volumen destilado (ml)	Densidad (gr/ml)
21,8240	12,1393	10	0,9684

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Con los resultados obtenidos de densidad, usando una calculadora de Excel®, elaborada por el Ingeniero Gericksson Devies, se obtuvo como resultado final que el bioetanol producido tenía un °GL de 20,7 y un % de etanol en agua (m/m) de 20,7.

Así mismo, se obtuvo una producción final de bioetanol a partir de residuos forestales (hojas secas de árbol de caoba) de 14,2 ml. Resaltando que la muestra N°2 fue la que genero mayor °GL.

OBJETIVO N°4: ESTABLECER EL RENDIMIENTO DEL PROCESO EMPLEADO EN LA ELABORACIÓN DEL BIOETANOL.

Para determinar el rendimiento obtenido se aplicaron modelos matemáticos (cálculos).

Fórmula empleada para el cálculo de la masa real del etanol.

$$M_{\text{destilado}} = \rho_{\text{destilado}} * V_{\text{destilado}}$$

$$M_{\text{destilado}} = 0,9684 \text{ gr/ml} * 14,20 \text{ ml}$$

$$M_{\text{destilado}} = 13,75 \text{ gr}$$

$$\% \text{ m/m}_{\text{etanol}} = 17,1 \text{ (Dato obtenido de la calculadora del Ing. Devies)}$$

$$M_{\text{etanol}} = M_{\text{destilado}} * \% \text{ m/m}_{\text{etanol}}$$

$$M_{\text{etanol}} = 13,75 \text{ gr} * 17,1\%$$

$$M_{\text{etanol}} = 2,35 \text{ gr}$$

$$V_{\text{etanol}} = M_{\text{etanol}} / \rho_{\text{destilado}}$$

$$V_{\text{etanol}} = 2,35 \text{ gr} / 0,79 \text{ gr/ml}$$

$$V_{\text{etanol}} = 2,97 \text{ ml}$$

Calculo del rendimiento de la producción total del etanol.

$$R = \frac{2,97 \text{ ml}}{300 \text{ gr}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} * \frac{1000000 \text{ gr}}{1 \text{ tn}}$$

$$R = 9,90 \frac{\text{L de alcohol}}{\text{tn de materia prima}}$$

Fue necesario realizar una conversión del bioetanol producido de $\frac{\text{ml}}{\text{gr}}$ a $\frac{\text{L}}{\text{tn}}$ esto con el objetivo de realizar un análisis comparativo del rendimiento en función a estudios realizados anteriormente empleando diferentes tipos de materia prima que se muestran en la Tabla N° 2 capítulo II (marco contextual).

En función a los cálculos realizados, se puede relatar que se obtuvo un rendimiento relativamente bajo ya que se obtuvo 2,97 ml de alcohol, en comparación con la producción de bioetanol que se ha obtenido en diferentes estudios a partir de distintas materia prima, este tipo de material lignocelulósico es poco rentable para producir bioetanol en comparación con las producciones que se puede generar con materias primas como la remolacha, caña de azúcar, papa, maíz, etc., puesto que para producir 9,90 Litros, se requiere 1 tonelada de hojas secas de árbol de caoba. A continuación se presenta la producción de litros que se puede obtener con 1 tonelada, a partir de diferentes materias primas, incluyendo la materia prima usada para este estudio.

Materia Prima	Producción potencial de bioetanol (L/t)
Caña de azúcar	70
Remolacha azucarera	110
Boniato	125
Papa	110
Mandioca	180
Maíz	360
Arroz	430
Cebada	250
Trigo	340

Sorgo dulce	60
Bagazo y otras biomاسas celulósicas	280
Hojas secas de árbol de caoba	9,90

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.

- 1- Es importante el estudio y la recopilación de los diferentes métodos de pretratamientos, para la producción de bioetanol, ya que el rendimiento de la producción depende del conocimiento que se tenga acerca de la aplicación y la efectividad de los mismos.
- 2- La aplicación del pretratamiento químico, fue efectivo en el proceso de digestión ya que con la implementación del mismo se logró modificar las propiedades físico-químico del material lignocelulósico en estudio, teniendo en cuenta que se logró la modificación de moléculas complejas a simples siendo este un indicador del rompimiento de la celulosa y la hemicelulosa, y su posterior transformación de azúcares en bioetanol.
- 3- Se diseñó un proceso de tratamiento de hojas de caoba, las cuales se producen en abundancia en la UNELLEZ y son consideradas un desecho orgánico; con el proceso aplicado a escala de laboratorio se consiguió alcanzar el objetivo trazado en la investigación, además el mismo se comprobó la factibilidad técnica de desarrollarse a escala de laboratorio y confirma los bajos rendimientos de este tipo de materia prima reportados en la literatura frente a las fuentes tradicionales de azúcares.
- 4- La investigación efectuada reveló datos no disponibles en la literatura que permitieron realizar los ajustes necesarios para lograr la elaboración del alcohol empleando tecnología e instalaciones disponibles en la UNELLEZ. A la par que ofrece una mejor comprensión acerca de la posibilidad de producir bioetanol a partir de material lignocelulósico con tratamiento químico.

RECOMENDACIONES:

- 1- Se recomienda seguir la línea de investigación sobre el uso de materia prima de origen forestal para la elaboración de etanol a fin de conseguir un proceso optimizado y escalable que resulte considerable en la carrera por el uso de fuentes de energía renovable.
- 2- La materia que va a ser utilizada debe tener un correcto secado, manejo y un pretratamiento para reducir las pérdidas de lignina presente ya que de ello va a depender la composición lignocelulósica óptima para la producción de bioetanol en la fermentación.
- 3- En la hidrólisis ácida no es necesario tener una alta concentración, sólo se estima un tiempo prudente de hidrolizada para tener un mejor rendimiento.
- 4- Se recomienda calentar hasta ebullición el agua destilada a emplear en la etapa de lavado para mejorar la extracción del material soluble de la materia prima digerida .
- 5- Determinar si la cantidad de proteínas, lípidos y otras biomoléculas interfieren de manera positiva en el proceso.
- 6- Para la fermentación es muy importante controlar su pH, ésta a medida que pasa el tiempo la solución se vuelve más ácida, si la solución no cumple el tiempo de fermentación y su pH aumenta se tiene que neutralizar nuevamente con hidróxido de sodio.
- 7- Todos los materiales utilizados en el proceso de fermentación deben estar previamente esterilizados para impedir la contaminación de las muestras con otros microorganismos que se pueden encontrar en el ambiente, y puedan afectar las condiciones para que los microorganismos realicen su proceso metabólico correctamente.

- 8- Durante la fase de destilación es importante considerar que la temperatura de destilación a la que el etanol está a su punto de ebullición es de 78°C, de sobrepasar esta temperatura la cantidad de agua en el destilado es muy alta por lo que se requeriría realizar otro proceso para refinación.
- 9- Se recomienda realizar un análisis de costo para poder conocer si es factible económicamente la fabricación del etanol por esta vía a escala industrial.
- 10- Se recomienda que se realice un estudio posterior sobre la aplicación del producto en el funcionamiento de motores de combustión interna.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- **Galo Reynel Alvarado Ludeña (Cuenca- Ecuador, 2021) “Obtención del bioetanol a partir del bagazo de la caña de azúcar mediante hidrólisis enzimática” .**

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21229/1/UPS-CT009334.pdf>

- **Ever Aldo Ventura Ibañez (Tarija- Bolivia, octubre 2020) “Obtención experimental de bioetanol a partir de de material lignocelulósico de residuos del maíz amarillo (marlo u olote)”.**

<https://dicyt.uajms.edu.bo/investigacion/index.php/quimica/article/view/174/150>

- **Kiara Yanibeth Montiel Centeno y Leticia del Carmen Romero Castro (Managua, Diciembre 2015). Obtención de bioetanol a partir de la coronta (Olote) del maíz HS-5, por el método de hidrólisis acida diluida- Fermentación separada, Laboratorio de química UNAN- MANAGUA, I-II Semestre 2015.**

<https://repositorio.unan.edu.ni/1357/1/Monograf%C3%ADa%20KiaraLeticia.pdf>

- **Carla Arellanos Perales (Orizaba- Ver, Marzo 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>

- **VÁSQUEZ RUIZ SAMANTHA MAITE (Cuenca-Ecuador, 2019) “OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE BIOMASA LIGNOCELULOSICA PRESENTE EN LA CASCARILLA DEL ARROZ PARA SER UTILIZADOS EN EQUIPOS MOTORIZADOS”**

<https://dokumen.tips/documents/universidad-politcnica-salesiana-sodio-al-20-y-cloruro-de-sodio-al-05.html?page=10>

- **El Cotidiano, núm. 157, septiembre-octubre, 2009, pp. 75-82 (México), “Los biocombustibles”**

<https://www.redalyc.org/pdf/325/32512739009.pdf>

- **Alejandro Julio Abril & Enrique A. Navarro, (Octubre, 2012) “Etanol a partir de biomasa lignocelulósica”.**

<https://www.researchgate.net/profile/Enrique>

[Navarro/publication/241216642_Etanol_a_partir_de_biomasa_lignocelulosica/links/0c96051c8409028b93000000/Etanol-a-partir-de-biomasa-lignocelulosica.pdf](https://www.researchgate.net/publication/241216642_Etanol_a_partir_de_biomasa_lignocelulosica/links/0c96051c8409028b93000000/Etanol-a-partir-de-biomasa-lignocelulosica.pdf)

- **Óscar Julián Sánchez & Carlos Ariel Cardona (Caracas nov. 2005) “Producción biotecnológica de alcohol carburante I: obtención a partir de diferentes materias primas”.**

https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005001100005

- **Héctor Iván Velásquez, Angela Adriana Ruiz & Silvio de Oliveira Junior (Medellín, Marzo-2010) “Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano”**

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302010000100010

- **NORMA VENEZOLANA COVENIN (3107- 1994) “AZUCAR. DETERMINACION DE AZUCARES REDUCTORES”**

<http://www.sencamer.gov.pe/sencamer/normas/3107-94.pdf>

- **Mayra Zola-González, Manuel Barranzuela-Puémape, Catherin Girón Escobar, Dante Guerrero-Chanduví (Lima, Agosto-2017) “ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO EN PIURA”.**

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3996/Estudio_experimental_obtencion_bioetanol_a_partir_cascara_platano_Piura.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- **Palella, S. y Martins, F. (2008). Metodología de la Investigación Cuantitativa (2ª Edición). Caracas: FEDUPEL.**

ANEXOS.

Anexo: N°1 Recolección y selección de la materia prima (hojas secas).



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Anexo: N°2 Pesado de las hojas.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Anexo: N°3 Lavado de la materia prima.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Anexo: N°4 Secado



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Anexo: N°5 Molienda o Reducción de tamaño.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Anexo: N°6 Pesado.



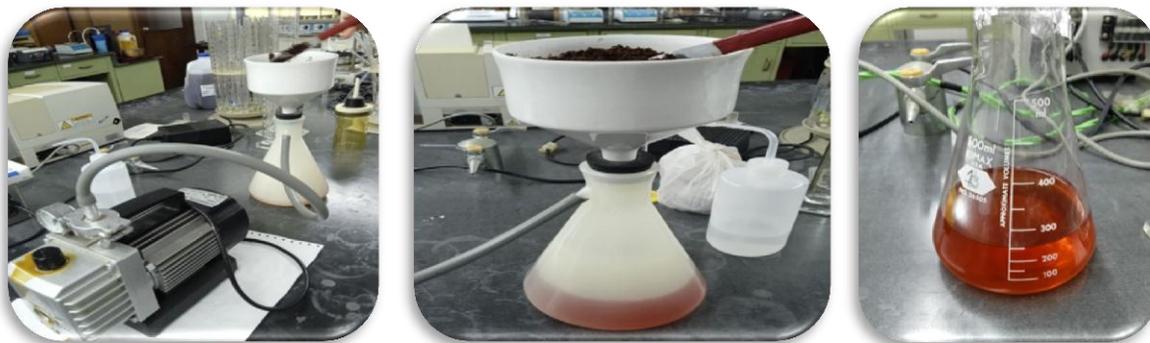
Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Anexo: N°7 Hidrólisis Ácida.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Anexo: N°8 Filtración al vacío.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Anexo: N°9 Neutralización.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Anexo: N°10 Clarificación.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Anexo: N°11 Análisis de azúcares reductores.



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Anexo: N°12 Fermentación.





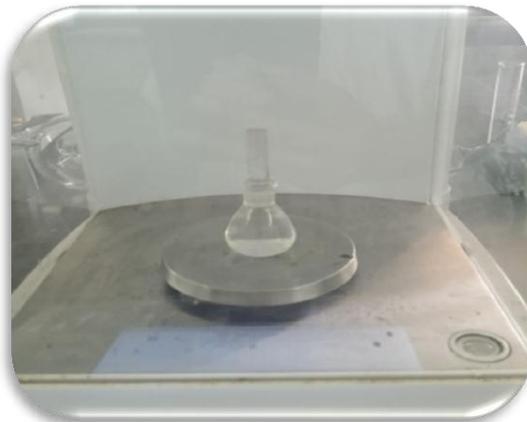
Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Anexo: N°13 Destilación



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Anexo: N°14 Densidad por picnometria



Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)

Anexo: N°15 Hoja electrónica diseñada por el Ing. Gericksson Devies

Calculadora de % de etanol y °GL de un destilado alcoholico	
Densidad de la muestra (g/cm ³)	0,9684
Temperatura de la muestra (°C)	30
% de etanol en agua (m/m)	16,7
°GL	20,7
Conversión de %m/m a °GL	
% de etanol en agua (m/m)	14,5
Temperatura	29
°GL	18,1

Fuente: Alvarado & Rodríguez (2023)