



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CARRERA QUÍMICA INDUSTRIAL

**SEMINARIO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
LICENCIADA EN QUÍMICA INDUSTRIAL**

TÍTULO:

**Estudio del proceso de obtención de bioetanol a partir de cáscara de
banano (*Musa acuminata*), UNAN-Managua, septiembre-diciembre 2019.**

Autores:

Bra. Xochilt Dayana Ramírez Flores
Bra. Pamela Ruby Salvatierra Mendoza

Tutor:

PhD. Danilo López Valerio

Asesor:

Esp. José Luis Prado Arroliga

Managua, Enero de 2020.



ASPECTOS GENERALES





TÍTULO:

Estudio del proceso de obtención de bioetanol a partir de cáscara de banano (*musa acuminata*), UNAN-Managua, septiembre-diciembre 2019.

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios, quien es el centro de mi vida, quien me da la fuerza cada mañana para continuar conquistando cada una de las metas que me he propuesto, porque sin él nada hubiese sido posible y porque de él viene la sabiduría, la inteligencia y el entendimiento.

A mis padres Juan Carlos Ramírez Argüello y Mercedes Flores García, quienes siempre han sido el motor de mi vida, mi soporte, por ser mi mayor apoyo de manera incondicional. En sí, a quienes les debo casi todo lo que soy hasta este momento. Los amo papá y mamá.

A mi hermana Nayelys Ramírez y mi hermano Juan David Ramírez, que son una de mis mayores bendiciones, porque son esa chispa que alumbra mis tiempos oscuros, porque sencillamente los amo con toda mi alma.

A mi novio Nelson Zúniga (Q.E.P.D.) porque siempre demostró su amor incondicional hacia mí, por regalarme momentos inolvidables. Sobre todo, por motivarme a seguir y a luchar por todas mis metas, quien me enseñó que ningún problema es imposible de resolver cuando se quiere llegar a obtener lo deseado. Aunque ahora ya no está aquí físicamente, su recuerdo vive conmigo siempre y sus consejos me ayudaron a mantenerme con fuerzas para terminar esta fase de mi vida. Hasta el cielo para ti, mi amor.

A mi tío Max Daniel Argüello (Q.E.P.D.) por su confianza y cariño hacia mi, porque siempre supo que cumpliría mis metas y me dio su voto de confianza. Gracias por todas las risas, todos los buenos momentos compartidos tío. Te llevo en mi mente y corazón.

Xochilt Dayana Ramírez Flores.

DEDICATORIA

A DIOS

Por regalarme el don de la vida, por ser mi guía en momentos difíciles y brindarme la sabiduría necesaria para concluir esta etapa importante en mi vida.

A mis Padres

Octavio Ramón Salvatierra Lorío, Ruby Mendoza Bravo por haberme heredado el tesoro más valioso que puede darle a un hijo (educación), por su apoyo incondicional y por la confianza que depositaron en mí, todo lo que soy se lo debo a ustedes.

Abuelos

Jorge Salvatierra Alemán, Angélica Lorío (Q.E.P.D), más que mi abuelo es mi héroe, un cómplice de muchas aventuras gracias por todo su apoyo incondicional en todo momento de mi vida, este triunfo es de ustedes.

Apolinar Mendoza, Eudomilia Bravo, son personas que se preocupan por mí, sus consejos me encaminaron por el buen camino.

A mis hermanos

Jorge Alonso Salvatierra Mendoza (Q.E.P.D) mi mayor gratitud, este nuevo triunfo es también de ti hermano de mi corazón siempre vivirás en mis recuerdos.

Jessica y Allan Salvatierra quienes llenan con cariño y afecto todo momento de mi vida.

A mi tía Angelita Salvatierra por motivarme en todo momento.

Pamela Ruby Salvatierra Mendoza.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios padre, porque sin él en este largo camino recorrido no lo habría podido culminar, por la salud y por toda la gracia puesta en mí para alcanzar una de mis más grandes metas, por las maravillosas personas que me ha dado por padres y por los grandiosos hermanos que me ha regalado.

A mis padres, a quienes amo infinitamente por siempre dar todo lo que puedan con tal de que yo culmine cada una de mis metas y proyectos de vida, sobre todo por su amor incondicional. Gracias por todos sus buenos valores y consejos, por hacer de mí una mujer de bien.

A mi hermana y hermano, que siempre han sido una motivación más en mi vida para alcanzar lo que me proponga, gracias por su afecto y su confianza en mí. Gracias a ellos por considerarme su ejemplo de superación a seguir.

También estoy agradecida inmensamente con la **familia Zúniga Ortíz**, porque me han acogido como parte de ellos, por mostrarme su cariño incondicional, por estar conmigo en la culminación de mis estudios profesionales y por confiar en mí como persona y profesional.

A mis amigos y familiares, quienes han sido parte fundamental de mi camino recorrido, gracias el afecto puesto en mí, por el tiempo dedicado para compartir conmigo. Pero en especial a mis amigas y compañeras **Pamela Ruby Salvatierra Mendoza y Grethel Alexandra González Martínez**, a quienes les guardo demasiado aprecio y cariño, por compartir a lo largo de este camino, por ser un apoyo incondicional en esta etapa, porque siempre me han mostrado que la amistad sobrepasa cualquier obstáculo.

Agradezco a todos los maestros que a lo largo de mi formación académica me compartieron de su conocimiento. Pero quiero expresar mis más sinceros agradecimientos al **PhD. Danilo López Valerio y Esp. José Luis Prado Arroliga**, por brindarme su apoyo desde inicios de este camino, por compartir sus conocimientos y por su confianza en mi persona, por animarme a seguir luchando por cada una de mis metas y sobre todo por su valiosa amistad.

A todas estas personas, muchas gracias.

Xochilt Dayana Ramírez Flores.

AGRADECIMIENTOS

Doy infinitas gracias a **DIOS** por su amor infinito, por haberme cuidado, guiado en cada uno de mis pasos, por ser la fortaleza en los momentos de debilidad, por brindarme una vida llena de aprendizaje y sobre todo felicidad.

A mis queridos padres que les debo toda en esta vida, por su apoyo incondicional, admiro su sacrificio y por haberme infundido valores que me han ayudado en mi formación personal son mi ejemplo a seguir.

A mis apreciados abuelos por qué en cada momento han estado apoyándome y por brindarme sabios consejos.

A mis hermanos, tías, primos, sobrinos (as), amigos (as) por su cariño y motivarme siempre.

Expreso mi profundo agradecimiento al **PhD. Danilo López Valerio**, quien me brindo valiosos consejos, animó en todo momento para realizar este trabajo quien nos brindó una mano amiga.

Mi asesor y amigo **Esp. José Luis prado** por ayudarnos con la estructuración metodológica.

A mi mejor amiga Adriana Mena por estar siempre a mi lado desde que éramos niñas, el tiempo ha pasado y aun sigues cerca de mi ofreciéndome tu apreciada amistad.

A mis compañeras y amigas Xochilt Ramírez y Alexandra González, con las que compartí buenos y malos momentos de mi vida brindándome compañía, cariño y apoyo me enseñaron el verdadero significado de la amistad.

A todos los profesores que me enseñaron a lo largo de mi vida académica, eh aquí el fruto de cada clase.

Y a todas las personas que me apoyaron para dar por concluido este trabajo.

Infinitas gracias

Pamela Ruby Salvatierra Mendoza.

CARTA AVAL



CARTA TUTORIAL Y DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD



El presente Seminario de graduación titulado "**Estudio del proceso de obtención de bioetanol a partir de cáscara de banano (Musa acuminata), UNAN-Managua, septiembre - diciembre 2019**", ha sido realizado por las bachilleras **Xochilt Dayana Ramírez Flores y Pamela Ruby Salvatierra Mendoza** bajo la tutoría de mi persona **Dr. Danilo Ambrosio López Valerio**. En mi facultad doy fe de que las bachilleras han cumplido con todas las disposiciones y requisitos académicos en cuanto a la elaboración del presente seminario de graduación para optar al título de Licenciada en Química Industrial, además se declara la autenticidad de la información reflejada en el documento.

Managua, 20 de enero de 2020

*Dr. Danilo López Valerio
Docente
Departamento de Química
UNAN-Managua
Tutor*

Bra. Xochilt Dayana Ramírez Flores & Bra. Pamela Ruby Salvatierra Mendoza

CARTA DE ASESORIA Y DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

El presente Seminario de graduación titulado **"Estudio del proceso de obtención de bioetanol a partir de cáscara de banano (Musa acuminata), UNAN-Managua, septiembre - diciembre 2019"**, ha sido realizado por las bachilleras **Xochilt Dayana Ramírez Flores y Pamela Ruby Salvatierra Mendoza** bajo la asesoría metodológica de mi persona **Esp. José Luis Prado Arroliga**. En mi facultad doy fe de que las bachilleras han cumplido con todas las disposiciones y requisitos académicos en cuanto a la elaboración del presente seminario de graduación para optar al título de Licenciada en Química Industrial, además se declara la autenticidad de la información reflejada en el documento.

Managua, 20 de enero de 2020

*Esp. Jose Luis Prado Arroliga
Coordinador Química Industrial
Departamento de Química
UNAN-Managua
Asesor Metodológico*

Bra. Xochilt Dayana Ramírez Flores & Bra. Pamela Ruby Salvatierra Mendoza

RESUMEN

Este trabajo consistió en el análisis de la información revisada sobre la obtención de bioetanol a partir de material lignocelulósico (cáscara de banano). Y así, presentar un proceso tecnológico con las condiciones operacionales adecuadas, para la producción de combustible alternativo.

Se indagaron las propiedades químicas de la cáscara de banano de las variedades Gros Michel, Gian Cavendish y Musa Paradisiaca; reportando un total de material fermentable de 28% (13.2% de celulosa y 14.8% de hemicelulosa) para la variedad Gros Michel, haciendo de este una materia prima potencial para la producción de bioetanol.

En general, el proceso para la transformación del material celulósico, consiste en reducción de tamaño, pretratamiento básico, hidrólisis ácida o enzimática, para la transformación de la celulosa y hemicelulosa a azúcares fermentables, y finalmente fermentación y separación del etanol por destilación y secado para obtenerlo grado combustible de 99,95 % de alcohol.

Se realizó el estudio bibliográfico de resultados con diferentes autores relacionados con pretratamientos químicos, realizando hidrólisis ácida y enzimática; reportando material convertible a azúcares reductores, deduciéndose que la cáscara de banano es apta para producir bioetanol.

Se sugiere pretratamiento mecánico para reducción de tamaño y un pretratamiento químico hidrólisis básico, para romper la pared celular de la lignina. para materiales con bajo porcentaje de lignina como la que presenta la cáscara de banano, seguido de una fermentación utilizando *Saccharomyces Cerevisiae*. Las principales condiciones sugeridas son concentraciones de NaOH al 0,1 M, temperatura 70 °C, por 30 minutos; para la hidrólisis ácida se sugiere H₂SO₄ a una concentración de 1,5% v/v a 91 °C por 20 min.

Palabras claves: *Hemicelulosa, celulosa, almidón, hidrólisis, fermentación, biomasa.*

ÍNDICE

ASPECTOS GENERALES

| | |
|----------------------|------|
| DEDICATORIA..... | ii |
| AGRADECIMIENTOS..... | iv |
| CARTA AVAL..... | vi |
| RESUMEN..... | viii |

CAPÍTULO I

| | |
|--------------------------------------|---|
| 1.1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.2. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA | 2 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN | 3 |
| 1.4. OBJETIVOS..... | 4 |

CAPÍTULO II

| | |
|----------------------------------------------|----|
| 2.1. MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1.1. Banano (<i>Musa Acuminata</i>)..... | 5 |
| 2.1.2. Biomasa..... | 10 |
| 2.1.3. Hidrólisis..... | 13 |
| 2.1.4. Fermentación..... | 14 |
| 2.1.5. Levadura..... | 15 |
| 2.1.6. Destilación..... | 17 |
| 2.1.7. Adsorción..... | 17 |
| 2.1.8. Bioetanol..... | 18 |
| 2.2. ANTECEDENTES | 24 |
| 2.3. PREGUNTAS DIRECTRICES | 26 |

CAPÍTULO III

| | |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. DISEÑO METODOLÓGICO..... | 27 |
| 3.1.1. Descripción del ámbito de estudio..... | 27 |
| 3.1.3. Población y muestra..... | 27 |
| 3.2. Identificación y Operacionalización de variables | 28 |
| 3.3. Materiales y métodos..... | 28 |

CAPÍTULO IV



| | |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS | 31 |
| CAPÍTULO V | |
| 5.1. CONCLUSIONES | 36 |
| 5.2. RECOMENDACIONES | 37 |
| 5.3. BIBLIOGRAFÍA | 38 |
| ANEXOS | 1 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Tabla 2.1. Composición química de la cáscara de banano Gros Michel | 7 |
| Tabla 2.2. Componentes de la pulpa del banano Gros Michel. | 7 |
| Tabla 2.3. Propiedades físicas del bioetanol. | 19 |
| Tabla 2.4. Propiedades químicas del bioetanol. | 19 |
| Tabla 2.5. Propiedades termoquímicas del bioetanol. | 19 |
| Tabla 2.6. Propiedades del combustible. | 22 |
| Tabla 4.1 Resultados de la composición química de la cáscara de banano. | 31 |
| Tabla.4.2. Procesos de obtención de bioetanol. | 32 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figura 2.1. Banano Gros Michel. | 6 |
| Figura 2.2. Estructura de la celulosa. | 8 |
| Figura 2.3. Estructura molecular de la hemicelulosa. | 9 |
| Figura 2.4. Estructura de la lignina (monómeros de la lignina). | 10 |
| Figura 2.5. Esquema de la producción global de bioetanol de segunda generación (2G) a partir de residuos lignocelulósicos. | 11 |
| Figura 2.6. Efecto del pretratamiento en el material lignocelulósico. | 12 |
| Figura 4.1. Flujograma (ASME) para el proceso tecnológico de la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de banano. | 34 |

ABREVIATURAS

ADP: Adenosindifosfato.

ATP: Adenosintrifosfato.

ATM: Atmósfera.

CFR: Cooperative Fuel Reserch.

EMP: Embden-Meyerhoff-Parnass.

HMF: Hidroximetilfurfural.

FAO: Food and Agriculture Organization.

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganaderia.

RON: Research Octane Number.

MCI: Motores de combustión interna.

NaOH: Hidróxido de sodio.

H₂SO₄: Ácido sulfúrico.

g/L: Gramos sobre litros.

µm: Micrómetros.

N: Normal.

h: Horas.

min: Minutos.

pKa: Constante de disociación.

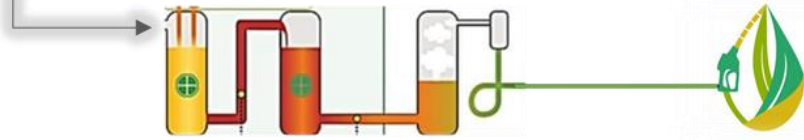
2G: Segunda generación.

PEG: Polietilenglicol.

ROH: Alcohol.



CAPÍTULO I



1.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente los hidrocarburos (combustibles fósiles) son imprescindibles a nivel mundial, debido a la falta de una mayor producción de combustibles alternos. Por otra parte, el consumo de combustibles derivados del petróleo influye en la contaminación ambiental, en los ecosistemas mediante la lluvia ácida, efecto invernadero, smog fotoquímico; se estudian otras alternativas debido a su previsto agotamiento, afectaciones en la salud y en la economía.

En latinoamérica se han desarrollado nuevos estudios estratégicos en la producción de energía, tales como, energía solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y la transformación de biomasa en biocombustibles, para disminuir el uso de derivados del petróleo. Tal es el caso del bioetanol, que se considera como opción para reducir el consumo de derivados del petróleo, el cual toma más auge debido a su aporte económico y ambiental.

Nicaragua no cuenta con muchos estudios estratégicos en la producción de energía en base a la transformación de biomasa en biocombustibles, para disminuir el uso de derivados del petróleo. Tal es el caso del bioetanol, que se considera como opción para reducir el consumo de derivados del petróleo, el cual toma más auge debido a su aporte económico y ambiental.

Para la elaboración de este documento se realizaron revisiones bibliográficas actualizadas relacionada al tema, en la biblioteca virtual y repositorio UNAN-Managua, entre otros. Además, se incluyen investigaciones realizadas en el país. El análisis de los procesos servirá como referencia a futuros trabajos experimentales dentro del campo de energía renovable. Este trabajo se enfoca específicamente en el aprovechamiento de la cáscara del banano como biomasa y proponer procesos tecnológicos y condiciones operacionales adecuadas.

1.2. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

El combustible fósil es indispensable para el desarrollo de la sociedad. A más consumo, aumenta su costo, también interfiere como amenaza para el medio ambiente y la salud, además del agotamiento previsto de este recurso no renovable. Por tal razón, la tendencia del consumo de bioetanol es una opción; la transformación de la materia prima proveniente de residuos lignocelulósicos de biomásas, parte de varios pretratamientos en estudio para definir el más apropiado. Para ello, se consideran las condiciones económicas y tecnológicas para desarrollar este proceso.

En algunos países de América Latina, tales como: Brasil, Argentina y Colombia (FAO, 2014) se ha implementado el uso de biocombustibles, con el fin de aportar a la economía, dando valor agregado a los residuos de subproductos y amigables con el ecosistema. Sin embargo, no todos usan el mismo procedimiento para su obtención, por tanto, se realizará una revisión bibliográfica con el fin de determinar los pretratamientos adecuados para la obtención de biocombustible.

En Nicaragua no se cuenta con un estudio referente sobre la producción de bioetanol que esté asociado con el uso de residuos de biomasa del banano. La revisión y análisis del proceso de transformación de materia prima aportará al conocimiento para el aprovechamiento de este residuo que representa un 20% de la producción en el país; aportando de esta manera y al crecimiento económico y dando valor agregado a materia orgánica considerada como desecho, considerando que la agricultura es una de las potencias económicas a nivel nacional, y con respecto al crecimiento de la producción de banano que es 7% con relación al período 2018. (MAG, 26)

1.3. JUSTIFICACIÓN

Cada vez es más común el estudio del desarrollo de nuevas fuentes de combustibles alternos, con el fin de disminuir el consumo de hidrocarburos. Al estudiar los distintos tratamientos se planteará el que presente la tecnología más viable para su transformación, de tal manera que aporte los conocimientos científicos y tecnológicos para la conversión de biomasas, previendo el ascenso económico y disminución de contaminación al medio ambiente.

La producción a gran escala en Latinoamérica ha sido muy evidente, siendo Brasil uno de los mayores productores de biocombustible. Por tanto, dan un aporte a la economía de los sectores más bajos del continente y también la no dependencia de los grandes países productores de petróleo.

La importancia de este estudio se fundamenta en estudiar la tecnología en la transformación de las cáscaras de banano generadas como residuos en un producto de mayor valor agregado, de manera que los resultados técnicos obtenidos sirvan de base para ejecutar el estudio que viabilice el aprovechamiento de estos. Además, aportar como solución al problema energético actual del país y disminuir de manera sustancial la dependencia económica que tiene el país hacia los productores de petróleo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1.1. Objetivo General.

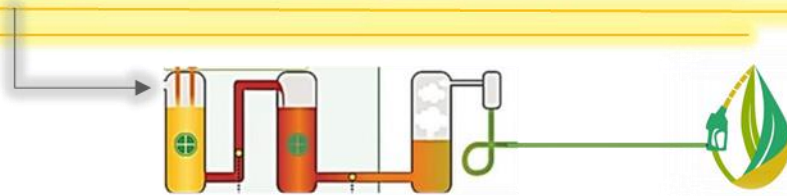
Estudiar el proceso de obtención de bioetanol a partir de cáscara de banano (*musa acuminata*).

1.4.1.2. Objetivos Específicos.

1. Describir las propiedades físico químico de la cáscara de banano Gros Michel como materia prima potencial de bioetanol.
2. Comparar los procesos de obtención de bioetanol a partir de residuos agroindustriales basados en las revisiones bibliográficas.
3. Definir las etapas del proceso de obtención de bioetanol a partir de la cáscara de banano Gros Michel.
4. Explicar las propiedades relevantes del bioetanol para el uso como combustible en motores de combustión interna.



CAPÍTULO II



2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Banano (*Musa Acuminata*).

El banano es una planta herbácea con pseudotallo aéreo de gran tamaño, puede tener entre 80 a 120 gramos de peso. El fruto se caracteriza por tener forma curvilínea, color amarillo, sabor dulce, textura dura. El tronco está formado por los tallos de las hojas. Las hojas nacen de un cormo y de este cormo crecen varios troncos.

Cada tronco da una fruta y después muere. Otros troncos de la unidad continúan la producción. La fruta se llama racimo, es una planta que se desarrolla mejor en condiciones óptimas en las regiones tropicales, que son húmedas y cálidas. Se produce en casi todos los países tropicales y también en algunos países sub tropicales. (Kruiter, 2012)

2.1.1.1. Clasificación taxonómica.

El banano pertenece al orden de frutos climatéricos Escitimales (6 familias) familia; Musáceas (3 subfamilia) este género está dividido en 5 secciones, de los que la sección: Eumusa comprende las dos especies; *Mussa Acuminata* (banano) y *Mussa balbisiana* (plátano) (Cardeñosa, 2010)

2.1.1.2. Variedades de banano (subfamilia de musáceas)

Los bananos corresponden al orden *scitamineae*, familia *Musaceae* género *Musa*, algunas variedades existentes entre ellos son:

- a) **Gros Michel:** Es una variedad grande y robusta, su pseudotallo tiene una longitud de 6 a 8 m de color verde. Los racimos cuelgan verticalmente son alargados de forma cilíndrica con 10 o 14 manos promedio. Los limbos son verdes siendo de 4 m de largo por 1 m de ancho.
- b) **Giant Cavendish:** Tiene una altura entre 2,8 m y 3 m sus limbos son cortos y grandes con falsos entrenudos cortos. Su racimo es de aspecto troncocónico.
- c) **Cavendish enano:** Posee un pseudotallo con altura de 2 m, sus limbos foliares son anchos y cortos. Los racimos presentan una forma troncocónica definida porque sus manos están más cerca unas a otras. (HUMICOS, 2013)

- d) **Musa Paradisiaca:** De sabor dulce “banano” o “platanera” un triploide estéril con fruto partenocárpico. (Infojardin, s.f.)

En la figura 2.1 se puede observar el banano de variedad Gros Michel en un estado maduro, sin presencia de manchas oscuras que conllevarían a un estado de putrefacción.

Figura 2.1. Banano Gros Michel.



Fuente: (Island Organics, s.f.)

2.1.1.3. Producción de banano en Nicaragua.

La producción de banano en Nicaragua supera el millón de cajas de exportación (MAG), se registra una producción nacional de bananos de 2 442 manzanas y de 5 783 097 cajas de 42 libras, lo que representa un 26% de plan previsto para el periodo 2018-2019, de 6,9 millones de cajas. (Martinez, 2018)

Según el Banco Central de Nicaragua en el año 2018 se exportaron un total de 5 millones 712 744 cajas de 42 libras de banano lo que se traduce a 9,6 millones de dólares, y en lo que respecta al año actual 2019 (enero-abril) se lleva un total de exportaciones de 2,7 millones de dólares. En Nicaragua se cuenta con un área de 1 530 hectáreas de cultivo de esta fruta. Siendo Chinandega el principal productor de banano, donde el 80% de lo cultivado se exporta y un 20% se queda en el país.

2.1.1.4. Propiedades físico químicas de la cáscara de banano.

A continuación, en la tabla 2.1 y la tabla 2.2 se presentan las propiedades físico químicas de la cáscara y la pulpa respectivamente del banano Gros Michel.

Tabla 2.1. Composición química de la cáscara de banano Gros Michel.

| Cáscara de banano maduro | | Cáscara de banano maduro | |
|--------------------------|-------|--------------------------|------|
| Componentes | % | Componentes | % |
| Almidón | 0,78 | Celulosa | 13,2 |
| Agua | 55,51 | Lignina | 14 |
| Hemicelulosa | 14,8 | Cenizas | 1,71 |

Fuente: (Velasquez & Millan, 2012)

Tabla 2.2. Componentes de la pulpa del banano Gros Michel.

| Componentes | Pulpa |
|----------------------------|-------|
| Humedad | 73,3 |
| Azúcares reductores | 0,16 |
| Almidón | 20,3 |
| Polisacáridos hidrolizados | 4,14 |
| Sacarosa | 2,1 |

Fuente: (Riaño, Morales, & Hernandez, 2016)

2.1.1.5. Composición y estructura lignocelulósica del banano.

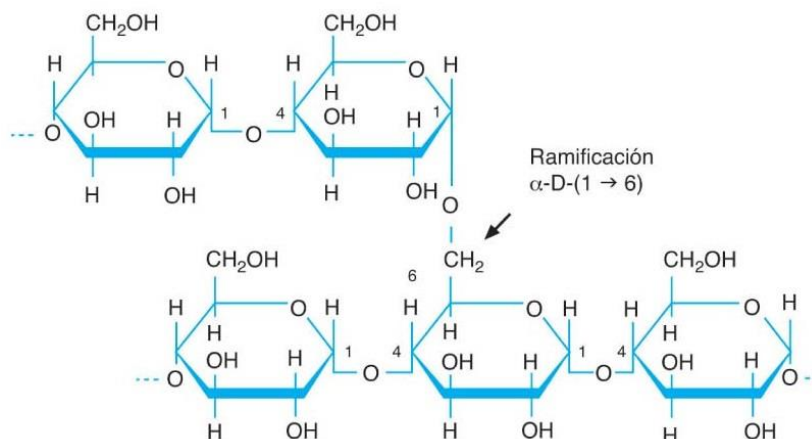
La biomasa lignocelulósica está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa, lignina y otras sustancias que no forman parte de la pared celular como son las cenizas y pequeñas partes de extractivos.

2.1.1.6. Celulosa.

Es un biopolímero, forma parte de estructuras biológicas vegetales. La celulosa es un polímero lineal cuya unidad estructural es la celobiosa, formada por residuos D-glucopiranosas unidas mediante un enlace $\beta(1-4)$.

En la figura 2.2 se muestra la estructura de la celulosa.

Figura 2.2. Estructura de la celulosa.



Fuente: (Madera pedia, 2019)

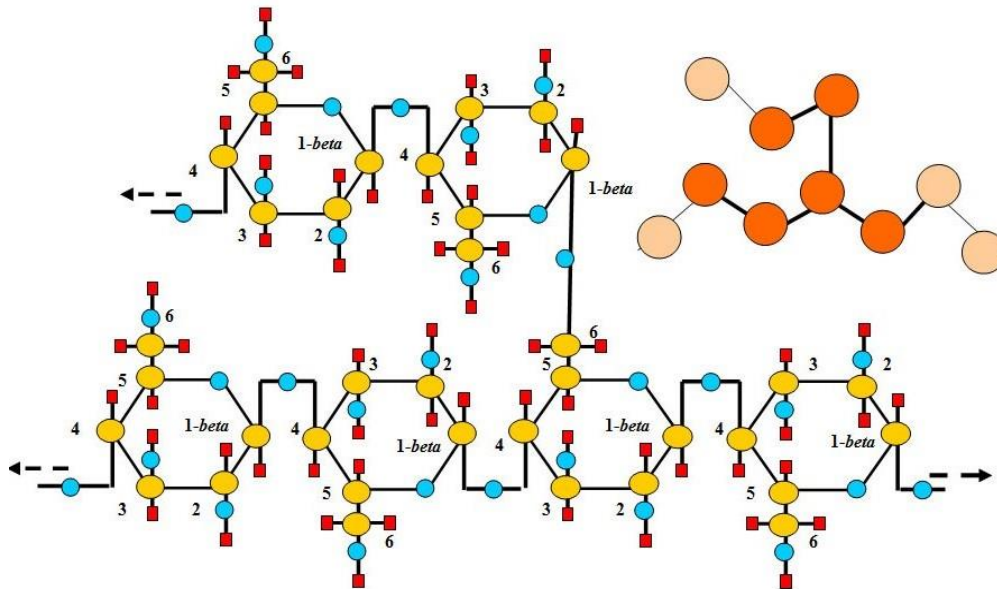
Su estructura es altamente cristalina debido a la presencia de puentes de hidrógeno inter e intramoleculares que fluyen en su morfología, rigidez, orientación, resistencia y reactividad. Las zonas de alta cristalinidad son difíciles de hidrolizar en sus unidades monoméricas, mientras que, en las zonas de menor cristalinidad, es decir amorfas, son accesibles y susceptibles a las reacciones químicas.

2.1.1.7. Hemicelulosa.

Es una estructura compleja de carbohidratos que consiste en diferentes polímeros tales como: pentosa (xilosa y arabinosa), hexosa (glucosa, manosa, y galactosa), y ácidos urónicos. La cadena principal de xilana está compuesta de residuos de β -xilopiranosos unidos mediante un enlace β (1-1). Se caracteriza por tener una configuración estructural amorfa y muy hidrofílica, por lo que es más accesible y fácil de hidrolizar que la celulosa.

En la figura 2.3 se muestra la estructura de la hemicelulosa.

Figura 2.3. Estructura molecular de la hemicelulosa.



Fuente: (Pradera, 2016)

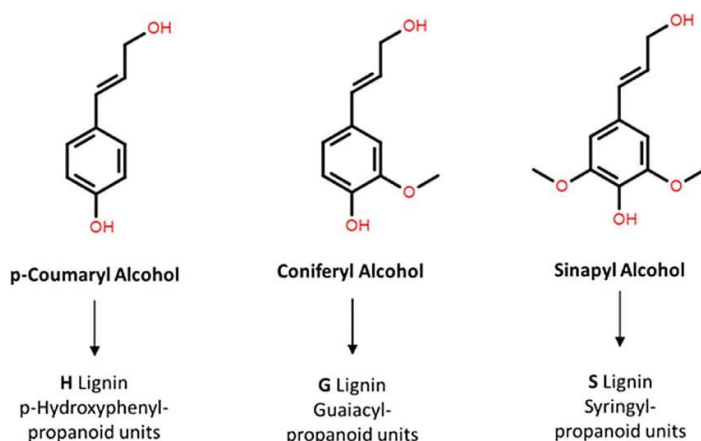
Los azúcares tipo C6 son fácilmente fermentables a etanol, pero los microorganismos normalmente usados en la industria para obtener alcohol etílico son capaces de metabolizar los azúcares de cinco átomos de carbono. A diferencia de la celulosa, la cual siempre tiene la misma estructura y composición, las de la hemicelulosa pueden variar ampliamente entre especies de plantas. Las cadenas poliméricas individuales contienen de 50 a 100 unidades monoméricas de azúcar. Debido a que las cadenas de hemicelulosa no son lineales, tienen ramificaciones laterales y no tienen estructura regular, no es cristalino y es fácilmente hidrolizado.

2.1.1.8. Lignina.

Es un heteropolímero amorfo, tridimensional y ramificado formado por alcoholes aromáticos que da soporte estructural, rigidez, impermeabilidad y protección a los polisacáridos estructurales (Celulosa y hemicelulosa) y es altamente resistente a la degradación química y biológica. Puede construir del 15 al 25% de la biomasa lignocelulósica, esta composición varía en cada especie.

En la figura 2.4 se pueden observar los monómeros que contiene la lignina.

Figura 2.4. Estructura de la lignina (monómeros de la lignina).



Fuente: (Maldonado, 2017)

2.1.2. Biomasa.

La biomasa es la materia orgánica generada en procesos biológicos espontáneos o provocados, con los cuales luego se lleva a cabo la producción de energía, combustibles y productos químicos. La biomasa lignocelulósica es una fuente de energía renovable con potencial en la producción de biocombustibles, cogeneración de energía eléctrica y generación de compuestos químicos. (Fernandez R. A., 2017)

Las fracciones más importantes para la obtención de bioetanol y otros productos químicos a partir de la biomasa lignocelulósica son la hemicelulosa (del 15% al 30% de peso seco del material) y la celulosa (del 35 al 50% del peso seco del material). La biomasa es menos costosa que los materiales convencionalmente usados para producir etanol.

2.1.2.1. Clasificación según materia prima.

El bioetanol puede obtenerse a partir de tres tipos de materias primas.

- Cultivos y materiales con alto contenido de sacarosa, como: la caña de azúcar, la remolacha y las melazas.
- Cultivos amiláceos con alto contenido de almidón, tales como: cereales, raíces o tubérculos.

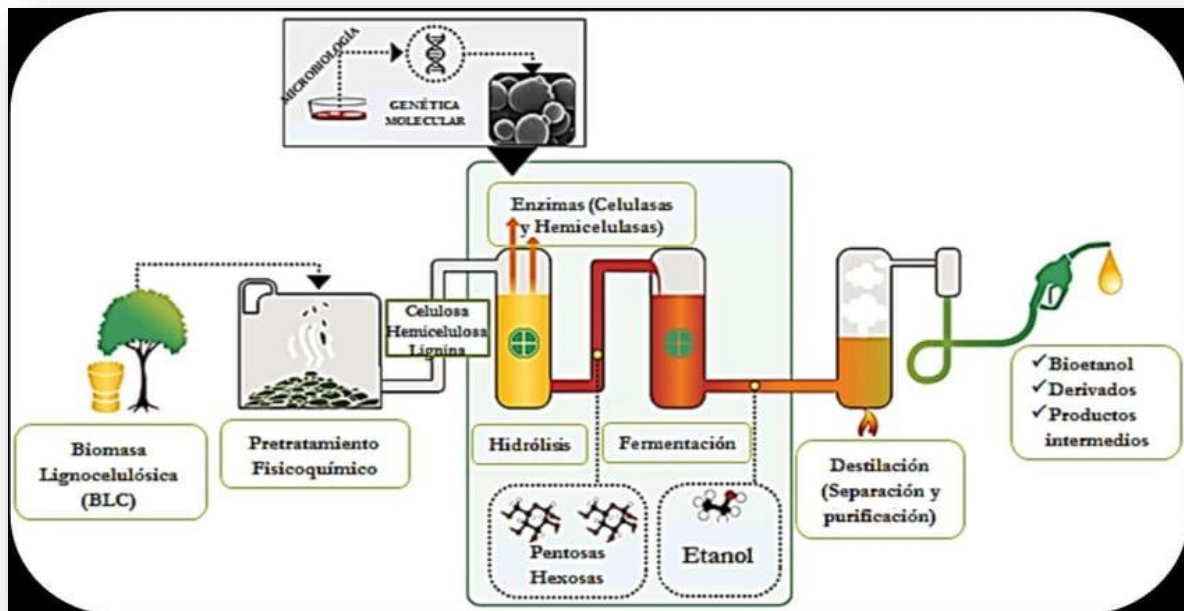
- Materias primas y cultivos con alto contenido de celulosa (lignocelulósicos), cuyos carbohidratos se encuentran en forma más compleja (madera, residuos agrícolas, cultivos lignocelulósicos, materiales herbáceos, etc.)

2.1.2.2. Proceso para la obtención de bioetanol.

El proceso de obtención de bioetanol de segunda generación, mantiene la consecución de las siguientes etapas: reducción de tamaño, pretratamiento, hidrólisis de celulosa y hemicelulosa, fermentación, recuperación y purificación de bioetanol. Estas etapas pueden llevarse a cabo mediante distintas configuraciones de proceso y dentro de cada una de ellas existen múltiples alternativas.

En la figura 2.5 se presenta un esquema de la producción global de bioetanol 2G.

Figura 2.5. Esquema de la producción global de bioetanol de segunda generación (2G) a partir de residuos lignocelulósicos.



Fuente: (Portal, 2016)

2.1.2.3. Pretratamiento.

Es el primer proceso de transformación de los componentes principales. Con estos procesos se pretende conseguir una reducción del contenido de lignina presente en las paredes celulares y así no reduzca el ataque enzimático.

Bra. Xochilt Dayana Ramírez Flores & Bra. Pamela Ruby Salvatierra Mendoza

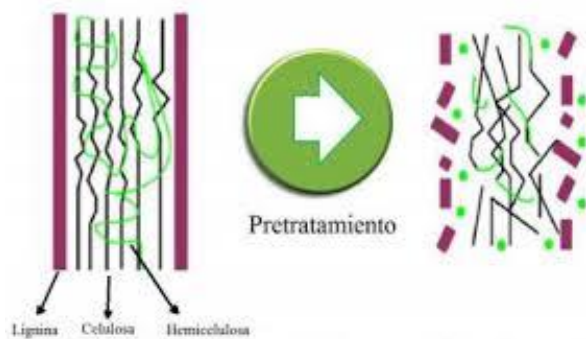
La etapa distintiva de este proceso consiste en las operaciones de recolección, transporte, manipulación y molienda para reducir el tamaño de partículas, lograr la apertura del material fibroso, convertirlo en una suspensión que se pueda bombear y facilitar la posterior penetración de los agentes químicos de la hidrólisis. (Abril & Navarro, 2012)

El método de Pretratamiento ideal debe cumplir con los requisitos siguientes:

- Producir fibras reactivas.
- Separar la pentosa sin degradarla.
- No generar compuestos que inhiban la fermentación.
- No requerir una reducción drástica del tamaño de partículas.
- No generar residuales sólidos.

En la figura 2.6 se muestra un ejemplo del efecto del pretratamiento en el material lignocelulósico.

Figura 2.6. Efecto del pretratamiento en el material lignocelulósico.



Fuente: (Baricaza, 2016)

2.1.2.4. Pretratamiento físico (mecánico).

Su objetivo principal es reducir el tamaño y densidad de la materia. Los principales métodos utilizados son la trituración mecánica y la pirólisis.

2.1.2.5. Trituración mecánica.

Consiste en molienda que reduce la cristalinidad de la celulosa, aumenta la superficie específica y densidad aparente y facilita la hidrólisis posterior. Tiene el inconveniente de su alto consumo energético, que depende tanto del tamaño final de partícula al que se tritura el material.

Bra. Xochilt Dayana Ramírez Flores & Bra. Pamela Ruby Salvatierra Mendoza

- Trituración mecánica con mortero.

El mortero posee un instrumento pequeño creado del mismo material llamado “mano o pilón” y es el encargado del triturado. Normalmente se encuentran hechos de madera, porcelana, piedra y mármol. Tiene como finalidad machacar o triturar sustancias sólidas. Al machacar sólidos en conjunto con líquidos, deberá molerse o triturarse muy suavemente para evitar salpicaduras.

2.1.2.6. Pretratamiento térmico.

- **Explosión con vapor.**

Combina altas temperaturas (180-240 °C) y presiones junto con una brusca descompresión posterior, provocando disgregación y ruptura de fibras y despolimerización y rotura de enlaces, se obtiene un producto fibroso cuya celulosa es más accesible a la hidrólisis. (viñals-verde, 2013)

2.1.2.7. Pretratamiento físico- químico.

- **Explosión por vapor con amoníaco (AFEX)**

Similar a la explosión por vapor, en el que la biomasa es impregnada con amoníaco líquido, a una temperatura de 90 °C, durante 30 minutos aproximadamente. Modifica las características estructurales de la lignina, favoreciendo el acceso de las enzimas celulíticas y polimeriza la hemicelulosa.

2.1.2.8. Pretratamientos Químicos.

- **Oxidación húmeda**

La biomasa se somete a la acción de agua a elevadas temperaturas (160-180 °C) en presencia de oxígeno. La solubilización de hemicelulosa suele ser más alta y la celulosa presenta un alto grado de desestructuración, aumentando el rendimiento del hidrólisis.

- **Ozonólisis**

Pretratamiento que básicamente actúa como deslignificador, lo que provoca que la hemicelulosa sea atacada ligeramente y la celulosa apenas sea afectada. No genera subproductos tóxicos y se elimina fácilmente.

2.1.3. Hidrólisis.

Es la descomposición o alteración que sufre una determinada sustancia química por el agua; implica la reacción de un producto químico orgánico utilizando el agua para poder formar dos

Bra. Xochilt Dayana Ramírez Flores & Bra. Pamela Ruby Salvatierra Mendoza

sustancias nuevas (división de enlaces químicos). La reacción de los ácidos o de las sales en solución, es debida a la presencia de iones hidrógeno; y la reacción básica de las bases o de las sales básicas en solución, es debida a la presencia de los iones oxidrilos. (Angiolani, 2016)

2.1.3.1. Hidrólisis ácida.

Es un proceso químico que emplea catalizadores ácidos para transformar las cadenas de polisacáridos que forman la biomasa (hemicelulosa y celulosa) en sus monómeros elementales. Este tipo de hidrólisis utiliza diferentes clases de ácidos: sulfuroso, clorhídrico, sulfúrico, fosfórico, nítrico y fórmico (Galbe y Zacchi, 2014). Siendo solamente usados a nivel industrial los ácidos clorhídrico y sulfúrico.

Los métodos industriales de hidrólisis ácida se agrupan en dos tipos: los que emplean ácidos concentrados (10-30%), trabajan a bajas temperaturas (170-190 °C) y mayor tiempo de residencia; y los que utilizan ácidos diluidos (1-5%), a temperaturas más altas (160-240 °C). Tiempo de reacción de 6-12 segundos.

La principal reacción que ocurre durante el pretratamiento ácido es la hidrólisis de hemicelulosa, especialmente xilano como glucómano. La hemicelulosa puede ser sometida a reacciones hidrolíticas produciendo monómeros, como furfural, HMF y otros productos. Durante el pretratamiento ácido, la lignina es rápidamente condensada y precipitada en ambientes ácidos. (Liu y Wyman, 2013)

2.1.3.2. Hidrólisis básica.

Se lleva a cabo con NaOH diluido donde se sumerge el material lignocelulósico, a 60 °C por 24 horas, produciendo un hinchamiento de la biomasa, teniendo lugar reacciones como solvatación y saponificación. Esto provoca un estado de inflamación de la biomasa, lo que la hace más accesible para enzimas y bacterias. Las disoluciones de álcalis fuertes dan lugar a hidrólisis alcalina, degradación y descomposición de polisacáridos y rompimiento de radicales finales. La pérdida de polisacáridos es causada principalmente por el rompimiento de radicales finales y reacciones hidrolíticas. (Wegener, 2014).

2.1.4. Fermentación.

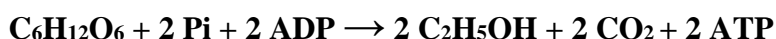
La fermentación alcohólica es un proceso biológico de fermentación que ocurre en ausencia de aire, originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de

carbono para obtener como productos finales un alcohol en forma etanol, dióxido de carbono en forma de gas y una molécula de ATP.

Durante la fermentación alcohólica, también se producen otros subproductos fermentativos y sobre todo biomasa a partir de los azúcares. Su producción siempre es pequeña en comparación con la cantidad de azúcares transformados en etanol.

Para obtener bioetanol se realiza fermentación alcohólica, que consiste en un proceso anaerobio exotérmico, en el que las levaduras normalmente procesan los azúcares. Debido que el proceso es anaeróbico, la respiración celular de la cadena del ADP en ATP queda completamente bloqueada, siendo la única fuente de energía para las levaduras y la oxidación de la glucosa.

Reacción de fermentación



Los principales microorganismos que llevan a cabo este tipo de fermentación es la levadura *saccharomyces cerevisiae*, que es la especie utilizada con mayor frecuencia, pero no el único microorganismo con el que se pueden obtener biocombustible.

2.1.4.1. Sustratos utilizados en la fermentación.

Los sustratos más utilizados son los azúcares, en especial la D-glucosa. Una clase de fermentación importante de la glucosa, la fermentación significa la conversión de hexosas, principalmente glucosa, fructuosa, manosa y galactosa, en ausencia de aire, en etanol los siguientes productos finales:



Alrededor del 70% de la energía es liberada como calor, el resto es preservado en dos enlaces fosfatos terminales de ATP (trifosfato de adenosina), para usarlo en las reacciones de transferencia tales como la activación de la glucosa (fosforilación) y de los aminoácidos antes de la polimeración. (Mario, 2013)

2.1.5. Levadura.

Las levaduras son cuerpos unicelulares, generalmente de forma esférica, con tamaño entre los 2 a 4 μm . La principal vía metabólica de este tipo de microorganismos en la producción de

etanol es la glucólisis o vía EMP, a través de la cual una molécula de glucosa es metabolizada y dos moléculas de piruvato son producidas bajo condiciones anaerobias.

El piruvato es posteriormente reducido a etanol con emisiones de dióxido de carbono, microorganismos aerobios mesófilos que en 5 días a 25°C se desarrollan en la superficie del medio sólido, formando colonias mates o brillantes. (Santiago, 2016)

Los azúcares obtenidos del hidrólisis, son fermentados por microorganismos etanologénicos; las levaduras son los microorganismos de mayor uso en la producción de etanol debido a su productividad, baja producción de inhibidores y facilidad de separación, después de fermentación. (Vandevenne & Ribes, 2011).

2.1.5.1. *Saccharomyces Cerevisiae.*

Este tipo de levadura es un microorganismo convencional para la fermentación de azúcares derivados de celulosa. Las cepas silvestres pueden fermentar glucosa, manosa y fructosa; sintetiza la glucosa por la ruta de glicólisis hacia altas concentraciones de etanol y dióxido de carbono.

Estas crecen en forma anaeróbica, aunque pueden tener fases aeróbicas y producir enzimas capaces de descomponer diversos sustratos, principalmente los azúcares (fermentación alcohólica). Se reproduce por gemación originando una célula hija con un núcleo del mismo tamaño que el de la célula madre, mientras que su citoplasma deberá pasar por una fase de crecimiento para alcanzar el tamaño de la célula originaria.

Para conseguir un rendimiento adecuado en el proceso fermentativo, se deben de controlar muchos parámetros durante la realización. El crecimiento de *S. Cerevisiae*, se ve favorecido a un pH próximo a 4,0-5,0 con su máxima actividad entre 30 y 35 °C, con una fase aerobia previa a pesar de que la fermentación se lleva a cabo en condiciones anaerobias.

En cuanto a los requerimientos nutricionales, es necesaria una adecuada concentración de azúcares y de agua mínima para poder llevar a cabo su función. Así mismo, requiere una base nutricional adecuada con un medio rico en nitrógeno, fósforo, carbono, azufre, potasio, calcio, y vitaminas. Por último, tanto la excesiva concentración de etanol como de partículas sólidas en el caldo de fermentación pueden inhibir el proceso. (Arellano, 2015)

2.1.5.2. *Pichia Stiptis.*

Contrariamente a la *S. Cerevisiae*, la *P. Stiptis* puede utilizar L-arabinosa y D-xilosa naturalmente y fermentar eficazmente la xilosa a etanol. Ha sido considerada para la fermentación de los hidrolizados de hemicelulosa a etanol, se han desarrollado varios mutantes con las capacidades de fermentación más alta y la utilización de xilosa mejorada. Sin embargo, la *P. Stiptis* es incapaz de crecer en condiciones anaeróbicas y es más sensible al etanol e inhibidores que la *S. Cerevisiae*. (Santiago, 2016)

2.1.6. Destilación.

Es una operación de separación basada en el equilibrio de fases, utilizando el calor como agente separador. Se basa en las diferencias de las presiones de vapor (puntos de ebullición) de los componentes de la mezcla y consiste en una columna de múltiples etapas, donde la evaporación y condensación se repiten. (Flores, Lopez, Arenas, 2014)

Es el método por el que se separa el etanol del agua debido a la mayor volatilidad del etanol a presión atmosférica. Las temperaturas de ebullición son de 78,2 y 100 °C para el etanol y agua respectivamente, por lo que para separar ambos compuestos se realizan destilaciones sencillas.

Durante el proceso se va obteniendo un vapor que es rico como componente más volátil (etanol) y que se vuelve a destilar sucesivamente. Cuando se alcanza el punto de azeótropo, la mezcla no se puede destilar más. Para obtener alcohol al 100% es necesario romper el azeótropo lo que resulta un proceso complejo y caro. (Galindo, 2017)

2.1.7. Adsorción.

Es otra de las operaciones unitarias para la deshidratación del etanol. En esta, se mezcla etanol-agua y pasa a través de un equipo generalmente cilíndrico que contiene un lecho de material adsorbente; una vez saturado el lecho del adsorbente con la sustancia a separar, se debe de realizar la liberación de la misma (desorción), para permitir la reutilización del material adsorbente con tamices moleculares. Se usa para recuperar el etanol del caldo de fermentación, obteniéndose etanol a 99.5% en peso de pureza.

- Tamices moleculares.

Los tamices moleculares son sustancias moleculares de formas cilíndricas o esféricas denominados zeolitas que pueden ser naturales o fabricadas a partir de aluminosilicato de potasio. Son identificados de acuerdo con el tamaño nominal de los poros internos, cuyo diámetro generalmente es medido en angstroms. Se caracterizan por su excelente capacidad para retener sobre su superficie tipos definidos de especie químicas, por lo general solventes (agua la mayoría de veces) que se desean retirar de una mezcla para la obtención de un producto final con unas especificaciones dadas. (AM, 2012)

2.1.8. Bioetanol.

El bioetanol o etanol de biomasa con formula C_2H_5OH , es obtenido a partir de materias primas ricas en almidones, azúcares o biomasas (material celulósico), dependiendo de esta se caracteriza. Se obtiene de la fermentación de productos azucarados como caña de azúcar, maíz y otros tipos de biomasas. El bioetanol puede sustituir a los combustibles altamente contaminantes, tal es el caso de la gasolina. (Luna & Vaca, 2018).

Por lo tanto, el proceso de fermentación puede aplicarse a los cultivos ricos en azúcares. En este último caso, se debe aplicar un proceso previo de hidrólisis de forma que forme el almidón en glucosa y fructosa para que puedan ser fermentados. El bioetanol puede producirse también por hidrólisis de la materia lignocelulósica (una vez preparada). En este caso se denomina bioetanol de segunda generación. Que se caracteriza por tener un balance de CO_2 más favorable. (Dominguez & Rovira, 2014)

En la tabla 2.3 y 2.4 se presentan las propiedades físicas y químicas del bioetanol correspondientemente.

Tabla 2.3. Propiedades físicas del bioetanol.

| Apariencia | Incoloro |
|-----------------------------|------------------------------------------|
| Densidad; kg/m ³ | 789 |
| Masa molecular; g/mol | 46,07 |
| Punto de fusión; °C | -114 |
| Punto de ebullición; °C | 78 |
| Temperatura crítica; °C | 241 |
| Presión crítica; atm | 63 |
| Estructura | Estructura cristalina monoclinico |
| Viscosidad | 1,074 mPa.s a 20°C |
| Índice de refracción | 1,3611 |

Fuente: (Fernandez ,Rocio, Abascal, 2017)

Tabla 2.4. Propiedades químicas del bioetanol.

| | |
|--------------------|-----------------|
| Acidez | 15,9 pKa |
| Solubilidad | Miscible |

Fuente: (Fernandez ,Rocio, Abascal, 2017)

Tabla 2.5. Propiedades termoquímicas del bioetanol.

| Entalpía de vaporización | Entalpía de líquido |
|--------------------------|---------------------|
| -235,3 kJ/mol | -277,6 kJ/mol |

Bra. Xochilt Dayana Ramírez Flores & Bra. Pamela Ruby Salvatierra Mendoza

Fuente: (Fernandez ,Rocio, Abascal, 2017)

2.1.8.1. Bioetanol de Primera Generación.

El bioetanol se clasifica en primera y segunda generación, se representa por las siglas 1G y 2G, el primero es obtenido a partir de materias primas que poseen alto contenido de azúcares simples y fermentables, como glucosa, fructosa, galactosa, y sacarosa entre las más importantes se incluye la caña de azúcar, melaza y azúcar de remolachas.

Este tipo de biocombustible está generando polémica debido a que constituye una nueva fuente de demanda de productos agrícolas. Por un lado, promete la generación de ingresos, pero al mismo tiempo genera competencia cada vez más fuerte por los recursos naturales.

2.1.8.2. Bioetanol de Segunda Generación.

El bioetanol de segunda generación 2G es el producido a través de biomasa lignocelulósicas que no tienen función alimenticia. Este tipo de biomasa es el material biológico que más abunda. Los desechos de celulosa, sobre todo productos de desecho de agricultura, silvicultura y desperdicios orgánicos son fuentes de materia prima. Los biocombustibles de segunda generación reducen emisiones de gases de efecto invernadero y el no uso de cultivos con potencial alimenticio para su producción.

2.1.8.3. Especificaciones del Bioetanol.

El etanol es un excelente combustible para motores, debido a que presenta las siguientes características:

- Tiene un mayor índice octano que la gasolina.
- Su presión de vapor es menor al de la gasolina, lo cual resulta una emisión menor por evaporación.
- Es menos inflamable que la gasolina, reduciendo el número y la severidad de los incendios de los vehículos.
- Combustible de transporte para sustituir o mezclar con gasolina.
- Se usa como oxigenante en gasolinas.
- Combustible para generar electricidad por medio de combustión térmica.

- Sistemas de cogeneración.
- Materia prima en industria química.

2.1.8.4. Propiedades principales del bioetanol en motores.

El bioetanol es una sustancia pura ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), diferente a la gasolina que es una mezcla de más de 200 sustancias. Busca controlar el nivel de contaminantes que pueden estar en este combustible, ocurridas en el proceso de fabricación, como la presencia de ácidos y bases provenientes de los ajustes de proceso de fermentación, agua remanente de la deshidratación ineficiente o contaminación en la cadena de distribución, alcoholes superiores generados en el proceso de fermentación y iones metálicos (sodio, cloros y sulfatos) provenientes de ácidos y bases adicionados al proceso.

Por ser una sustancia prácticamente pura, el bioetanol tiene predefinidos los valores de octanaje (MON, RONEIAD), temperatura de ebullición, presión de vapor y estabilidad a la oxidación.

La gasolina puede ser formulada por la mezcla de diversas fracciones petroquímicas (parafinas, olefinas, nafténicos y aromáticos) con características distintas. Estas propiedades de desempeño necesitan ser limitadas de manera que garanticen un buen desempeño del motor y garanticen un bajo impacto al medio ambiente y a la salud humana.

Estas propiedades específicas para la gasolina son controladas, también para una mezcla de etanol-gasolina, midiendo indirectamente el efecto del etanol. Cuando el etanol es adicionado a la gasolina resulta un nuevo combustible, con algunas propiedades diferentes debido al comportamiento no lineal de algunos parámetros físicos-químicos.

En la tabla 2.6 se mencionan las propiedades fundamentales del combustible.

Tabla 2.6. Propiedades del combustible.

| Propiedades del combustible | Etanol |
|--------------------------------------------|--------|
| Número de octano | 108 |
| Temperatura de autoignición °K | 606 |
| Calor latente de vaporización MJ/Kg | 0,91 |
| Poder calorífico inferior MJ/Kg | 26,7 |

Fuente: (Duarte, 2010)

2.1.8.5. Octanaje

Es una medida de resistencia a la autoignición y detonación validada por los métodos MON (carga elevada) y RON (carga constante). Método investigación -RON: en inglés (Research Octane Number) es una medida del número de golpeteos de la válvula del motor cuando este es alimentado con el combustible en estudio. El resultado obtenido para la muestra en análisis es comparado con los resultados obtenidos en una escala de cero a cien (octanaje cero a octanaje cien).

El cero de la escala se obtiene cuando el motor de prueba usa el 100% de iso-octano (2,2,4-trimetilpentano). Las mezclas binarias conducen a valores intermediarios de la escala. El motor es patrón del tipo CFR (Cooperative Fuel Reserch) y puede simular condiciones suaves de manejo y una rotación menor del motor.

2.1.9. Motores de combustión interna.

La conciencia despertada debido a la contaminación atmosférica producto de las emisiones generadas por el sector transporte, ha promovido la búsqueda de alternativas energéticas. El bioetanol en mezcla con gasolina contribuye a incrementar el octano y por lo tanto mejora su rendimiento traducido en un menor consumo de este combustible en los vehículos, con lo que se reduce la emisión de monóxido de carbono, hidrocarburos sin quemar y carcinógenos. (Maluenda-García, 2015)

Cuando se utilizan biocombustibles en motores de combustión interna, el consumo de estas aumenta. Esto se debe a que si disminuye la relación de aire-combustible estequiométricamente para la misma velocidad de operación del motor el mismo nivel de carga y la misma masa de tendencia de esta emisión ya que no existe una relación preestablecida entre el combustible utilizado y los parámetros. El mismo comportamiento se presenta para las emisiones de hidrocarburo sin quemar.

En el proceso de combustión en los motores, es en donde se transforma la energía química de la mezcla en energía mecánica. El proceso de combustión de los biocombustibles trae consigo relaciones de aire combustible. De los datos anteriores se puede deducir que es un material inflamable por lo que es recomendable mantenerlo alejado del calor, chispas o fuente de ignición. (Maluenda-García, 2015)

2.2. ANTECEDENTES

En el año 2014 Espinoza Cajas, de la Universidad Central del Ecuador realizó un estudio para la “Obtención de etanol mediante hidrólisis alcalina, enzimática y fermentación a partir del excedente orgánico del banano, variedad musa paradisiaca” donde, el residuo biomásico se sometió a hidrólisis alcalina con NaOH a tres concentraciones: 1,5; 2 y 2,5 mol/L, y a tres temperaturas 50, 70 y 90 °C en un determinado tiempo para provocar la exposición y libre acceso a la celulosa. Se concluyó que las mejores condiciones corresponden a una concentración de hidróxido de sodio de 2 mol/L, temperatura de 70 °C. (Cajas, 2014)

En ese mismo año Cortes Ortiz y compañía, de la universidad “El Bosque” Bogotá Colombia; iniciaron una investigación con el tema “Cuantificación de azúcares reductores en las cáscaras de naranja y banano” evaluando la hidrólisis ácida de la cáscara de banano y de naranja para la extracción de azúcares presentes en la biomasa de dicho material, llevando a cabo un proceso de hidrólisis ácida con una solución de H₂SO₄ al 5,0 N. Se determinó que las cáscaras de naranja contenían la mayor cantidad de glucosa 59,88 g/L. Sin embargo, la cantidad de azúcares que se reportaron en las muestras de banano son significativamente altas con un valor de 38,77 g/L de azúcares reductores. (Ortiz, Gordillo, Velásquez, & Altri., 2014)

Posteriormente en 2017, Hernández y Díaz en León, España; investigaron sobre “Obtención de bioetanol a partir de hidrolizados de residuos de fruta” sometiendo residuos de algunas frutas como el banano a pretratamiento hidrotérmico con la finalidad de maximizar la concentración de azúcares fermentables, y aumentar así la producción de bioetanol en un posterior proceso de fermentación. Encontrando que la eficacia en cáscara de banano varía entre el 20 y el 70% y obteniendo mayor concentración de azúcares reductores a 120°C. Cabe mencionar que en todos los casos las concentraciones se situaron por debajo de la concentración mínima inhibitoria. (Hernández, Laca, & Díaz, 2017)

En 2017 Aroca Katherine y Holguín Juan realizaron una investigación de evaluar el rendimiento de etanol de diferentes variedades de banano (Musa paradisiaca) se evaluó tres variedades y dos estados de madurez, se cuantificó el rendimiento mediante balance de materiales.

Los análisis fisicoquímicos (rendimiento, pH, acidez, concentración de azúcar y grados alcohólicos), se concluye que puede utilizar cualquiera de las variedades y estados de madurez del fruto, ya que no reporto diferencia significativa entre ellas; mediante prueba de cromatografía se estableció la ausencia de metanol (Aroca, Holguín 2017).

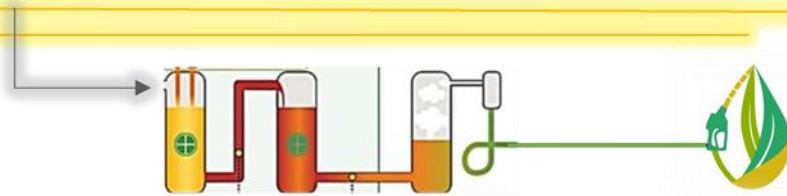
En 2019, Romero Bonilla y compañía realizaron un estudio cinético sobre la producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales de la cáscara de banano maduro se realizaron tres experimentos al 60% de cáscara de banano molida, en los que se adicionó polietilenglicol (PEG) a diferentes concentraciones: 0,01; 0,02; 0,03 g/g biomasa. La hidrólisis enzimática se realizó con conidios del hongo *Trichoderma viride* y su posterior fermentación alcohólica fue con levadura activa seca comercial de *Saccharomyces cerevisiae*, previamente activada. El mejor resultado corresponde al experimento PEG3 (0,03 g/g biomasa), con el que se obtuvo un mayor incremento de azúcares reductores. (Romero Bonilla, 2019)

2.3. PREGUNTAS DIRECTRICES

1. ¿Cuáles son las propiedades de la cáscara de banano Gros Michel que permiten su uso como materia prima potencial para producir bioetanol?
2. ¿Cuáles son los diferentes tipos de procesos para la obtención de bioetanol a partir de residuos agroindustriales?
3. ¿Cuáles serían las etapas del proceso de obtención de bioetanol a partir de la cáscara de banano Gros Michel?
4. ¿Cuáles son las propiedades relevantes del bioetanol para el uso como combustible en motores de combustión interna?



CAPÍTULO III



3.1.DISEÑO METODOLÓGICO

3.1.1. Descripción del ámbito de estudio.

En el presente trabajo se llevó a cabo revisión bibliográfica en la biblioteca digital UNAN-Managua (permitiendo acceso a revistas científicas como EBSCOhost y e-libro), repositorio de UNAN-Managua y referencias virtuales de diferentes estudios relacionados al proceso de obtención de bioetanol a partir de residuos agroindustriales.

Este trabajo pertenece a la línea de investigación de energías renovables, porque se estudian las formas alternas de energía, basados en el aprovechamiento de residuos de biomasa que se obtienen gracias a la naturaleza.

3.1.2. Tipo de estudio.

La investigación es de enfoque cualitativo y de tipo descriptiva. Debido a que describe las generalidades de la cáscara de banano, propiedades físico-químicas, composición del material lignocelulósico, el proceso para obtener bioetanol, seguido del proceso tecnológico. Con respecto al tiempo, el estudio es de corte transversal, puesto que se realizó en un solo tiempo correspondido entre septiembre a diciembre 2019. Además, es del tipo correlacional descriptivo, ya que en base a las condiciones operacionales para la obtención de etanol a partir de la cáscara de *musa acuminata* será el rendimiento teórico de producto terminado.

3.1.3. Población y muestra.

3.1.3.1.Población.

Se tomará como población, investigaciones a nivel latinoamericano relacionadas a la obtención de bioetanol.

3.1.3.2.Muestra.

La muestra serán estudios realizados anteriormente a nivel nacional relacionados con la obtención de bioetanol a partir de biomásas de residuos.

3.1.3.3.Criterios de Inclusión.

- Investigaciones recientes desde el año 2013 a 2018.
- Temas relacionados a los procesos de transformación de la lignocelulosa a azúcares reductores mediante fermentación alcohólica.

3.1.3.4. Criterios de exclusión.

- Investigaciones realizadas antes del año 2013.
- Temas relacionados a los procesos de transformación de materias primas diferentes a residuos agroindustriales para obtener bioetanol.

3.2. Identificación y Operacionalización de variables

3.2.1. Identificación de variables.

3.2.1.1. Variables independientes.

- Condiciones operacionales

3.2.1.2. Variables dependientes.

- Proceso de pretratamiento
- Proceso de fermentación

3.3. Materiales y métodos

3.3.1. Materiales para recolectar la información.

Se realizaron revisiones bibliográficas, artículos científicos, tesis de grado, fichas de contenidos, sitios web enfocados al tema de interés materia prima (cáscara de banano y el proceso de obtención de bioetanol). Este documento, consta de citas textuales y paráfrasis necesarias para la literatura científica.

3.3.2. Materiales para procesar la información.

Office Word 2013 Software utilizado para el procesamiento de textos, elaboración y edición de documentos

| | |
|-------------------|----------------------------------------------------------------|
| Office Paint 2013 | Utilizado para la elaboración y modificación de ilustraciones. |
|-------------------|----------------------------------------------------------------|

3.3.3. Método.

El presente trabajo de investigación teórica está vinculado con el método inductivo, porque utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parte de hechos aceptados como válidos

para llegar a conclusiones, cuya aplicación sea de carácter general, se inicia con un estudio individual de los hechos y se formulan conclusiones universales que se postulan como leyes.



CAPÍTULO IV



4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1.1. Propiedades físico químicas de la cáscara del banano.

En la tabla 4.1. se muestran los resultados de la composición química de la cáscara de banano.

Tabla 4.1 Resultados de la composición química de la cáscara de banano.

| Componentes | Velásquez 2012 | Espinoza Caja, | Cortez Ortiz, | Hernández Diaz, |
|--------------|----------------|------------------|----------------|-----------------|
| | Gros Michel | 2014 | 2014 | 2017 Musa |
| | % | Musa Paradisiaca | Gian Cavendish | Paradisiaca |
| | | % | % | % |
| Almidón | 0,78 | 5,8 | 6,3 | 8,5 |
| Celulosa | 13,2 | 13 | 12 | 10,2 |
| Hemicelulosa | 14,8 | 14 | 12 | 11 |
| Lignina | 14 | 10,1 | 9,72 | 7,27 |
| Humedad | 55,51 | 53 | 55 | 57 |
| Cenizas | 1,71 | 1,1 | 5 | 6 |

Fuente: Autoras.

En la tabla 4.1 se presentan los siguientes datos: (Velásquez 2012) reporta un total de 28,78% en la variedad Gros Michel; (Espinoza Cajas 2014) reporta un total de 32,8% en Musa Paradisiaca; (Cortez Ortiz 2014) de 30,3% en Gian Cavendish y Hernández Díaz reportó en su investigación 29,7%. Todos esos porcentajes de material convertible a azúcares reductores (almidón, celulosa y hemicelulosa). Estas diferencias son atribuibles a la variedad del banano y las condiciones climáticas de cultivo. Estos resultados muestran que la cáscara de banano variedad gros michel es una fuente potencial de materia para obtener azúcares fermentables y su posterior transformación a bioetanol.

4.1.2. Procesos de obtención de bioetanol.

Para la producción de bioetanol investigaciones recientes han estado orientadas hacia el aprovechamiento de residuos agroindustriales, realizando pretratamientos, hidrólisis y luego fermentación con levaduras.

En la tabla 4.2 se presentan los procesos de obtención de bioetanol por diversos autores.

Tabla.4.2. Procesos de obtención de bioetanol.

| Autores | Pretratamiento | Hidrólisis | Fermentación |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| (Gebregergs, 2016) | Químico NaOH (cáscara de banano) | Hidrólisis ácida (H ₂ SO ₄) Reportaron 26,1 g/L de azúcares reductores. | <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> |
| (Arellano, 2015) | Químico NaOH (bagazo de caña) | Hidrólisis enzimático reportaron 10,27 g/L de azúcares reductores. | <i>Saccharomyces Cervisiae</i> |
| (Lilibeth, Alejandro, & Ricardo, 2013) | Químico NaOH (bagazo de caña) | Hidrólisis enzimática reportan azucars reductores de 8,7g/L. | <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> |
| (John, Isabel, & Adriana, 2013) | Químico NaOH (cáscara de banano) | Hidrólisis ácida (H ₂ SO ₄) Reportando 20 g/L de azúcares reductores. | <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> |

Fuente: Autoras.

En la tabla 4.2 se observa que los autores realizaron pretratamientos básicos utilizando NaOH a diferentes concentraciones (0,1 M y 5 N; 3% y 5%) respectivamente. (Gebregergs, 2016) y (John, Isabel, & Adriana, 2013) realizaron hidrólisis ácida utilizando (H₂SO₄) en diferentes concentraciones 1,5% y 2,5% en un tiempo de 30 min y 5 h correspondientes, luego se utilizó para *S. Cerevisiae* su fermentación, ambas duraron 15 días. Estos procedimientos fueron realizados en la cáscara de banano, reportando (Gebregergs, 2016) la obtención de 26,1 g/L y (John, Isabel, & Adriana, 2013) de 20 g/L de azúcares reductores. Estas diferencias se deben a las diferentes concentraciones utilizadas en cada uno de los procesos.

Bra. Xochilt Dayana Ramírez Flores & Bra. Pamela Ruby Salvatierra Mendoza

Por otro lado, (Arellano, 2015) y (Lilibeth, Alejandro, & Ricardo, 2013) realizaron hidrólisis enzimática para el bagazo de caña. Utilizando *Cellullase from trichoderma reesei* a una temperatura de 60 °C y *accellerase 1500* sometida a de 50 °C respectivamente.

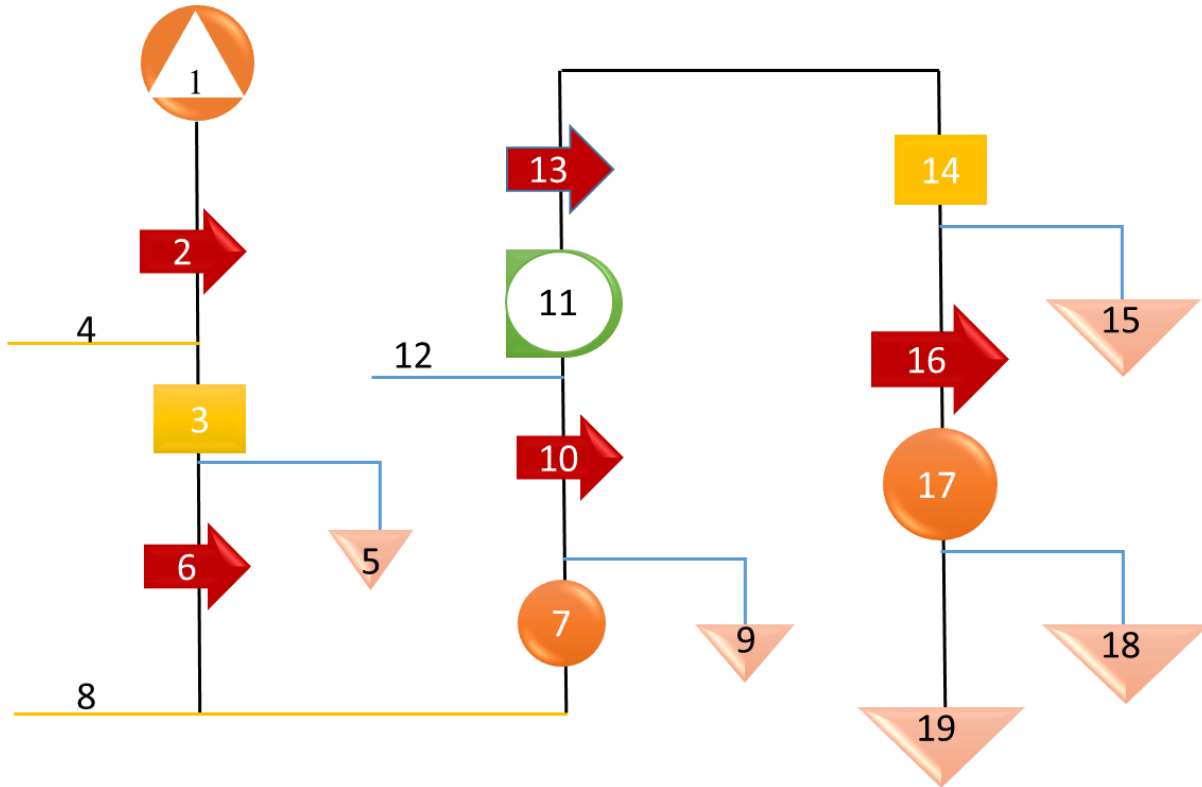
La hidrólisis enzimática degrada los polisacáridos presentes en la materia prima. El tratamiento básico puede crear inhibidores, lo que proyecta un resultado bajo comparado con los de la cáscara de banano que tiene menos del 18 % de lignina, haciendo de él un tratamiento viable; no obstante, la lignina en el bagazo de la caña de azúcar es de 20,7% (Olmo & Gutierrez). Esta es altamente resistente a la degradación química y biológica (Baldodano, 2017).

Por tanto, se puede proyectar este procedimiento (Gebregergs, 2016) que conduce a mayor obtención de azúcares reductores para un mejor rendimiento de bioetanol. El pretratamiento básico logra mayores rendimientos de azúcares reductores según (Rodríguez, 2016) porque logra solubilizar parcialmente la lignina y un descenso del grado de cristalización de celulosa.

4.1.3. Etapas del proceso de obtención de bioetanol a partir de cáscara de banano.

En la figura 4.1 se presenta el flujograma (ASME) para el proceso tecnológico de la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de banano.

Figura 4.1. Flujograma (ASME) para el proceso tecnológico de la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de banano.



Fuente: Autoras.

Leyenda de flujograma

1. Entrada de biomasa (cáscara de banano) y tratamiento mecánico con mortero y pilón.
2. Flujo de biomasa reducida.
3. Pretratamiento químico con NaOH (0,1 M; 70 °C por 30 min).
4. Entrada de solución de NaOH.
5. Residuos de lignina y NaOH.
6. Flujo de celulosa y hemicelulosa.
7. Hidrólisis ácida H_2SO_4 (1,5% v/v; 91 °C por 20 min).
8. Entrada de H_2SO_4 a 1,5% v/v.
9. Residuo de H_2SO_4 .
10. Flujo de azúcares fermentables.
11. Fermentación (15 días).

Bra. Xochilt Dayana Ramírez Flores & Bra. Pamela Ruby Salvatierra Mendoza

12. Entrada de levadura *S. Cerevisiae*.
13. Flujo de la solución fermentada.
14. Destilación sencilla. puntos de ebullición 78,2 °C etanol y 100 °C agua.
15. Agua residual.
16. Flujo hidroalcohólico.
17. Adsorción de agua utilizando tamices moleculares.
18. Agua (0,01%).
19. Obtención de bioetanol al 99,9%.

Según el estudio realizado del proceso mostrado en el flujograma del proceso, se sugiere cumplir con las siguientes etapas principales: reducción de tamaño, pretratamiento básico, hidrólisis ácida, fermentación, destilación y adsorción para la obtención de bioetanol grado combustible.

4.1.4. Propiedades relevantes del etanol como combustible de motores en combustión interna.

Los biocombustibles líquidos presentan mejores propiedades para su uso en MCI, debido a sus propiedades fisicoquímicas. El etanol pertenece a los biocombustibles de 2G, estos presentan mejores proyecciones para convertirse en el combustible de mayor uso ya sea utilizado de manera directa o mezclado con combustible de origen fósil.

El bioetanol tiene un índice de octano superior al de la gasolina, por lo que el motor proporciona un poco más de potencia, aumentando su rendimiento y a la vez minimizan emisiones contaminantes para el medio ambiente. Con el uso de etanol en los motores se mitigará el aumento e inestabilidad del precio del petróleo.

El uso de etanol mezclado con gasolina en porcentajes mayores al 20% como combustible no representa una disminución de potencia del motor, genera más energía térmica dentro del cilindro durante la combustión. Así mismo, son la opción más viable a largo plazo. Se sugiere que el uso como combustible en Motores de combustión interna sea una relación 90/95.

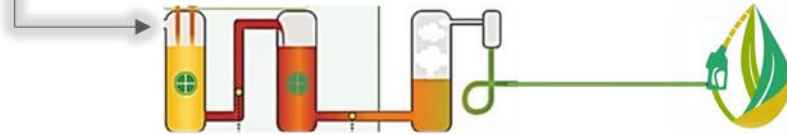
La tendencia de un combustible a vaporizar en un motor automotriz es indicada mediante la relación vapor-liquido del combustible. Las especificaciones para combustibles automotrices incluyen límites de T para asegurar productos con volatilidad apropiada, esto debido a que la temperatura crítica es temperatura límite por encima de la cual un gas miscible no puede ser licuado

por compresión, la temperatura crítica del bioetanol es de 514 K (241 °C) y presión crítica 63 atm. (Duarte, 2010)

Para que un combustible se quemara correctamente, es necesario que esté bien mezclado con el aire. Por lo tanto, la facilidad de un combustible líquido en vaporizarse depende de diversos parámetros de desempeño del motor. La presión del vapor determina el nivel de las emisiones evaporativas y que la eficacia de un motor aumente. Así mismo, el poder calorífico permite mejorar la eficiencia del motor a la menor temperatura en la ignición y mayor volumen de productos de combustión.



CAPÍTULO V



5.1. CONCLUSIONES

De acuerdo a la revisión bibliográfica que se realizó se concluye:

1. La cáscara de banano es una materia prima potencial para la obtención de bioetanol por su alto contenido de celulosa del 13% y hemicelulosa de 14%. Este residuo agroindustrial puede ser aprovechado generando beneficios para el ambiente y la sociedad en general.
2. El pretratamiento básico es el más indicado para materias primas con bajo contenido de celulosa. Esto se debe a que el NaOH solubiliza a la celulosa permitiendo la conversión de azúcares reductores.
3. La utilización de materiales lignocelulósicos como residuos agrícolas dan un desarrollo de nuevas tecnologías, aumentando la producción de alcohol.
4. El proceso tecnológico viable es conformado por las siguientes etapas: Tratamiento mecánico, pretratamiento básico, hidrólisis ácida, fermentación y adsorción.
5. El bioetanol grado combustible debe ser de 99.95 % de alcohol.

5.2. RECOMENDACIONES

Con el propósito de mejorar el trabajo realizado se recomienda:

1. Investigar nuevas fuentes de material lignocelulósica para la obtención de bioetanol.
2. Realizar la fase experimental.
3. Utilizar levadura *S. Cerevisiae* en la fase experimental.

5.3. BIBLIOGRAFÍA

(s.f.).

Abril, A., & Navarro, E. A. (2012). *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica*. Valencia: Aleta Ediciones.

Agrimundo. (19 de marzo de 2019). *Agrimundo*. Obtenido de <http://www.agrimundo.gob.cl/?=36519>

AM, U. (2012). *Redalyc*. Obtenido de www.redalyc.org

Angiolani, A. (2016). *Introduccion a la quimica industrial*. Santiago de Chile: Andres Bello, Ahumada.

Arellano, S. (2015). Hidrólisis de residuos lignocelulósicos procedentes del comercio de frutas y hortalizas como paso previo a la producción de bioetanol.

Baldodano. (2017).

Baricaza, A. d. (07 de Julio de 2016). *idUS*. Obtenido de idus.us.es

Bridgwater, G. (2012).

Cardeñosa. (2010).

Castro, Y. P. (2015). *Aprovechamiento de Biomasa Lignocelulosica, algunas experiencias de investigacion en colombia*. Bogotá: Printed.

CONICYT. (10 de Febrero de 2017). Obtenido de www.conicyt.gob.ni

Dominguez, M. M., & Rovira, A. J. (2014). *Maquina Termicas*. Madrid: edicion digital.

Duarte, V. M. (2010). *Scrib*. Obtenido de es.scribd.com

FAO. (2014). Obtenido de www.fao.org

Fernandez ,Rocio, Abascal. (septiembre de 2017). eestudio de la obtencion de bioetanol a partir de diferentes tipos de biomosas lignicelulosicas. Cantabria. Recuperado el octubre

Fernandez, R. A. (septiembre de 2017). Estudio de la obtencion d bioetanol a partir de diferentes tipos de biomosas lignocelulosicas. Cantabria.

Fernandez, R. A. (septiembre de 2017). *estudio de la obtencion de Bioetanol a partir de diferente tipos de biomosas lignocelulosicas*.

Fernandez, R. A. (septiembre de 2017). <https://repositorio.unican.es>. Obtenido de related articles.

Fernandez, R. A. (septiembre de 2017). repositoriounican.es. Obtenido de repositoriounican.es.

Flores, Lopez, Arenas. (2014).

Frank, H., & Mario, A. (25 de junio de 2015). *Unal*. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co>

G, H. A. (2013). Pretratents of enhance the digestibility of lignocellilolic biomass.bioresource technology .

G, J. F., De Perez, V. I., & Colorado, A. A. (Marzo de 2013). Producción de etanol a partir de la cáscara de banano.

G, J. F., DePerez, V. I., & Colorado, A. A. (Marzo de 2013). Produccion de etanol a partir de la cascara de banano.

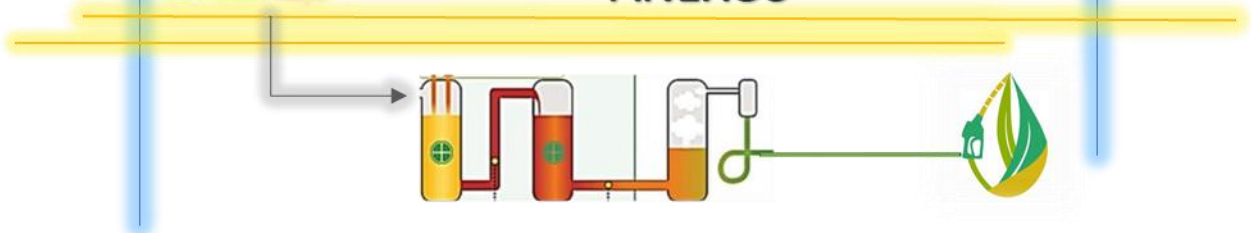
Bra. Xochilt Dayana Ramírez Flores & Bra. Pamela Ruby Salvatierra Mendoza

- Galindo, H. (julio de 2017). obtencion de bioetanol a partir de hidrolizados de residuos de frutas. *obtencion de bioetanol a partir de hidrolizados de residuos de frutas*. España, España.
- Garcia, M. J. (2018). Record mundial de bioetanol en 2018. *OIA*.
- Gebregergs, G. y. (2016). bioethanol production from fruit and vegetable wasters.
- Guevara Suárez, Y. A. (Junio de 2016). *Repositorio UNAN*. Obtenido de repositorio.unan.edu.ni
- H, H. D., B, A. R., F, C. B., & L, G. M. (2015). Evaluacion preliminar de la cascara de banano maduro como matrial de ensilaje. *Intersedes*, 17.
- Hugo, R. (2019). cinetica de sacarificación y fermentación para producción de bioetanol a partir de la cascara de banano maduro. (*trabajo de titulación*). Unidad Academica de Ciencia Quimicas y de Salud., Machala.
- HUMICOS, S. E. (2013). bananos exóticos. *noticias SEPHU*, 1-9.
- IICA. (octubre de 2009). *Google libros*. Obtenido de <https://books.google.com.ni>
- Infojardin*. (s.f.). Obtenido de articulos.infojardin.com
- Island Organics*. (s.f.). Obtenido de www.islandorganicsbali.com
- John, M., Isabel, M. V., & Adriana, R. A. (Marzo de 2013). *Producción de etanol a partir de la cáscara de banano*.
- Kruiter. (2012).
- Kruiter, A. (1 de marzo de 2012). *Google libros*. Obtenido de <https://books.google.com.ni>
- Lacayo, L. N. (11 de junio de 2013). Citricos Amenazaados. *El Nuevo Diario*.
- Lilibeth, N. L., Alejandro, G., & Ricardo, Z. (Diciembre de 2013). Evaluacion de pretratamiento químico para hidrólisis enzimática de residuos lignocelulósica de bagazo de caña. *Facultad de Ingenieria Universitaria de Antioquia*.
- Luna, B. M., & Vaca, L. L. (2018). *ciencias aplicadas 1*. editex.
- M, K., M, P., & I., S. y. (2015). *EBSCO. host*.
- Madera pedia*. (11 de 2019). Obtenido de www.maderapedia.com
- MAG*. (2019 de Febrero de 26). Obtenido de *MAG*: www.mag.gob.ni
- Maldonado, H. (Noviembre de 2017). *Obtención de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos sometidos a a hidrolisis enzimatica*. Obtenido de ResearchGate: www.researchgate.net
- Mario, C. Q. (2013). Optimización de fermentación alcohólica de frutas en estado de maduración. . Perú.
- Martinez, M. J. (25 de julio de 2018). El Nuevo Diario. *Nicaragua vende mas Bananos al exterior*, pág. 1.
- Montiel, K., & Romero, L. (2015). Obtencio de bioetanol a partir de la Coronta (olote) del maiz variedad HS-5, por el metodode hidrolisis acida diluida-fermentacion separada. (*tesis de licenciatura*). Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua, Managua.
- Olmo, & Gutierrez. (s.f.). El bagazo de caña de azúcar. Propiedades , constitución y potencial.

- Portal, M. Á. (Marzo de 2016). *ResearchGate*. Obtenido de www.researchgate.net
- potential uses of banana peeling production of production . (2014). *potential uses of banana*.
- Pradera, D. (26 de enero de 2016). *Del nutriente a la dieta*. Obtenido de delnutreintealadieta.com
- Quinaya, D. (2014). *expeditiorepositorio.utadeo.com*. Obtenido de expeditiorepositorio
- Riaño, S., Morales, G., & Hernandez, M. (2016). *Produccion de bioetanol a apartir de subproductos agroindustriales celulosos*. Tolima, Holanda.
- Rodríguez, I. (2016). Pretratamiento de hidrólisis hidrotérmica para la degradación de los carbohidrato de residuos de frutas para la obtención de bioetanol. (*Trabajo fin de Máster*). Universidad de Oviedo, Oviedo, España.
- Romero Bonilla, H. M. (2019). Estudio cinético de la producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales de la cáscara de banano maduro. *Industrial Data*.
- Rosa, M. d. (2015). Hidrolisis acida de celulosa y biomasa lignocelulosica asistida con liquidos ionicos. Madrid, España, España.
- Santiago, D. C. (2016). *Biogerontología*. Cantabria: Graficas Calima.
- Vandevenne, C. A., & Ribes, M. E. (2011). *Metodos de analisis microbiologicos de los alimentos*. Madrid: Ediciones Dias de Santos S,A.
- Velasquez, L., & Millan, H. (2012). *repository.la sallista.edu.com*. Obtenido de repository.la sallista.edu.com.
- Veloz, R. S. (11 de junio de 2019). *Portalfruticola.com*. Obtenido de <https://www.portalfruticola.com>
- viñals-verde, M. B.-A.-M. (2013). Obtencion de etanol a partir de biomasa lignocelulosica ICIDCA sobre los Derivados de la caña de azucar.



ANEXOS



ANEXOS

GLOSARIO

Ácido: Es un compuesto que libera hidrógenos cuando se disuelve en agua.

Adsorbente: Es un sólido que tiene la capacidad de retener sobre su superficie un componente presente en corrientes líquidas o gaseosas.

Agroindustrial: De la industria, deriva de la actividad agrícola.

Amiláceos: Se refiere a las concreciones de la secreción prostática en la luz de las glándulas prostáticas que son similares a los granos de almidón.

Amorfa: Estado sólido de la materia en el que las partículas que conforman el sólido no poseen una estructura ordenada.

Aminoácidos: Sustancia química orgánica que constituye el componente básico de las proteínas.

Arabinosa: Es un monosacárido de cinco átomos con un grupo aldehído que pertenece al grupo de la aldosa.

Aromáticos: Son hidrocarburos derivados del benceno.

ATP: Coenzima nucleotídica adenosín-fosfato; representa la forma de almacenamiento de energía química más importantes en la célula viva.

Autoignición: El punto de inflamación es una característica de los materiales inflamables que define las condiciones en que se inicia una reacción de combustión en cadena, sin intervención de una fuente externa de calor y el proceso de combustión continúa a partir de ese momento.

Azeótropo: Es una mezcla líquida de composición definida entre dos o más compuestos químicos que hierve a temperatura constante.

Bases: Es una sustancia que presenta propiedades alcalinas.

Biocombustible: Se denomina biocombustible a cualquier tipo de combustible que se produce directa o indirectamente a partir de la biomasa, es decir son los combustibles de origen biológico que se obtienen de manera renovable a partir de restos orgánicos.

Biomasa: Materia orgánica presente en un individuo, nivel trófico o sistema terrestre, proveniente de un proceso biológico, espontáneo o provocado que se puede utilizar como fuente de energía.

Biopolímero: Son macromoléculas presentes en seres vivos.

Carcinógeno: Es un agente físico, químico, o biológico capaz de producir cáncer al exponerse a tejidos.

Cáscara: Capa o cubierta exterior, resistente, dura o quebradiza que envuelve algunas cosas.

Bra. Xochilt Dayana Ramírez Flores & Bra. Pamela Ruby Salvatierra Mendoza

Celobiosa: Es un disacárido formado por dos glucosas unidas por los grupos hidróxilo de carbono 1 en posición beta de una glucosa y del carbono 4 de la otra glucosa.

Celulosa: Biopolímero compuesto exclusivamente de moléculas de β -glucosa; se forma por la unión de moléculas de β -glucopironosa mediante enlaces β -1,4-0-glucosídico.

Cogeneración: Producción simultánea de calor útil y electricidad a partir de un mismo combustible.

Cormo: Es un tallo engrosado subterráneo, de base hinchada y crecimiento vertical que contiene nudos y abultamientos de los que salen yemas.

Combustión: Es una reacción química exotérmica de una sustancia o mezcla de sustancia llamada combustible con en el oxígeno.

Combustible: Sustancia o materia que al combinarse con oxígeno es capaz de reaccionar desprendiendo calor.

Condensación: Es el cambio de estado de la materia que se encuentra en forma gaseosa (generalmente en vapores) y pasa a forma líquida.

Cristalinidad: Propiedad de un compuesto macromolecular que consiste en una disposición regular de las macromoléculas entre sí.

Degradación: Es el proceso que convierte el polímero en un monómero.

Deshidratación: Es la alteración o falta de agua y sales minerales en el plasma del cuerpo.

Desorción: Es la capacidad para que un producto químico se mueva con la fase móvil.

Deslignificador: Eliminación total o parcial de la lignina de madera u otra materia por tratamientos químicos o enzimáticos.

Despolimerización: Es un proceso de descomposición de la cadena del polímero hasta sus monómeros u oligómeros.

Disgregación: Es la acción de separar las partes que antes eran las constituyentes de una totalidad.

Emisión: Es la acción o efecto de emitir fluidos gaseosos, puros o con sustancias en suspensión.

Enzimas: Son proteínas especialistas y controlan todas las reacciones químicas.

Eólica: Es energía que se obtiene del viento o dicho de otro modo es aprovechamiento de energía.

Estequiométrica: La parte de la química que se refiere a la determinación de las masas de combinación de las sustancias en una reacción química.

Energía renovable: Energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Evaporación: Es un proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso.

Bra. Xochilt Dayana Ramírez Flores & Bra. Pamela Ruby Salvatierra Mendoza

Exotérmico: Cualquier reacción química que desprenda energía, ya sea como luz o calor.

Etanol: líquido incoloro, de olor fuerte, inflamable que se obtiene por destilación de productos de fermentación de sustancias azucaradas.

Fermentación: Proceso bioquímico de transformación de un sustrato orgánico producido por enzimas de bacterias, levaduras u hongos en el cual se pueden liberar gases o no.

Fósil: Restos o señales de actividad de organismos pretéritos.

Fosforilación: Es la adición de un grupo fosfato a cualquier otra molécula.

Furfural: El compuesto es un aldehído industrial derivado de varios subproductos.

Galactosa: Es un azúcar simple o monosacáridos formado por seis átomos de carbono o hexosa que se convierte en glucosa.

Gasolina: Líquido volátil, inflamable y de olor característico que está constituido por una mezcla de hidrocarburos y se obtiene por destilación fraccionada del petróleo.

Geotérmica: Es energía que se obtiene mediante el aprovechamiento del calor del interior de la tierra.

Glucolisis: Es el primer paso en la degradación de la glucosa para extraer energía para el metabolismo celular.

Glucopiranososa: Es un término colectivo para los carbohidratos que tiene una estructura química que incluye un anillo de seis miembros, consiste en cinco átomos de carbono y uno de oxígeno.

Hemicelulosa: Heteropolisacárido formado por un conjunto heterogéneo de polisacáridos, a su vez formados por un solo tipo de monosacáridos unidos por enlaces β (1-4) (fundamentalmente xilosa, galactosa, manosa y glucosa), que forma una cadena lineal ramificada.

Herbáceos: Que tiene aspectos o las características de la hierba.

Hidroeléctrica: Genera energía a través de corrientes de agua.

Hidrolisis: f.quim, Descomposición de compuestos químicos por acción del agua.

Hidrofílica: Una molécula que se puede enlazar temporalmente con el agua a través de un enlace hidrógeno.

Hexosas: Son monosacáridos formados por una cadena de seis átomos de carbono.

Heteropolímero: Compuesto formado a partir de subunidades diferentes, como una proteína compuesta por varias subunidades de aminoácidos.

Intramoleculares: Son enlaces iónicos, metálicos o covalentes. Son fuerzas que se deben vencer para que se produzca un cambio químico.

Ignición: Circunstancia de estar una materia en combustión o incandescencia.

Lignina: Polímero presente en las paredes celulares de las plantas, está formada por la extracción irreversible, del agua de los azúcares, creando compuestos aromáticos, (no carbohidratos) del que existen muchos polímeros estructurales.

Lignocelulosa: Principal componente de la pared celular de las plantas, esta biomasa producida por la fotosíntesis es la fuente de carbono renovable más prometedora para solucionar los problemas actuales de energía.

Manosa: Es un azúcar simple que se encuentra formando parte de algunos polisacáridos de la planta y en algunas glucoproteínas animales.

Mesófilo: Sistema fundamental es una parte de la estructura anatómica de las plantas.

Morfología: Rama de la biología que estudia la forma o estructura de los seres vivos.

Monómero: Molécula simple, generalmente de peso molecular bajo, que forma cadenas lineales o ramificadas de dos, tres o más unidades.

Microorganismo: Es un microorganismo diminuto que solamente se puede observar a través de un microscopio.

Musa Acuminata: Especie de banano.

Nafténicos: Es una fracción del petróleo refinado y contiene un alto porcentaje de hidrocarburos.

Octanaje: Es la escala que permite calificar el poder antidetonante de los carburantes, cuando estos son comprimidos en el cilindro que forma parte de un motor.

Olefinas: Compuesto químico que contiene un doble enlace carbono-carbono.

Parafinas: Sólidos formados a partir de una combinación de hidrocarburos.

Partenocarpio: Forma natural o artificial de producir frutos sin fertilización de los óvulos y por consiguiente sin semillas.

Pichia stipitis: (aka stipitis scheffersomyces) especie de levadura que pertenece a la CUG Clade de levaduras ascomycetous. Este, es un grupo de hongos que sería sustituto de leucina cuando se encuentra el codón CUG. *S. stipitis* es lejanamente relacionado con la levadura de cerveza.

Piruvato: Es el anión del ácido pirúvico.

Polimeriza: Proceso químico por el cual, mediante el calor, luz o un catalizador se unen a varias moléculas de un compuesto para formar cadena.

Proceso Aerobio: Proceso en el cual surgen reacciones que suministra energía, en ausencia de oxígeno, utilizan sustancias diferentes como el nitrógeno.

Proceso Anaerobio: Proceso en el cual surgen un conjunto de reacciones que suministran energía en ausencia de oxígeno, utilizan sustancias diferentes como el nitrógeno.

Reactividad: Capacidad para reaccionar en presencia de otras sustancias químicas o reactivos.

Saccharomyces Cerevisiae: (saccharo: azúcar; myces: hongo y cerevisiae) es un hongo unicelular, un tipo de levadura utilizado industrialmente en la fabricación de pan, cerveza, y vino.

Sacarosa: Azúcar común o azúcar de mesa es un disacárido formado por glucosa y fructosa.

Saponificación: También conocida como hidrólisis de éster en medio básico, es un proceso químico por el cual un cuerpo graso, unido a una base y agua, da como resultado jabón y glicerina.

Solubilizar: Es cualidad de soluble (que se puede disolver).

Solvatación: Es el proceso de formación de interacciones entre moléculas de un disolvente con moléculas o iones de un soluto.

Sustratos: Es la superficie en la que una planta o animal vive.

Taxonomía: Ciencia que trata de los principios, métodos, y fines de clasificación generalmente científica, se emplea en especial, dentro de la biología para la ordenación jerarquizada.

Tóxicos: Es la capacidad de una sustancia química de producir veneno.

Tubérculos: Parte de un tallo subterráneo que se desarrolla y se engruesa por acumular en sus células de reserva.

Triploide: Se aplica al organismo cuyas células poseen tres dotaciones cromosómicas en vez de dos.

Urónico: Se produce por oxidación del carbono del otro extremo de la cadena(C-6) en glucosa, manosa, y galactosa.

Xilano: Es un polisacárido constituido por una cadena lineal de residuos de xilosa y diversas ramificaciones y sustituciones.

Xilosa: También llamada azúcar de madera es una aldopentosa, un monosacárido que contiene cinco átomos de carbono y que contiene un grupo funcional aldehído.

ETAPAS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL

| PRETRATAMIENTO MECÁNICOS | | |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Método | Ventajas | Desventajas |
| Trituración mecánica | Reducción de tamaño de partículas lleva un aumento de superficie específica y reducción del grado de polimerización (DP). el incremento del área superficial específica reduce DP, esto es un factor que incrementa los rendimientos de hidrólisis entre 5-25% (dependiendo de la clase de biomasa y duración de la molienda) también disminuye el tiempo de digestión entre el 23-59% así incrementa velocidad de hidrolisis. | A pesar de no producirse inhibidores (como furfural y HMF (hidroximetilfurfural). La molienda es ideal para producción de etanol. Es una operación que requiere alto consumo de energía. |

| Pretratamientos térmicos | | |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Explosión de vapor | Hidrolisis de 80 al 100% de la hemicelulosa. Alta concentración de sólidos, reducción de tamaño con menor gasto energético. Despolimerización baja de celulosa y recuperación fácil de esta por lavado. La lignina inalterada se puede extraer, reporta un incremento en la digestibilidad enzimática de la biomasa. | Destrucción de una parte de xilano de las hemicelulosas. Incompleta rotura de la matriz lignina carbohidratos. Generación de inhibidores que afectan el proceso de fermentación. Debe combinarse CON H ₂ SO ₄ SO ₄ O CO ₂ para Mejorar la eficiencia. Puede darse la condensación y precipitación de compuestos soluble de lignina haciendo la |

| | | |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------|
| | | biomasa menos digestible reduciendo la producción de etanol (G H. A., 2013) |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------|

| Pretratamiento físico-químico | | |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Explosión de fibra con amoníaco (AFEX) | No produce inhibidores. No requiere pequeños tamaños de partícula para aumentar su eficiencia. | No se solubiliza la hemicelulosa, la composición del material sometido a este proceso no cambia. Solo es aplicable y efectivo hasta un 90% en materiales con contenido de lignina menores a 15%. Requiere de la recuperación del amoníaco. |
| Explosión con CO ₂ | Es más barato que la explosión con amoníaco. No origina compuestos inhibitorios que se originen durante la explosión | Rendimientos relativamente bajos comparados con el proceso AFEX |

| Pretratamientos químicos | | |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hidrólisis ácida | Ácidos concentrados se obtienen rendimientos superiores al 90% Ácidos diluidos; bajo consumo de ácidos hidrólisis del 80 al 100% de la hemicelulosa; la T alta favorece la hidrólisis de la celulosa. | Ácidos concentrados la gran cantidad de ácido requerido; los costos de la recuperación del ácido, los efectos corrosivos de los ácidos concentrados que conlleva a altas inversiones en los equipamientos; es necesaria una costosa etapa de neutralización antes de la fermentación. |

| | | |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <p>Requiere altas temperaturas para alcanzar rendimientos aceptables de conversión de celulosa a glucosa; a pesar de la T altas y tiempos de residencia cortos que generan máximos rendimientos en glucosa, tan solo han logrado el 60% entorno al rendimiento teórico.</p> |
| Hidrólisis con álcalis. | <p>Aumento del área superficial interna.</p> <p>Descenso del nivel de cristalización.</p> <p>Separación de las uniones estructurales entre la lignina y los carbohidratos.</p> <p>Rotura de la estructura de la lignina.</p> | <p>La efectividad de este pretratamiento depende del contenido de lignina del material a tratar, que debe ser máximo de 18%.</p> <p>El pretratamiento alcalino causa la solubilización de hemicelulosa y lignina. Existe a menudo una pérdida de productos en la degradación de hemicelulosa y la solubilización de lignina a menudo tiene un efecto inhibitorio.</p> |
| Oxidación húmeda | <p>Este tratamiento no genera productos de degradación como el furfural.</p> | <p>Durante el pretratamiento una cantidad de azúcares se pierden, porque no es un producto. También se forman los compuestos solubles de lignina, lo que puede dar la inhibición en la conversión posterior de hemicelulosa en etanol.</p> |



| | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tratamiento con solvente orgánico | Solubilización de la lignina e hidrólisis de la hemicelulosa casi total. | Para reducir costos y evitar problemas de fermentación, se deben reciclar los solventes. |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|

| Pretratamiento biológico | | |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Tratamiento con hongos | Bajo requerimientos energéticos, producción del proceso a condiciones ambientales. | La hidrólisis es demasiado lenta. |