



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Evaluación de la efectividad de los solventes en la eliminación de extractivos y su relación con la caracterización química de bagazo de caña de azúcar

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico

Autoras:

Evelyn Priscila Cabrera Salazar

CI: 0106518616

Correo electrónico: fcabrera373@gmail.com

Karen Belén Chamba Ramírez

CI:0106856032

Correo electrónico: karenbelen106@hotmail.com

Directora:

Angélica María Vele Salto

CI:0105616072

Cuenca-Ecuador

17-enero-2022



RESUMEN

El presente proyecto evalúa la efectividad de tres tipos de solventes (agua, etanol 95 % y la mezcla etanol-tolueno 1:2) los cuales son utilizados en la eliminación de extractivos (gomas, taninos, colorantes, azúcares, almidones, aceites esenciales, ceras) y a su vez se analiza su relación con la caracterización química del bagazo de caña de azúcar. Para llevar a cabo este análisis, inicialmente se efectuó un muestreo de la biomasa en la fábrica Los Faiques ubicada en la vía Girón Pasaje en el cantón Santa Isabel de la provincia del Azuay, posteriormente la muestra fue pretratada para la reducción del tamaño y determinación de humedad, permitiendo la eliminación correcta de extractivos, y su posterior caracterización química que consistió en la determinación del porcentaje en peso de celulosa, hemicelulosa y lignina, para ello se aplicaron las normas TAPPI 204, TAPPI 222, TAPPI 212 Y ASTM 1104.

Los resultados obtenidos mostraron que el bagazo de caña presenta una humedad del 55.86% y el solvente que eliminó una mayor cantidad de extraíbles fue la mezcla etanol-tolueno 1:2 cuyo porcentaje fue de 31.61 %, por otra parte, se determinó que los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina alcanzaron valores de hasta el 38.67 %, 36.03 % y 13.60 % respectivamente, en las muestras tratadas con dicho solvente, debido a que se logró eliminar la mayor cantidad de interferencias en la etapa previa.

La investigación realizada reflejó que existe una dependencia entre la eliminación de extractivos y la caracterización química, ya que al emplear como solvente etanol-tolueno se obtuvo mayor cantidad de extraíbles eliminados, por lo tanto, este solvente es ideal para este tipo de biomasa logrando obtener una cantidad más confiable de los constituyentes lignocelulósicos que los alcanzados en las muestras tratadas con los otros dos solventes, debido a las interferencias eliminadas, destacando a la celulosa como el más importante.

Palabras claves: Bagazo de caña. Lignina. Celulosa. Hemicelulosa. Extractivos. Solvente.



ABSTRACT

This project evaluates the effectiveness of three types of solvents (water, 95 % ethanol and the 1:2 ethanol-toluene mixture) which are used in the elimination of extractives (gums, tannins, colorants, sugars, starches, essential oils, waxes) and, in turn, its relationship with the chemical characterization of sugarcane bagasse is analyzed. To carry out this analysis, a biomass sampling was carried out at the Los Faiques factory located on the Girón Pasaje road in the Santa Isabel canton of the Azuay province, then the sample was pretreated for size reduction and moisture determination, allowing the correct elimination of extractives, and their subsequent chemical characterization that consisted in determining the percentage in weight of cellulose, hemicellulose and lignin, for this, the standards TAPPI 204, TAPPI 222, TAPPI 212 and ASTM 1104 were applied.

The results obtained showed that the sugarcane bagasse presents a humidity of 55.86 % and the solvent that eliminated a greater quantity of extractables was the 1:2 ethanol-toluene mixture, whose percentage was 31.61%, on the other hand, it was determined that the contents of cellulose, hemicellulose and lignin reached values of up to 38.67 %, 36.03 % and 13.60 % respectively, in the samples treated with said solvent, because it was possible to eliminate the greatest amount of interferences in the previous stage.

The research carried out reflected that there is a dependence between the elimination of extractives and the chemical characterization, since when using ethanol-toluene as a solvent, a greater amount of extractables eliminated was obtained, therefore, this solvent is ideal for this type of biomass, obtaining a more reliable amount of lignocellulosic constituents than those achieved in the samples treated with the other two solvents, due to the interferences eliminated, highlighting cellulose as the most important.

Keywords: Cane bagasse. Lignin. Cellulose. Hemicellulose. Extractives. Solvent.



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
AGRADECIMIENTOS	12
DEDICATORIA.....	13
OBJETIVOS.....	15
INTRODUCCIÓN.....	16
CAPÍTULO I.....	18
1. MARCO TEÓRICO.....	18
1.1. Biomasa.....	18
1.2. Biomasa lignocelulósica.....	19
1.3. Composición química de la biomasa lignocelulósica.....	20
1.3.1. Sustancias macromoleculares	20
1.3.1.1. Celulosa.....	21
1.3.1.2. Hemicelulosa	23
1.3.1.3. Lignina	25
1.3.2. Sustancias de bajo peso molecular.....	27
1.3.2.1. Compuestos extractivos	28
1.3.2.2. Cenizas	29
1.3.2.3. Humedad	29
1.4. Caña de azúcar.....	29
1.4.1. Producción de caña de azúcar en el Ecuador	31
1.4.2. Bagazo de caña de azúcar	32
1.4.2.1. Usos.....	34
1.5. Técnicas de caracterización química.....	36
1.5.1. Normativas	37
1.5.1.1. Solventes utilizados en la eliminación de extractivos	37
CAPÍTULO II	42
2. METODOLOGÍA	42
2.1. Muestreo de biomasa	43
2.2. Pretratamiento de la biomasa	44



2.2.1.	Determinación de humedad	45
2.3.	Eliminación de extractivos	46
2.4.	Caracterización química	48
2.4.1.	Determinación de lignina insoluble en ácido	49
2.4.2.	Determinación de holocelulosa	51
2.4.3.	Determinación de α -celulosa	53
2.4.4.	Determinación de hemicelulosa	55
CAPÍTULO III	56
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	56
3.1.	Contenido de humedad	56
3.2.	Análisis de eliminación de extractivos.....	57
3.3.	Análisis y resultados de la caracterización química	58
3.3.1.	Contenido de lignina insoluble en ácido	58
3.3.2.	Contenido de holocelulosa	60
3.3.3.	Contenido de α -celulosa	60
3.3.4.	Contenido de hemicelulosa	62
3.4.	Evaluación general del solvente.....	63
CAPÍTULO IV	63
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
4.1.	Conclusiones	64
4.2.	Recomendaciones	66
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	74



ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i> Generación de bagazo de caña de azúcar en base a la producción de caña.	32
<i>Tabla 2.</i> Composición del bagazo de caña de azúcar.	33
<i>Tabla 3.</i> Resultados de la determinación de humedad.	56
<i>Tabla 4.</i> Resultados de la eliminación de extractivos en base al solvente utilizado.	57
<i>Tabla 5.</i> Resultados de la determinación de lignina insoluble en ácido con respecto al solvente empleado.	59
<i>Tabla 6.</i> Resultados de la determinación de holocelulosa con respecto al solvente empleado.	60
<i>Tabla 7.</i> Resultados de la determinación de α -celulosa con respecto al solvente empleado.	61
<i>Tabla 8.</i> Resultados obtenidos de hemicelulosa a partir de la determinación de holocelulosa y celulosa.	62

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Fuentes de biomasa	18
<i>Figura 2.</i> Composición del material lignocelulósico	21
<i>Figura 3.</i> Cadena de celulosa	21
<i>Figura 4.</i> Estructura de la cadena de celulosa	22
<i>Figura 5.</i> Estructura de una microfibrilla	23
<i>Figura 6.</i> Unidades constituyentes de las hemicelulosas	24
<i>Figura 7.</i> Alcoholes cinamílicos precursores de la lignina	26
<i>Figura 8.</i> Estructura de la lignina	27
<i>Figura 9.</i> Plantío de Caña de Azúcar	30
<i>Figura 10.</i> Bagazo de Caña de Azúcar	33
<i>Figura 11.</i> Producción de papel	35
<i>Figura 12.</i> Xilitol	35
<i>Figura 13.</i> Proceso de producción de bioetanol	36
<i>Figura 14.</i> Estructura química del agua	37
<i>Figura 15.</i> Estructura química del etanol	38
<i>Figura 16.</i> Estructura química del tolueno	39
<i>Figura 17.</i> Estructura química del benceno	39
<i>Figura 18.</i> Estructura química de la acetona	40
<i>Figura 19.</i> Estructura química del diclorometano	40
<i>Figura 20.</i> Estructura química del éter etílico	41
<i>Figura 21.</i> Diagrama de la metodología empleada	42
<i>Figura 22.</i> Ubicación de la Fábrica los Faiques	43
<i>Figura 23.</i> Muestreo de biomasa	44
<i>Figura 24.</i> Pretratamiento de la biomasa	45
<i>Figura 25.</i> Proceso para la determinación de Humedad	46
<i>Figura 26.</i> Proceso para la eliminación de extractivos	48



<i>Figura 27.</i> Proceso para la determinación de lignina insoluble en ácido	50
<i>Figura 28.</i> Proceso para la determinación de holocelulosa.....	52
<i>Figura 29.</i> Proceso para la determinación de α -celulosa	54

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1.</i> Gráfico de barras de los porcentajes de extraíbles eliminados con respecto a los solventes utilizados	¡Error! Marcador no definido.
<i>Gráfico 2.</i> Gráfico de barras de los resultados finales	63

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1.</i> Determinación de humedad	46
<i>Ecuación 2.</i> Determinación del porcentaje de extractivos	48
<i>Ecuación 3.</i> Determinación del porcentaje de lignina insoluble en ácido	50
<i>Ecuación 4.</i> Determinación del porcentaje de holocelulosa.....	53
<i>Ecuación 5.</i> Determinación del porcentaje de α -celulosa	54
<i>Ecuación 6.</i> Determinación del porcentaje de hemicelulosa.....	55



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Evelyn Priscila Cabrera Salazar en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación de la efectividad de los solventes en la eliminación de extractivos y su relación con la caracterización química de bagazo de caña de azúcar", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de Enero de 2022

Evelyn Priscila Cabrera Salazar

C.I: 0106518616



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Karen Belén Chamba Ramírez en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación de la efectividad de los solventes en la eliminación de extractivos y su relación con la caracterización química de bagazo de caña de azúcar", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de Enero de 2022

Karen Belén Chamba Ramírez

C.I: 0106856032



Cláusula de Propiedad Intelectual

Evelyn Priscila Cabrera Salazar, autor/a del trabajo de titulación “Evaluación de la efectividad de los solventes en la eliminación de extractivos y su relación con la caracterización química de bagazo de caña de azúcar”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 17 de Enero de 2022

Evelyn Priscila Cabrera Salazar

C.I: 0106518616



Cláusula de Propiedad Intelectual

Karen Belén Chamba Ramírez, autor/a del trabajo de titulación "Evaluación de la efectividad de los solventes en la eliminación de extractivos y su relación con la caracterización química de bagazo de caña de azúcar", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 17 de Enero de 2022

Karen Belén Chamba Ramírez

C.I: 0106856032



AGRADECIMIENTOS

Al concluir esta etapa de nuestra vida agradecemos a Dios por brindarnos sabiduría para recorrer este largo camino llamado vida y por guiarnos a lo largo de este proceso de aprendizaje y concedernos fortaleza para lograr culminar esta fase académica.

De igual manera agradecemos a nuestros padres por ser los pilares fundamentales de nuestras vidas, quienes nos han ayudado a cumplir este sueño a través de su apoyo incondicional.

En especial, expresamos un profundo agradecimiento a nuestra directora de tesis, Ing. Angélica Vele por su constante apoyo, comprensión, paciencia, predisposición y orientación durante el desarrollo de este trabajo de titulación para concluirlo con éxito, y por abrirnos las puertas del proyecto de investigación “Optimización de la reacción de hidrólisis ácida con líquidos iónicos para la obtención de monosacáridos de la biomasa generada por los principales cultivos del Ecuador” del cual nació la idea de este trabajo.

Queremos expresar un sincero agradecimiento a la Ing. Verónica Saetama y a la Universidad de Cuenca por facilitarnos las instalaciones y equipos necesarios para culminar exitosamente este trabajo de titulación.

Finalmente, a nuestros amigos y compañeros con los que compartimos alegrías y tristezas, triunfos y desaciertos; pero sobre todo el anhelo de cumplir nuestras metas.

Priscila y Karen



DEDICATORIA

No importa cuán difícil puede parecer un destino, mientras tengas la certeza y claridad de lo que quieres, manteniendo un enfoque preciso y las personas indicadas en tu vida que siempre están prestos a brindarte su apoyo, y se unen en una búsqueda común de tu propósito. Por ello quiero dedicar éste proyecto de grado a las personas que han impulsado este logro.

A mis padres, Jhonny y Rosa, por su cariño, comprensión y paciencia, por ser mí gran ejemplo de responsabilidad y dedicación, por apoyarme siempre y ayudarme a superarme día a día. Ustedes me han motivado a seguir adelante y es gracias a todo su esfuerzo que he culminado esta etapa académica, la cual ha sido una de las experiencias más significativas y formativas de mi vida.

A mi sobrina, Arianna, y a mis hermanos, Michelle y Paúl, por su compañía, su cariño, por llenar mi vida de alegría y por ayudarme a alcanzar mis metas.

A mi compañero de vida, Mauricio, por su amor incondicional y su incesante lucha por hacerme feliz, por apoyarme a lo largo de este camino y ser mi ejemplo de superación, por sus sabios consejos y su paciencia, por ayudarme a superar cualquier adversidad y por enseñarme a confiar en mí hasta llegar a cumplir hoy esta meta.

Priscila



DEDICATORIA

Culmina una etapa más de mi vida la cual no lo habría logrado sin la ayuda de varias personas; por acompañarme en los días buenos y malos este trabajo lo dedico a 4 en especial:

A mi padre Silvio Chamba la pieza fundamental de mi vida, mi apoyo incondicional, el que ha estado presente en mis momentos importantes y me ha demostrado que la familia esta sobre todas las cosas, el hombre que con su ejemplo me ha enseñado lo que es el trabajo duro y honesto.

A mi madre Blanquita quien es un ejemplo de hija, esposa y mujer trabajadora, mi compañera silenciosa de vida, la que me ha enseñado a afrontar los problemas con valor, tenacidad y perseverancia, la que con sus consejos a calmado mi corazón, la mujer que siempre ve lo bueno de las personas.

A mi hermana Doménica la más jovial de la casa, por ser ese rayito de luz que ilumina cada uno de mis días, con sus ocurrencias, travesuras y sobre todo con el cariño que me demuestra a través de sus pequeños detalles.

A mi hermano Bruno quien de pequeña me cuido y fortaleció mi carácter para convertirme en lo que hoy en día soy, el que me enseñó las cosas básicas pero importantes de la vida.

Karen



OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar la efectividad de los diferentes tipos de solventes utilizados en la eliminación de extractivos y establecer su relación con la caracterización química del bagazo de caña de azúcar.

Objetivos Específicos

- Aplicar técnicas de muestreo de biomasa
- Efectuar un pretratamiento físico de biomasa
- Determinar el solvente que permita eliminar la mayor cantidad de extractivos
- Determinar el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina en el bagazo de caña de azúcar.



INTRODUCCIÓN

La biomasa contempla un amplio rango de materiales orgánicos, la cual está compuesta por una agrupación compleja de polímeros de carbohidratos conocidos como celulosa, hemicelulosa, lignina y pequeñas cantidades de otras sustancias contenidas en la pared celular de las plantas (Manals et al., 2011)

A nivel nacional, el cultivo de caña de azúcar se considera la mayor reserva estratégica de biomasa, es así que la producción en el Ecuador en el año 2020 según datos presentados por INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos), es de 11 390 245 toneladas métricas a nivel nacional, generando 3 254 355.71 toneladas métricas de residuos en forma de bagazo de caña, estos residuos podrían ser utilizados como fuentes de energía, sin embargo, se requiere de un conocimiento previo de su composición química que permita establecer su uso dentro de la industria.

Por esta razón se ha identificado la necesidad de categorizar dicha biomasa ya que debido a su composición lignocelulósica pueden emplearse para la obtención de combustibles líquidos y gaseosos, en construcciones, alimento de animales, como base en industrias de celulosa y papel, fuente de obtención de productos químicos, entre otros. Además, presenta la gran ventaja de ser biodegradable y renovable, por lo que su empleo representa una forma sostenible y amigable para el medio ambiente (Abril & Navarro, 2012).

Las normativas que permiten determinar la caracterización química, establecen como primera etapa la eliminación de extractivos, convirtiéndolo en un proceso esencial que debe ser llevado a cabo correctamente, no obstante, se dispone de una amplia variedad de solventes que pueden ser empleados de forma general en todo tipo de biomasa sin especificar la estructura química de las mismas.

La importancia de eliminar los extractivos radica en que al procesar la biomasa se puede originar reacciones químicas que modifican su estructura y generan propiedades no deseables en la caracterización (Beek et al., 2007). Además, existen diferentes normativas para la eliminación de extractivos entre ellas están las TAPPI (Technical Association of the



Pulp and Paper Industry) y NREL (National Renewable Energy Laboratory) las cuales son aplicables para maderas y biomasa en general.

Por lo antes mencionado la finalidad de este trabajo de investigación es evaluar la efectividad de tres solventes en la eliminación de los extractivos y relacionarlo con la caracterización química del bagazo de caña.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Biomasa

Se define como “cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico”, proceden tanto de origen animal como vegetal, en términos globales se pueden encontrar en zonas agrícolas de cultivos e industrias agroindustriales, en actividades silvícolas e industrias transformadoras de madera, sólidos urbanos y asimilables (Herrera, 2020).



Figura 1. Fuentes de biomasa.

Fuente:(Arbeláez et al., 2013).

La biomasa tiene carácter de energía renovable ya que su contenido energético procede de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético, el cual consiste en convertir los compuestos inorgánicos que asimilan (CO_2) en compuestos orgánicos(Castells, 2012).



La biomasa tiene la base de su obtención de energía en la clorofila, ya que actúa como un semiconductor, puede considerarse la molécula más importante de la biosfera debido a que logra transformar la energía solar en energía química, que luego se utiliza en las reacciones metabólicas de los seres vivos (Fernández et al., 2015).

En la actualidad la biomasa puede ser sometida a una amplia gama de usos tecnológicos como es generación de calor, vapor, aceites térmicos, energía eléctrica, biocarburantes para transporte, entre otros, ya que es un recurso renovable que proviene de la materia orgánica excluyendo los combustibles fósiles o sus derivados (Castells, 2012).

1.2. Biomasa lignocelulósica

La biomasa lignocelulósica es el componente estructural que se encuentra en mayor proporción en plantas maderables y no maderables. Está constituida fundamentalmente por celulosa, hemicelulosas y lignina. Se excluye en este caso la biomasa constituida principalmente por azúcares, almidón y proteínas, como por ejemplo los cereales, mieles, granos, entre otros (Casa, 2018).

Sus fuentes principales son los bosques, cultivos agrícolas, residuos de cosechas y otros residuos industriales como residuos de la industria de la madera y tableros, residuos de la industria del papel y el papel reciclado (Abril & Navarro, 2012), por lo que es el material orgánico más abundante en la tierra con poco uso tecnológico.

Las propiedades químicas de sus componentes hacen de ella un substrato de enorme valor biotecnológico. Hoy en día el material lignocelulósico es utilizado como fuente de energía, producción de biocombustibles, en el sector de pastas celulósicas, entre otros. Además, presenta la gran ventaja de ser renovable y biodegradable, lo cual constituye una forma amigable y sostenible para el medio ambiente.



1.3. Composición química de la biomasa lignocelulósica

La biomasa lignocelulósica es un material que almacena luz mediante procesos fotosintéticos. Esta energía puede ser almacenada como almidones, azúcares, o como compuestos de estructura más compleja (Palacios, 2016).

La celulosa, hemicelulosas y lignina son los principales constituyentes de la pared celular de fibras de plantas. La morfología de las fibras depende principalmente de la composición y la organización estructural de estos constituyentes. Sin embargo, contiene compuestos minoritarios no poliméricos que pueden ser de vital importancia para los procesos fisiológicos de la célula. La cantidad y el tipo de estos compuestos pueden influir mucho en procesos industriales (Prinsen, 2010).

1.3.1. Sustancias macromoleculares

La biomasa lignocelulósica de origen vegetal, está compuesta principalmente por tejidos de los vegetales cuyas células presentan una pared celular constituida a su vez por un entramado de microfibrillas de celulosa formando capas recubiertas de hemicelulosa y sobre las que se deposita la lignina. Dicha pared celular permite crear y darle sostenibilidad a la estructura de las plantas para captar la radiación solar, confiriéndoles una mayor resistencia mecánica y protección a posibles patógenos (Morales, 2015).

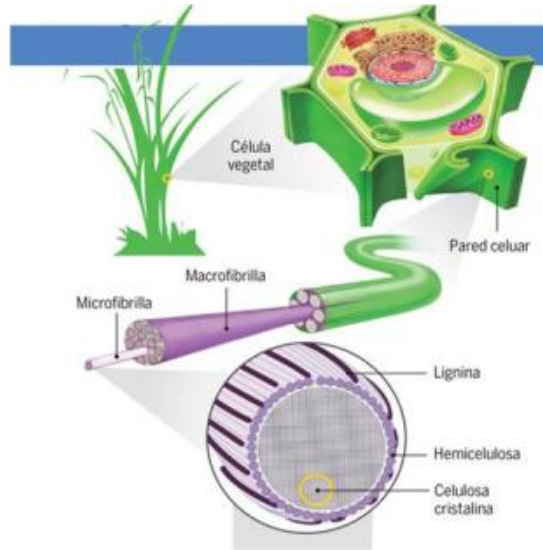


Figura 2. Composición del material lignocelulósico.
Fuente: (Casa, 2018).

1.3.1.1. Celulosa

Es el componente más abundante de la naturaleza y constituye la base estructural de las células vegetales. Se trata de un biopolímero de elevado peso molecular que presenta una estructura blanca, fibrosa, muy estable, impenetrable por el agua, resistente al ataque químico, y a la atracción mecánica (Nogués et al., 2010).

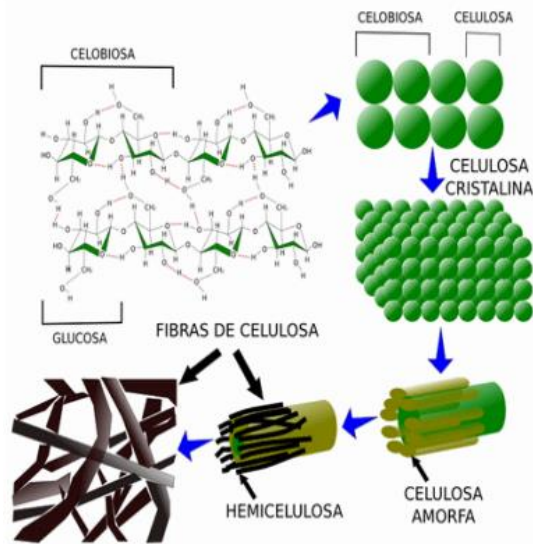


Figura 3. Cadena de celulosa.
Fuente: (Casa, 2018).

La celulosa se encuentra especialmente en residuos agrícolas como la cascarilla de arroz, café y bagazo de caña, así como en la madera y grasas. Es aprovechado fundamentalmente dentro de la industria en la producción de papel y otros derivados (Álvarez, 2016).

▪ *Estructura de la celulosa*

Se encuentra formado por subunidades de D-glucosa unidas por enlaces β -glucosídicos. Estos enlaces forman cadenas lineales muy estables originando fibras generalmente independientes que se encuentran enlazadas por puentes de hidrógeno y fuerzas de van der Waals, lo que permite la formación de una estructura cristalina muy resistente (Herrera, 2020).

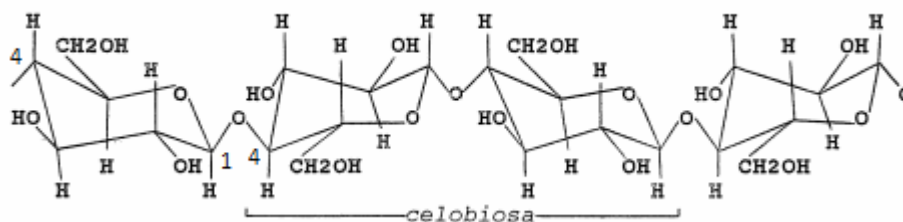


Figura 4. Estructura de la cadena de celulosa.
Fuente: (Martín & Manzanares, 1994).

El enlace glucosídico se forma por la reacción del grupo $-OH$ hemiacetalico del carbono anomérico (carbono 1) de la β -D-glucopiranososa con el grupo $-OH$ del carbono 4 de otra β -D-glucopiranososa. Uno de los extremos de cada cadena presenta en este carbono 1 un grupo aldehído de carácter reductor (figura 4) (Barroso, 2010).

La disposición conformacional de los anillos de piranososa (forma de silla) hace que los grupos CH_2OH e hidroxilos, así como los enlaces glicosídicos queden en posición ecuatorial con respecto al plano principal formado por los anillos. Los grupos hidroxilo que sobresalen lateralmente son capaces de formar enlaces de hidrógeno inter e intramoleculares dando lugar a la formación de agregaciones fibrilares (Martín & Manzanares, 1994).

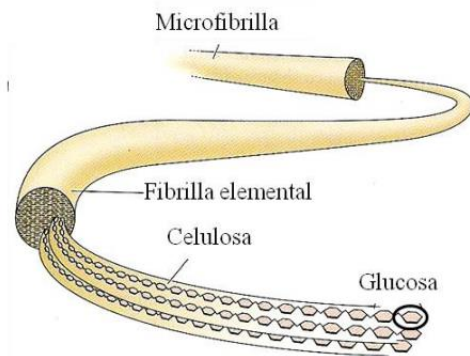


Figura 5. Estructura de una microfibrilla.
Fuente: (Barroso, 2010).

Las fibrillas elementales están conformadas por entre 40 y 100 cadenas de celulosa donde se presentan zonas con una estructura cristalina, la cual hace que la celulosa tenga una gran resistencia y presente regiones amorfas que le confieren elasticidad (Barroso, 2010).

La estructura cristalina ocasiona ciertos inconvenientes cuando se requiere utilizar material lignocelulósico, ya que limita el ataque de diferentes sustancias químicas y enzimas, es por ello que se debe recurrir a tratamiento físico de reducción de tamaño por molienda, para aumentar la superficie expuesta del material, y a la vez disminuir el grado de polimerización y cristalinidad de la celulosa, favoreciendo así los futuros tratamientos. Para el aprovechamiento de los materiales lignocelulósicos también se utilizan tratamientos químicos con ácidos, bases o agentes oxidantes para romper la pared interna y las estructuras de la lignina y de la hemicelulosa (Casa, 2018).

1.3.1.2. Hemicelulosa

La hemicelulosa o poliosa es un biopolímero complejo y heterogéneo. Tiene un peso molecular menor al de la celulosa, y con cadenas laterales cortas que constan de diferentes polímeros de azúcares, fáciles de hidrolizar; sirve como una conexión entre la lignina y las fibras de celulosa, además le da al conjunto de celulosa-hemicelulosa-lignina rigidez (Cortes, 2014). La hemicelulosa puede constituir hasta un 25 % en las maderas y entre 20 y 40 % en residuos de cosechas (Blasco, 1970).

La hemicelulosa al igual que la celulosa es uno de los biopolímeros más abundante en el reino vegetal, se encuentra formando parte de la estructura de biomásas lignocelulósicas como arbustos, hierbas, árboles, paja, etc. La hemicelulosa posee diversas propiedades como: biocompatibilidad, biodegradabilidad, bioactividad, por lo cual es empleado en diversos campos como la industria alimenticia, química y medicinal, en la producción de energía, materiales poliméricos, biosurfactantes, y como aditivo en la fabricación del papel (Álvarez, 2016).

▪ *Estructura de la hemicelulosa*

La hemicelulosa está formada por pentosas y hexosas, formando cadenas ramificadas junto con los ácidos urónicos, los cuales se encuentran unidos a través de enlaces β -(1,4). Otros azúcares pueden estar presentes como α -L-ramnosa y α -L-fucosa pero en pequeñas cantidades; la estructura que presente la hemicelulosa variará dependiendo de la materia prima (Álvarez, 2016).

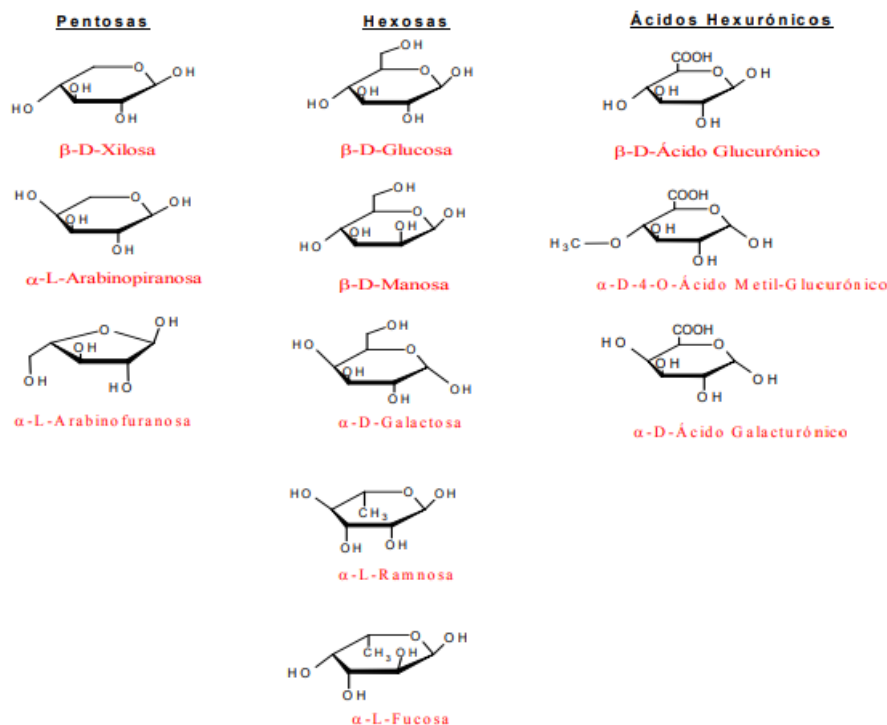


Figura 6. Unidades constituyentes de las hemicelulosas.

Fuente:(J. Pérez, 2008).



Este biopolímero se distingue de la celulosa en la longitud de las cadenas moleculares, en la presencia de ramificaciones mediante enlaces covalentes y en la composición del monómero que lo constituye. Generalmente están formadas por una cadena principal de un único azúcar (homopolímero), o de dos o más azúcares (heteropolímero) que pueden presentarse con ramificaciones muy cortas, generalmente de un único azúcar o si ramificaciones. En muchas biomásas lignocelulósicas, la ramificación común en las hemicelulosas, es el grupo acetilo, el cual se encuentra esterificado a lo largo de la cadena principal que conforma el esqueleto hemicelulósico (J. Pérez, 2008).

Los heteropolímeros que forman las hexosas se denominan según el monómero mayoritario que presentan por lo que pueden ser xilanos, mananos, galactanos, glucanos, xiloglucanos y sustancias pécticas (Barroso, 2010).

1.3.1.3. Lignina

La lignina es el compuesto más heterogéneo que contienen las biomásas, no posee una estructura cristalina definida como la celulosa y la hemicelulosa (Arbeláez et al., 2013). Es el segundo componente más abundante en el mundo vegetal y sus principales funciones son conferirle impermeabilidad, soporte estructural, rigidez y protección a la hemicelulosa y celulosa, debido a que forma un escudo protector alrededor de estos biopolímeros, evitando la degradación de enzimas, estrés oxidativo y ataques microbianos; la lignina juega un papel fundamental en el transporte del agua, por lo que reduce la permeabilidad de la pared celular (Álvarez, 2016).

Uno de los principales obstáculos a la hora de utilizar materiales lignocelulósicos en procesos de transformación para la obtención de productos diversos, es la presencia de la fracción de lignina que al ejercer un papel protector de los polisacáridos de la pared vegetal dificulta, el acceso de reactivos químicos o de enzimas hacia el interior de la misma. La lignina tiene su propio valor, bien sea como combustible ya que su poder calorífico es mucho más elevado que el de la madera, como adhesivo (procesos de peletización), como

aditivo (resinas fenólicas y fertilizantes etc.) o como fuente de sustancias fenólicas (Martín & Manzanares, 1994).

▪ *Estructura de la lignina*

Es un polímero amorfo muy complejo, tridimensional y ramificado. Se encuentra formada por una matriz arraigada de monómeros hidroxicinamínicos polimerizados, cuyos precursores son los alcoholes cinamílicos; p-cumarílico, coniferílico y sinapílico, los cuales se distinguen entre ellos por las diferentes sustituciones que presenta el anillo aromático. Estos precursores dan lugar a las subunidades p-hidroxifenilo, guayacilo y siringilo, respectivamente, que se unen a través de diversos enlaces en el polímero final, tales como, carbono-carbono y uniones tipo éter, mayoritariamente, y tipo éster (J. Pérez, 2008).

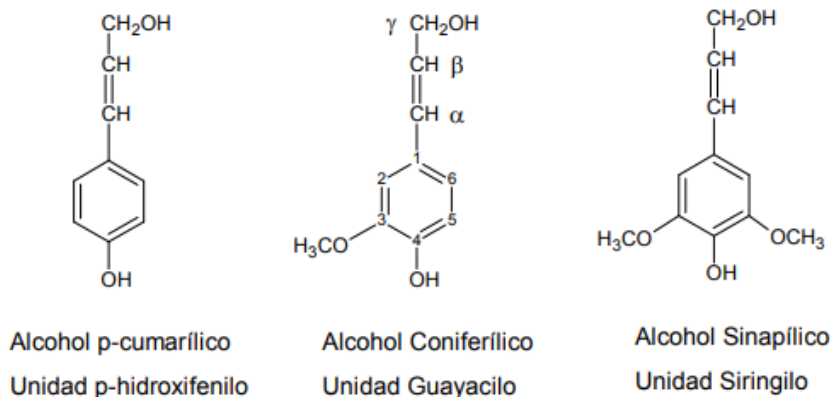


Figura 7. Alcoholes cinamílicos precursores de la lignina.

Fuente: (J. Pérez, 2008).

La proporción en las que se encuentren estas tres unidades que constituyen la lignina y el tipo de enlace que presenta difiere según varios factores como la variedad de planta, tejido de la pared celular, grupo taxonómico, estado de desarrollo y condiciones climáticas (Chanta, 2015).

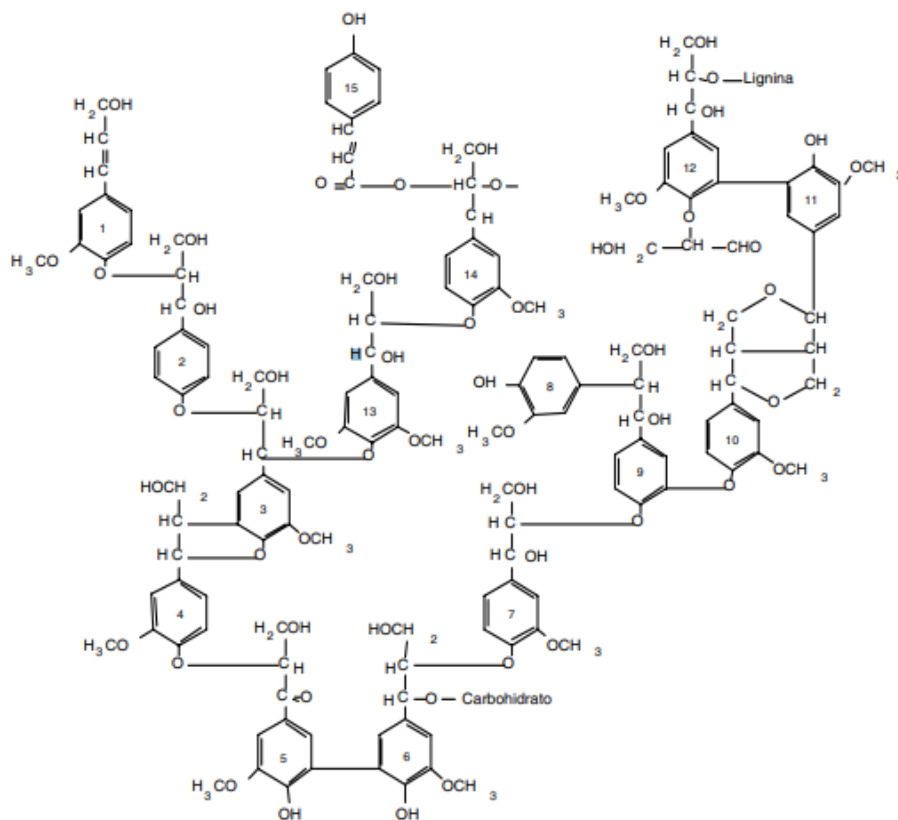


Figura 8. Estructura de la lignina.
Fuente: (Oliva, 2003).

La polimerización de estos monómeros hidroxicinamínicos durante la formación de la pared celular se produce mediante dos etapas, una enzimática y una química. En la primera etapa los precursores son oxidados por peroxidasa de la pared dando radicales fenoxilo que, a continuación, y durante la etapa química, reaccionan al azar entre ellos dando lugar a un patrón irregular de formación de enlaces (J. Pérez, 2008).

Debido a la insolubilidad en agua de este heteropolímero amorfo y a la propiedad de ser ópticamente inactivo, la degradación de la lignina es muy complicada (Casa, 2018).

1.3.2. Sustancias de bajo peso molecular

Estos componentes se encuentran en pequeñas cantidades; están constituidos por proteínas (3-10 %), lípidos (1.5 %), azúcares solubles, denominados extractivos, agua y minerales



(10.5 %), que en los análisis químicos se estiman como cenizas (Morales, 2015), la proporción de cada una de estas fracciones dependen del tipo, edad y tejidos de la planta.

Presentan gran influencia en las propiedades y procesado de las biomásas lignocelulósicas. Su principal objetivo es proteger a la madera de los insectos, dar olor, color y gusto a la madera, e inhiben el blanqueo de las pastas de celulosa (Barba, 2002).

1.3.2.1. Compuestos extractivos

Los extractivos son componentes orgánicos de bajo peso molecular, pueden ser obtenidos a partir de madera o paja mediante lavado con agua o solventes orgánicos. Por otro lado, se usan diferentes técnicas para su obtención tales como, la extracción mediante fluidos supercríticos y soxhlet (Álvarez, 2016).

Los compuestos extraíbles se clasifican según su solubilidad en compuestos lipofílicos (lípidos y derivados) y compuestos hidrofílicos (hidrosolubles). En muchas plantas los lípidos son los que proporcionan el olor, color y gusto. Además, estos componentes son importante en la defensa contra patógenos. Los extraíbles hidrosolubles son compuestos más polares. Son compuestos fenólicos libres como estilbeno, lignanes (oligolignoles y derivados), taninos, flavonoides, etc. Los extraíbles lipofílicos consisten principalmente en ácidos y alcoholes grasos libres, ácidos resínicos, hidrocarburos, terpenoides, esteroides (sitosteroles libres y esterificados con ácidos grasos y compuestos glicosídicos), glicéridos libres y esterificados y ceras) (Prinsen, 2010).

La cantidad y variedad de compuestos extraíbles depende mayormente de la variedad de planta que se analice; representa el componente minoritario dentro de la composición estructural de la biomasa lignocelulósica, conformando del 4 – 10% del total en la materia seca (Álvarez, 2016); sin embargo, existe ciertas biomásas como el bagazo de caña de azúcar y el raquis de palma que puede presentar porcentajes de extraíbles más elevados como es el caso de lo reportado por (Moncada & Gutiérrez, 2016) con valores de 23.32% y 17.41% respectivamente.



1.3.2.2. Cenizas

Son las sustancias inorgánicas que se encuentran enlazadas en la estructura física de la biomasa, se pueden determinar por incineración del material entre 575 °C y 850 °C. Principalmente son las sales inorgánicas de magnesio, calcio y potasio, así como sílice en las maderas tropicales. Forman carbonatos, fosfatos, oxalatos y silicatos (Nogués et al., 2010). Las biomásas lignocelulósicas por lo general tienen contenido de cenizas menores al 1% (Arbeláez et al., 2013).

1.3.2.3. Humedad

La humedad de las biomásas es representada como la cantidad de agua por unidad de masa de sólido seco. El contenido de humedad puede ser de dos tipos, la humedad libre y la humedad ligada. La humedad libre es aquella agua que se puede desprender fácilmente por secado al aire ambiente hasta alcanzar la humedad en equilibrio con las condiciones ambientales de humedad y temperatura dadas (Nogués et al., 2010). Por otro lado, la humedad ligada hace referencia al contenido de agua que se encuentra al interior de los capilares y poros de las estructuras celulares, además, del agua unida por puentes de hidrogeno con otros compuestos presentes en las biomásas (Arbeláez et al., 2013).

1.4. Caña de azúcar

La caña de azúcar es una gramínea tropical perenne conocida como una de las especies de plantas más eficientes, con alta producción de hojas y de tallos gruesos y fibrosos que crecen entre 3 y 5 metros de altura y tienen de 5 a 6 centímetros de diámetro aproximadamente (Ramírez, 2008).

Este cultivo agroindustrial es el más importante en las regiones tropicales y está muy difundido en el continente americano debido a sus condiciones climáticas ya que se desarrolla mejor en climas calientes y con mucha exposición solar. La caña de azúcar se



adapta a cualquier tipo de suelo pudiendo cultivarla en suelos con un rango de pH de 5.5 a 7.8 (Ramírez, 2008).

Las cañas que se cultivan son de dos grupos, el primer grupo es conocido como cañas nobles debido a su tamaño, suavidad y alto contenido de azúcar, este grupo pertenecen a la especie *Saccharum Officinarum*, sin embargo actualmente se cultiva un híbrido muy complejo de dos o más, de las cinco especies del género *Saccharum*: *S. Barben*, *S. Smence*, *S. Robustum*, *S. Officinarum* y *S. Spontaneun* (Aguilar, 2011).

El fruto agrícola de esta planta que es útil para múltiples producciones es el tallo, ya que en él se distribuye y almacena una gran cantidad de sacarosa que se procesa para la obtención de azúcar. El tallo está compuesto por: la epidermis o corteza, los tejidos y fibras. La fibra es la parte insoluble en agua, la cual está formada principalmente por celulosa (Burgos, 2015).

Además de la obtención de azúcar, a partir de la caña puede producirse alcohol como carburante y proporcionar el bagazo para cogeneración de energía. Por lo tanto los dos componentes del rendimiento de la caña de azúcar son la cantidad de sacarosa y la producción de biomasa (Aguilar, 2011).



Figura 9. Plantío de Caña de Azúcar.
Fuente: (Fretes, 2011).



1.4.1. Producción de caña de azúcar en el Ecuador

La caña de azúcar es un cultivo de alta importancia en el Ecuador, la cadena productiva que genera es uno de los pilares fundamentales del desarrollo agrícola del país. Se considera que es una de las agroindustrias más innovadoras y emprendedoras, ya que no solo es fuente de materia prima para la producción de azúcar y alcohol, sino que también se emplea para generar energía eléctrica para la obtención de dichos productos y de abonos orgánicos (Vélez, 2020).

(INEC, 2021) en su Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua- ESPAC 2020, menciona que la superficie plantada de caña de azúcar para azúcar en el año 2020 fue de 142 010 hectáreas a nivel nacional; mientras que para otros usos como producción de alcohol etílico, panela y melaza fue de 15 976 hectáreas. Además, da a conocer que, en los años 2018, 2019 y 2020 en el Ecuador se ha producido un total de 7 840 635, 10 088 870 y 11 390 245 toneladas métricas (Tm) de caña respectivamente.

La producción de caña de azúcar en nuestro país es cada vez más significativa ya que se sigue incrementando el área de cultivo con la finalidad de garantizar una mayor producción de azúcar y abastecer la demanda nacional, por lo tanto incrementa de igual manera la generación de subproductos como es el bagazo de la caña, generando en relación 1 tonelada de bagazo por cada 3.5 toneladas de caña (Elizalde, 2015).

En la Tabla 1 se puede observar la cantidad de bagazo en toneladas que se ha generado en los años 2018, 2019 y 2020 con respecto a la producción de caña de azúcar en dichos años.

**Tabla 1.** Generación de bagazo de caña de azúcar en base a la producción de caña.

Año	Producción de caña de azúcar (Tm)	Generación de bagazo de caña de azúcar (Tm)
2018	7 840 635	2 240 181.43
2019	10 088 870	2 882 534.29
2020	11 390 245	3 254 355.71

Fuente: Autor

1.4.2. Bagazo de caña de azúcar

El bagazo de caña es un residuo de tipo fibroso que se obtiene del prensado y extracción del jugo de la caña dentro de las industrias azucarera y alcoholera. Además, es considerado como un material lignocelulósico de bajo costo y existente en grandes cantidades, representa al 25% de la caña de azúcar procesada (Villacís, 2016).

El bagazo tiene un amplio rango de tamaño de partícula y un alto contenido de humedad. Éste residuo es una fuente de energía renovable, se caracteriza por tener fibras vegetales insolubles en agua y está mayormente compuesto por celulosa, hemicelulosa, lignina y otros constituyentes minoritarios (Neri, 2002), sin embargo su composición puede variar dependiendo del tipo de caña, su madurez, parte de la planta y de la eficiencia del método de extracción o prensado de su jugo (Boarini, 2006).



Figura 10. Bagazo de Caña de Azúcar.
Fuente: Autor.

En la Tabla 2 se presenta el rango de valores entre los cuales suele encontrarse la composición química media del bagazo de caña de azúcar. En dicha tabla se observa el contenido de humedad que presentan los bagazos que son obtenidos recientemente del proceso de transformación de la caña, además se reportan los datos de los constituyentes estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina), así como aquellos componentes que se encuentran en menor proporción en éste residuo los cuales son conocidos como extractivos.

Tabla 2. Composición del bagazo de caña de azúcar.

Composición	Porcentaje (%)	Referencia
Humedad	45 - 55	(Neri, 2002)
Celulosa	32 - 44	
Hemicelulosa	27 - 32	(Barba, 2002)
Lignina	19 - 24	
Extractivos	2.7 – 23.32	(Aguilar Rivera, 2016) y (Moncada & Gutiérrez, 2016)



1.4.2.1. Usos

El bagazo de caña de azúcar es uno de los desechos agrícolas más versátiles y útiles para ser reutilizado en distintas aplicaciones, sus fibras cortas y largas pueden ser separadas para darles un uso diferente, como, por ejemplo: la fibra larga para la fabricación de papel y la fibra corta como alimento de ganado o para la generación de electricidad y vapor mediante combustión. Además debido a su composición lignocelulósica puede emplearse para la obtención de combustibles líquidos y gaseosos, en construcciones, como fuente de obtención de productos químicos, entre otros (Neri, 2002).

A continuación, se exponen algunos de los usos del bagazo como materia prima:

- * *Producción de celulosa y papel:* Para la producción de la pulpa celulósica, el bagazo debe mejorarse morfológicamente, posteriormente se liberan las fibras que se encuentran unidas entre sí, en el cual se emplea sosa cáustica y vapor para eliminar la lignina y convertir la fibra en pulpa. A continuación, se lava y depura para ser trasladada al proceso de blanqueo y utilizada para la fabricación de papel. Para la obtención del papel primero se lleva a cabo una refinación, luego se mezclan las pulpas y se añade carbonato de calcio para obtener un empaste. Seguidamente se realiza una dilución y depuración y una vez lista la mezcla, ésta ingresa a la máquina de papel para la formación de la hoja de papel y finalmente se seca para eliminar el excedente de agua (Fleck, 2009).



Figura 11. Producción de papel.
Fuente: (INEN, 2018).

- * *Producción de Xilitol:* El xilitol es un alcohol cuyas propiedades químicas le permiten, ser usado en la elaboración de productos para higiene bucal, alimentos, productos fármacos y cosméticos. El Xilitol se puede obtener a partir de un proceso de fermentación de medio sintético y de hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar. (Acosta et al., 2005).



Figura 12. Xilitol.
Fuente: (Sundaram, 2017).

- * *Producción de bioetanol:* La caña de azúcar es el cultivo que ofrece la mayor cantidad de materia prima para producir bioetanol, el cual se obtiene llevando a cabo un pretratamiento del bagazo para luego someter a una hidrólisis enzimática obteniendo una solución de azúcares fermentables, los cuales se convierten después en etanol mediante microorganismos. Finalmente se destila para obtener etanol anhidro, el mismo que es apto para ser mezclado con la gasolina (Zumalacárregui et al., 2015).

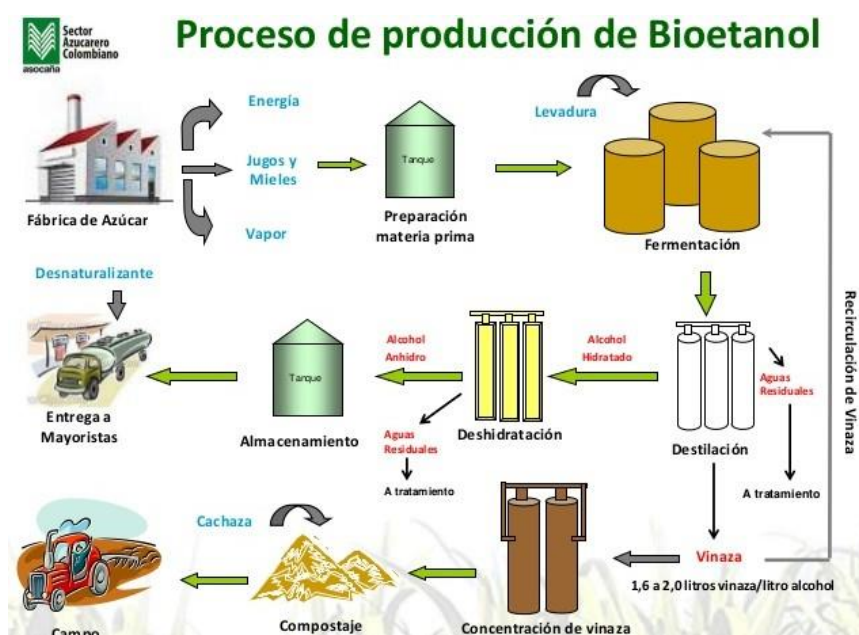


Figura 13. Proceso de producción de bioetanol.
Fuente: (Cabal, 2015).

1.5. Técnicas de caracterización química

La determinación de la composición química de biomasa en relación a los principales componentes del material lignocelulósico es valioso para su categorización y utilización dentro de la industria. Su determinación se realiza utilizando diferentes técnicas, entre estas se encuentran los métodos descritos en normativas establecidas como la American Society for Testing and Materials (ASTM), Technical Association for the Pulp and Paper Industry



(TAPPI) y National Renewable Energy Laboratory (NREL) además de otras tecnologías como el TGA (Termogravimetría).

1.5.1. Normativas

Dentro de las normativas existentes para la caracterización química se indica la importancia de remover la parte orgánica no estructural de la biomasa para evitar interferencias en los análisis posteriores, para ello se establece la utilización de procesos de extracción mediante el uso de solventes (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2007).

En general, los solventes nombrados en las normativas son: agua, etanol, acetona, benceno, diclorometano y mezclas de etanol: benceno. Sin embargo, debido a la generación de trastornos crónicos a la sangre que produce el benceno, se recomienda el uso de compuestos homólogos como el tolueno con la finalidad de garantizar la seguridad de las personas que lo manipulan (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2007).

Por otra parte, las normas TAPPI y ASTM se encuentran dirigidas para el tratamiento de maderas y pulpas, en cambio las NREL para biomasa en general, por lo que no existe una guía que especifique el tipo de solvente que se debe utilizar para una biomasa en particular.

1.5.1.1. Solventes utilizados en la eliminación de extractivos

- *Agua*

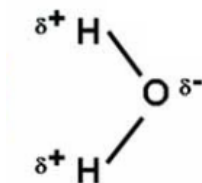


Figura 14. Estructura química del agua.
Fuente: (Peralta, 2007)



El agua es un líquido sin color, olor ni sabor; disuelve bien a compuestos iónicos y compuestos bastante o medianamente polares, como: la sal común, bicarbonato, alcohol, vinagre, azúcares y ácidos; salvo las sustancias hidrofóbicas (grasas y aceites) (Finger & Sepúlveda, 2019). Otro tipo de compuestos que puede extraer el agua son taninos, gomas, almidones y colorantes (Adell, 2007).

Este solvente disuelve muchos productos, preferentemente inorgánicos, además es miscible con alcoholes inferiores y con acetona; sin embargo, no disuelve ni es miscible con los de más de tres carbonos (Carbonell, 2011).

- *Etanol*

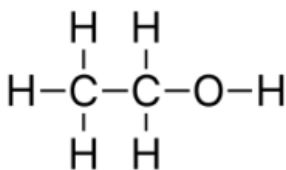


Figura 15. Estructura química del etanol.
Fuente: (Espinosa, 2017)

El alcohol etílico o etanol es un líquido incoloro, volátil, con olor característico, polar por lo que es soluble en agua. Además, es uno de los solventes industriales más usados por su bajo costo de producción. Dentro del material soluble en etanol se encuentran compuestos polares como: las clorofilas, taninos y colorantes. Por otro lado, al presentar una cierta parte apolar puede solubilizar ciertos compuestos apolares incluyendo la mayoría de aceites esenciales (Adell, 2007).

Como solvente el etanol manifiesta su toxicidad mucho menor comparado con la mayoría de solventes. Sin embargo, la exposición elevada puede causar irritación de mucosas, ojos, somnolencia, náuseas y mareos. Por ingestión puede causar daños al hígado (Corral, 2019).



▪ **Tolueno**

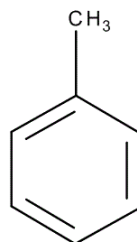


Figura 16. Estructura química del tolueno.
Fuente: (Bragas et al., 2019)

El tolueno es un líquido incoloro con un característico olor aromático. Es menos denso que el agua, inmiscible en ella y sus vapores son más densos que el aire, es utilizado como solvente de gomas, grasas, ceras, aceites y resinas. La toxicidad de este solvente es moderada y a pesar de tener una toxicología similar a la del benceno, este no genera los trastornos crónicos a la sangre (Supelco, 2021). En contacto con la piel puede provocar ciertas molestias como dermatitis, resequedad e irritación, la exposición frecuente de este producto provoca daño a los pulmones, hígado y disfunción cerebral (Bragas et al., 2019).

▪ **Benceno**

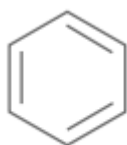


Figura 17. Estructura química del benceno.
Fuente: (Bragas et al., 2019)

El benceno es un líquido incoloro o amarillo claro, volátil, con olor dulce y aromático. Es altamente inflamable. Se volatiliza muy rápido en el aire y se disuelve poco en agua por sus características no polares, aunque es muy soluble en la mayoría de solventes orgánicos. Es uno de los mejores disolventes para gomas, ceras, resinas, etc. (Olivas, 2012).

La exposición de larga duración al Benceno genera ciertas alteraciones en la sangre. Las personas que están expuestas al benceno durante períodos extensos pueden presentar daños



de los tejidos que originan las células de la sangre, principalmente la médula de los huesos. Este compuesto también puede provocar daño al sistema inmunológico, incrementando las posibilidades de contraer infecciones (S. Pérez, 2020).

- **Acetona**

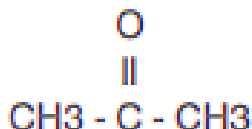


Figura 18. Estructura química de la acetona.
Fuente:(Martínez & Santos, 2018)

Es un líquido incoloro con un olor dulce similar al de las frutas y un sabor característico. Se evapora fácilmente, es inflamable y muy soluble tanto en agua como en solventes orgánicos tales como el éter, metanol, y etanol. Es utilizado como solvente de resinas, esteroides, ceras grasas y aceites (Martínez & Santos, 2018).

La Acetona usada como solvente provoca irritación en las membranas mucosas, la exposición prolongada a sus vapores puede causar irritación en los ojos y al sistema respiratorio. La Acetona tiene propiedades anestésicas y en concentraciones muy elevadas, puede provocar inconciencia (Martínez & Santos, 2018).

- **Diclorometano**

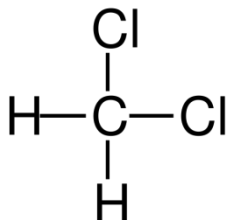


Figura 19. Estructura química del diclorometano.
Fuente: (Insst, 2018)

El diclorometano es un líquido claro, no inflamable, altamente volátil, con olor penetrante similar al éter. Se absorbe con facilidad por inhalación y también de forma considerable



por la piel. Es utilizado como solvente, dentro del material soluble en diclorometano se encuentran compuestos apolares como aceites y grasas, además pueden solubilizar ligeramente clorofilas (Herrero, 2012).

Altos niveles de exposición a diclorometano pueden dar lugar a pérdida de la conciencia y, en algunos casos, a la muerte. Otros efectos incluyen irritación de los ojos y del tracto respiratorio, edema pulmonar y efectos agudos sobre corazón, hígado y riñones. Además, existe una "evidencia limitada" en humanos sobre la carcinogenicidad de este solvente (Insst, 2018).

- **Éter etílico**

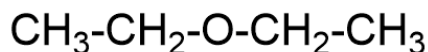


Figura 20. Estructura química del éter etílico.

Fuente: (Eter etílico | Unidad de Informática del Instituto de Química., 2016)

El éter etílico es un líquido incoloro y transparente con un olor característico. Es altamente inflamable. Es menos denso que el agua e insoluble en ella. Es utilizado como solvente de resinas, perfumes, grasas, gomas, ceras, gomas, y colorantes, principalmente (Pissa, 2002).

Este compuesto es moderadamente tóxico, la inhalación de grandes concentraciones de vapor puede provocar síntomas como cefalea, mareos, cansancio, náuseas y vómitos, síntomas de narcosis, dolor de cabeza y pérdida de la conciencia. Una exposición elevada lleva a anorexia, fatiga, adormecimiento y disturbios mentales (TermoFisher, 2009).

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada en este proyecto de investigación está constituida por distintas etapas, entre ellas se encuentran el muestreo, pretratamiento, eliminación de extractivos y caracterización de la biomasa las cuales se detallan a continuación.

Cada uno de los análisis se llevó a cabo por triplicado en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca empleando las normas TAPPI y ASTM, con ciertas modificaciones en el procedimiento acoplándose a los materiales, reactivos y disponibilidad de los laboratorios.

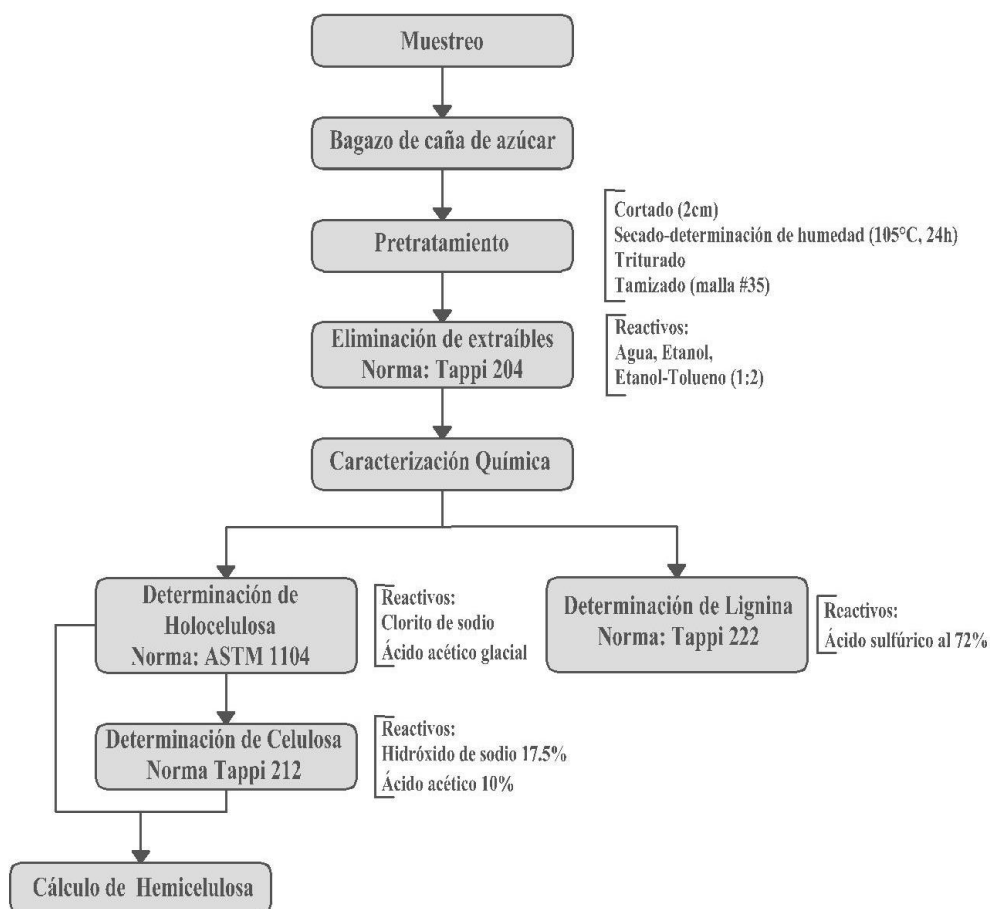


Figura 21. Diagrama de la metodología empleada.
Fuente: Autor.



2.1. Muestreo de biomasa

Para el muestreo de la biomasa se tomó como población de estudio la fábrica Los Faiques, encargada de la elaboración de agua ardiente a partir de la caña de azúcar. La misma se encuentra ubicada en la vía Girón Pasaje, en el cantón Santa Isabel de la provincia del Azuay.

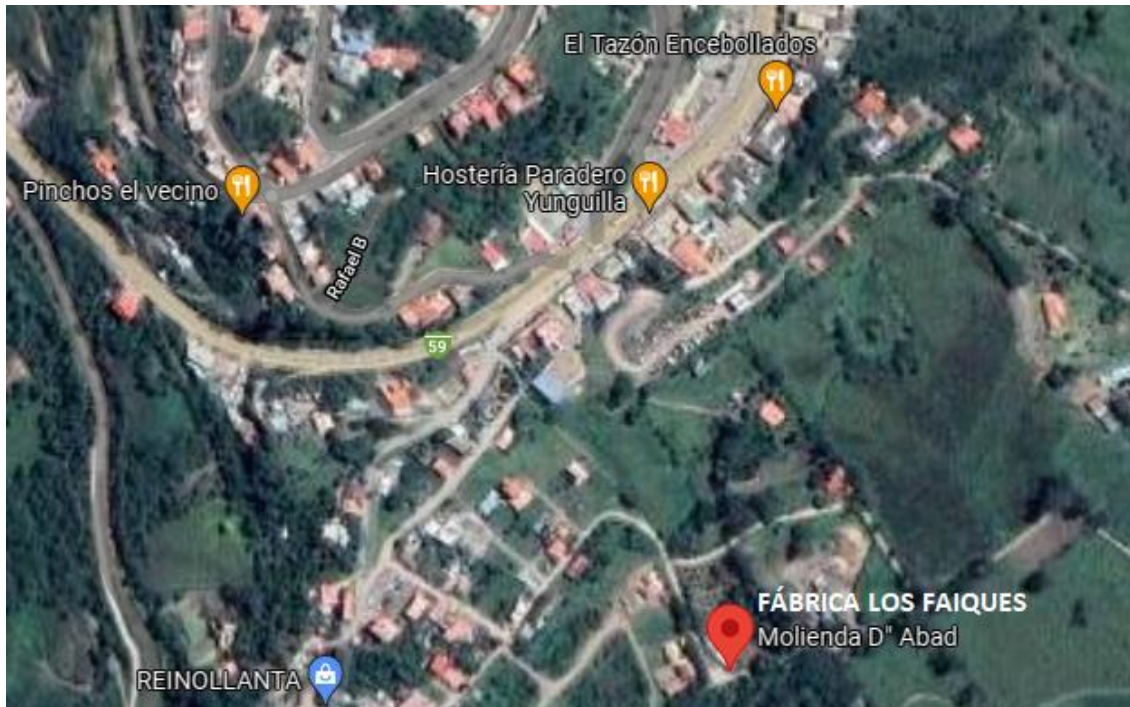


Figura 22. Ubicación de la Fábrica los Faiques.
Fuente: (Google Maps, 2021)

Las muestras de bagazo de caña de azúcar se recolectaron en un trapiche, después de la extracción del jugo de la caña empleando el muestreo aleatorio simple, el cual consiste en que todos los elementos que forman la población y que por lo tanto están descritos en el marco muestral, tienen idéntica probabilidad de ser seleccionados para la muestra.

En cuanto al tamaño de la muestra se recolectó 3 Kg de biomasa tomando en consideración las cantidades necesarias para llevar a cabo cada uno de los análisis con su respectivo triplicado. El bagazo recolectado se colocó en fundas correctamente etiquetadas para realizar posteriormente el pretratamiento de esta biomasa.



(a)

(b)

(c)

Figura 23. Muestreo de biomasa: (a) Extracción del jugo de la caña. (b) Recolección del bagazo de caña de azúcar. (c) Muestras recolectadas y etiquetadas.

Fuente: Autor.

2.2. Pretratamiento de la biomasa

Con esta etapa se busca reducir el tamaño de la biomasa y eliminar su humedad con la finalidad de obtener una muestra homogénea. La misma se llevó a cabo con los equipos y el espacio del Laboratorio de Ingeniería de Reactores, Catálisis y Tecnologías del Medio Ambiente.

Procedimiento:

1. Con la ayuda de un cuchillo se cortó las muestras de bagazo de caña de azúcar en 2 cm aproximadamente, verificando que no exista material podrido.
2. Una vez cortadas las muestras de bagazo se colocaron en bandejas de aluminio y se llevaron a la estufa marca BIOBASE a una temperatura de 105 ± 3 °C durante 24 h.
3. Las muestras secas se trituraron en una licuadora para mejorar la extracción de los constituyentes que son parte de la estructura del bagazo con la finalidad de aumentar la superficie de contacto mejorando los tratamientos posteriores.

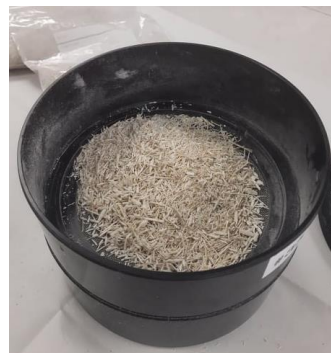
4. Finalmente, las muestras se pasaron a través del tamiz malla #35 para obtener una muestra homogénea.



(a)



(b)



(c)

Figura 24. Pretratamiento de la biomasa: (a) Corte del bagazo. (b) Secado del bagazo en la estufa. (c) Tamizado del bagazo de caña de azúcar.

Fuente: Autor.

2.2.1. Determinación de humedad

Para llevar a cabo esta determinación se empleó el procedimiento descrito en la norma NREL/TP-510-42621, con la finalidad de obtener una muestra libre de humedad que se encuentre en las mismas condiciones para su fácil manipulación.

Procedimiento:

1. Se lavaron tres cápsulas de porcelana y se secaron en la estufa marca BIOBASE por 30 min a 105°C.
2. Transcurrido este tiempo se colocaron las cápsulas en el desecador por 30 min.
3. Posteriormente se pesaron las cápsulas en la balanza analítica marca BOECO y seguido de esto se pesó 10 g de la muestra.
4. Se llevó las capsulas a la estufa y se dejaron durante 24 horas a 105°C.
5. Una vez transcurrido este tiempo, se sacaron las cápsulas y se llevaron al desecador durante 30 min para que se enfríen.
6. Finalmente se pesaron las muestras (National Renewable Energy Laboratory, 2008).



Figura 25. Proceso para la determinación de Humedad: (a) Pesaje de la biomasa. (b) Colocación de las muestras en la estufa. (c) Toma del peso de la muestra seca para determinar el porcentaje de humedad.
Fuente: Autor.

Para la determinación de humedad se empleó la ecuación 1:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{PM_o - PM_s}{PM_o} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

PM_o : Peso de la muestra inicial

PM_s : Peso de la muestra seca

2.3. Eliminación de extractivos

Esta etapa se llevó a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias empleando una extracción sólido – líquido a través del equipo Soxhlet, en este estudio se utilizaron tres tipos de solventes, los cuales son: agua, etanol al 95 % y mezcla etanol-tolueno 1:2, estos reactivos fueron seleccionados tomando en cuenta su toxicidad, manipulación y disponibilidad. Los análisis con dichos solventes se realizaron por triplicado basándose en



el método descrito en la norma TAPPI 204 cm 97: “Solvent extractives of wood and pulp”, considerando algunas variaciones en su procedimiento. La importancia de esta etapa se basa en eliminar los extractivos que provocan interferencias en los métodos de caracterización química (Palacios, 2016)

Procedimiento:

1. Se pesó 6 g de muestra en un papel filtro para formar un cartucho y se colocó dicho cartucho en el tubo Soxhlet.
2. Se midieron 150 ml del solvente con ayuda de una probeta y se trasvasó dicha cantidad al matraz del equipo de extracción. En el caso de la mezcla etanol-tolueno 1:2, se preparó la misma tomando 50 ml de etanol y 100 ml de tolueno.
3. Se conectó el tubo en posición vertical al matraz y al condensador para iniciar con el flujo de agua.
4. Se inició con la extracción ajustando el calentador para mantener el líquido en ebullición durante 5 horas.
5. Paralelamente se lavó, secó y pesó una cápsula de porcelana.
6. Una vez transcurrido el tiempo de extracción se lavó la muestra con agua destilada caliente.
7. Se colocó la muestra en la cápsula y se trasladó a la estufa marca BIOBASE a una temperatura de 105°C, posteriormente se dejó enfriar en un desecador y se pesó en la balanza analítica marca METTLER TOLEDO hasta conseguir peso constante (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2007).



Figura 26. Proceso para la eliminación de extractivos: (a) Peso de la muestra inicial. (b) Extracción en el equipo Soxhlet. (c) Lavado del cartucho. (d) Muestra libre de extractivos.

Fuente: Autor

Para la determinación del porcentaje de extractivos se utilizó la ecuación 2:

$$\% \text{ Extractivos} = \frac{(PM_o - PM_f)}{PM_o} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

PM_o : Peso de la muestra antes de la extracción y secado

PM_f : Peso de la muestra después de la extracción y secado.

2.4. Caracterización química

La determinación de los componentes químicos de la biomasa se llevó a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, empleando un análisis gravimétrico por diferencia de peso basándose en los métodos descritos en las normas TAPPI 222 om-02 y TAPPI 212 om-02 para lignina y celulosa respectivamente; en cuanto al análisis del contenido de hemicelulosa, este se realizó a través de la determinación de holocelulosa, la cual permite



determinar de manera indirecta el contenido de hemicelulosa por diferencia con la celulosa, para dicha determinación se empleó el método descrito en la norma ASTM 1104-56.

2.4.1. Determinación de lignina insoluble en ácido

La lignina es resistente a la hidrólisis ácida a diferencia de los otros componentes de la biomasa, por este motivo puede establecerse gravimétricamente después de hidrolizar la celulosa y hemicelulosa con ácido sulfúrico. Por lo tanto, su determinación se lleva a cabo empleando un ataque ácido y cuantificando el residuo que queda una vez finalizada la hidrólisis.

Procedimiento:

1. Se pesó 1 g de muestra libre de extraíbles en un vaso de precipitación de 100 ml.
2. Se preparó una solución de ácido sulfúrico al 72 % a partir del reactivo concentrado.
3. Se tomó 15 ml de la solución preparada y se agregaron gradualmente en pequeñas cantidades a la muestra pesada, homogenizando y manteniendo el vaso en un baño a 2 °C para la dispersión del material.
4. Posteriormente se tapó el vaso de precipitación con una luna de reloj y se mantuvo el mismo en un baño a una temperatura de 20 °C por 2 horas homogenizando la muestra cada 10 min.
5. Una vez transcurridas las 2 horas se vertió la muestra en un vaso de precipitación de 600 ml y se añadió 350 ml de agua destilada con la finalidad de obtener una concentración de ácido sulfúrico al 3 %.
6. Luego se hizo hervir durante 4 horas, mantenido un volumen constante, adicionando con frecuencia agua destilada caliente.
7. Al transcurrir el tiempo indicado se dejó reposar durante una hora para que precipite la lignina insoluble, colocando el vaso en una posición inclinada.
8. Después se filtró a través de un embudo con papel filtro.
9. Una vez terminada la filtración se realizaron varios lavados con agua destilada caliente.

10. Se lavó, secó y peso una cápsula de porcelana.
11. Se colocó el papel filtro que contenía la lignina en la cápsula y se llevó a la estufa marca BIOBASE a una temperatura de 105 °C, posteriormente se dejó enfriar en un desecador y se pesó en la balanza analítica marca METTLER TOLEDO hasta alcanzar peso constante (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2006).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 27. Proceso para la determinación de lignina insoluble en ácido: (a) Toma del peso de la muestra inicial. (b) Homogenización de la muestra y la solución de H₂SO₄ al 72%. (c) Traspase de la muestra. (d) Calentamiento de la muestra. (e) Filtración. (f) Muestras secas de lignina insoluble en ácido.

Fuente: Autor.

Para la determinación del porcentaje de lignina se empleó la ecuación 3:

$$\% \text{ Lignina} = \frac{PM_f}{PM_o} * 100$$

Ecuación 3



Donde:

PM_0 : Peso de la muestra antes de la hidrólisis ácida y secado.

PM_f : Peso de la muestra después de la hidrólisis ácida y secado.

2.4.2. Determinación de holocelulosa

Este componente es la suma de celulosa y hemicelulosa presentes en la biomasa. A través de esta determinación se pretende aislar la holocelulosa y determinar su porcentaje, para ello el método descrito en la norma ASTM 1104-56 permite oxidar la lignina mediante la acción del ácido cloroso que se forma a partir de la reacción del clorito de sodio con el ácido acético provocando la conversión de la lignina en productos solubles en agua para eliminarla posteriormente mediante una filtración (Palacios, 2016).

La importancia de la determinación de este constituyente radica en que a partir de esta se logra determinar la celulosa y a su vez mediante la diferencia de estos dos componentes se obtiene el porcentaje de hemicelulosa.

Procedimiento:

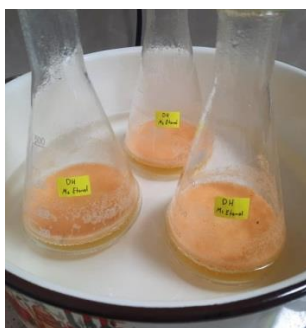
1. Se pesó 2 g de muestra libre de extraíbles en una luna de reloj.
2. Se vertió la muestra en un Erlenmeyer de 500 ml y se añadió 160 ml de agua destilada, 1g de clorito de sodio y 0,2 ml de ácido acético glacial mientras el Erlenmeyer se encontraba en un baño de agua entre 70 – 80 °C.
3. Se dejó en el baño por una hora, controlando que la temperatura del agua se encuentre en el rango señalado.
4. Una vez transcurrido dicho tiempo se añadió nuevamente 1g de clorito de sodio y 0,2 ml de ácido acético glacial mantenido el baño a la temperatura indicada y se dejó reposar por una hora más.
5. Se realizó una vez más el cuarto paso hasta que la muestra se tornó blanca y se dejó reposar durante otra hora.

6. Posteriormente se enfrió hasta conseguir que la muestra se encuentre a 10 °C, sumergiendo el Erlenmeyer en hielo.
7. Luego se filtró a través de un embudo con papel filtro y se realizaron lavados con 500 ml de agua destilada fría.
8. Paralelamente se lavó, secó y pesó una cápsula de porcelana.
9. Finalmente se trasladó el papel filtro a la cápsula y se llevó a la estufa marca BIOBASE a temperatura de 105 °C, posteriormente se dejó enfriar en un desecador y se pesó en la balanza analítica marca METTLER TOLEDO hasta alcanzar peso constante.

NOTA: Se almacenó las muestras obtenidas para la determinación de celulosa.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 28. Proceso para la determinación de holocelulosa: (a) Toma del peso de la muestra inicial. (b) Muestras mezcladas con clorito de sodio y ácido acético glacial. (c) Muestras en reposo luego de tornarse blancas. (d) Enfriamiento. (e) Filtración. (f) Colocación de las muestras de holocelulosa en la estufa. Fuente: Autor.



Para la determinación del porcentaje de holocelulosa se empleó la ecuación 4:

$$\% \text{ Holocelulosa} = \frac{PM_f}{PM_o} * 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

PM_o : Peso de la muestra antes del tratamiento y secado.

PM_f : Peso de la muestra después del tratamiento y secado.

2.4.3. Determinación de α -celulosa

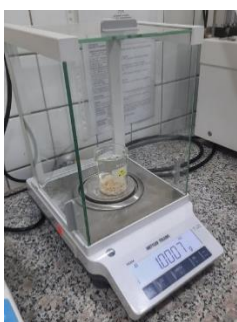
La α -celulosa se utiliza para definir el contenido de celulosa verdadera de la biomasa, para su determinación se emplea una solución de hidróxido de sodio al 17.5 % debido a que es insoluble en este reactivo a diferencia de la hemicelulosa.

Procedimiento:

1. Se pesó 1 g de muestra tratada por la determinación de holocelulosa en un vaso de precipitación de 100 ml.
2. Se preparó una solución de hidróxido de sodio al 17.5 % y una solución de ácido acético al 10 %.
3. Se sumergió el vaso de precipitación con la muestra en un baño de agua a 25 °C y se añadió 10 ml de la solución de NaOH previamente preparada. Se agitó y se dejó reposar por 5 min.
4. Luego se añadieron 5 ml más de la solución de NaOH al 17.5m %, se agitó y se dejó reposar por 30 min.
5. Trascurrido ese tiempo, se añadió 30 ml de agua destilada, se agitó y se dejó reposar durante 1 hora.
6. Posteriormente se filtró utilizando un embudo con papel filtro y se realizaron lavados con una disolución de agua destilada e hidróxido de sodio, empleando 30 ml de agua y 25 ml de NaOH al 17.5 %.



7. Después de lavó con 30 ml de agua destilada.
8. Se agregaron 5 ml de ácido acético al 10 % gradualmente en pequeñas cantidades.
9. Se realizó un lavado final con 50 ml de agua destilada.
10. Paralelamente se lavó, secó y pesó una cápsula de porcelana.
11. Finalmente se trasladó el papel filtro a la cápsula y se llevó a la estufa marca BIOBASE para secarla a una temperatura de 65 °C, se enfrió en un desecador y se pesó en la balanza analítica marca METTLER TOLEDO hasta alcanzar peso constante (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2002).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 29. Proceso para la determinación de α -celulosa: (a) Toma del peso de la muestra inicial. (b) Muestra mezclada con la solución de NaOH al 17.5%. (c) Filtración de las muestras. (d) Muestra de α -celulosa obtenida.

Fuente: Autor.

Para la determinación del porcentaje de celulosa se utilizó la ecuación 5:

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{PM_f}{PM_o} * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

PM_o : Peso de la muestra antes del tratamiento y secado.

PM_f : Peso de la muestra después del tratamiento y secado.



2.4.4. Determinación de hemicelulosa

La hemicelulosa es más fácil de solubilizar e hidrolizar que la celulosa, su porcentaje se obtiene mediante la diferencia existente entre holocelulosa y celulosa como se observa en la ecuación 6:

$$\% \text{Hemicelulosa} = \% \text{Holocelulosa} - \% \text{Celulosa} \quad \text{Ecuación 6}$$



CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados obtenidos en cuanto a la humedad, eliminación de extractivos y caracterización química realizada en las muestras de bagazo de caña de azúcar obtenida de la fábrica los Faiques se presentan a continuación.

Los procesos y condiciones en las que se trabajó se establecieron según las normas TAPPI 204, TAPPI 222, TAPPI 212 Y ASTM 1104 para la determinación de extraíbles, lignina, celulosa y holocelulosa respectivamente, con ciertas modificaciones acoplándose a los materiales, reactivos y disponibilidad de los laboratorios de la Universidad de Cuenca.

Con estos resultados se logra conocer el solvente que elimina la mayor cantidad de extractivos, y se establece su relación con el porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina determinados experimentalmente, dichos resultados pueden emplearse a futuro en el proyecto de investigación “Optimización de la reacción de hidrólisis ácida con líquidos iónicos para la obtención de monosacáridos de la biomasa generada por los principales cultivos del Ecuador”.

3.1. Contenido de humedad

Los resultados obtenidos con respecto a la humedad de las muestras de bagazo de caña de azúcar tomadas inmediatamente del proceso de molienda de la caña se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la determinación de humedad.

Muestras	%Humedad	% Humedad media
Muestra 1	56.03	
Muestra 2	55.52	55.86 (0.29)
Muestra 3	56.02	



Esta determinación realizada por triplicado reveló que el bagazo de caña contiene un porcentaje de humedad promedio del 55.86 % con una desviación estándar de 0.29, lo que implica un bajo contenido de muestra seca.

El contenido de humedad porcentual del bagazo obtenido con el método de la estufa según (Rueda et al., 2016), se encuentra en un rango de 42.14 % y 61.32 %, por lo que los datos obtenidos en este proyecto de investigación se encuentran dentro de estos valores, sin embargo, la humedad del bagazo puede variar según el tipo y edad de la caña de azúcar, las condiciones climatológicas durante su cultivo, tiempo de almacenamiento y sobre todo con la velocidad y la eficiencia de la molienda.

3.2. Análisis de eliminación de extractivos

La cantidad de extractivos que se eliminó en el bagazo de caña de azúcar previo a la caracterización química se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de la eliminación de extractivos en base al solvente utilizado.

Solventes	% Extractivos media	Desviación estándar (DE)	ANOVA
Agua	30.19	0.24	p=0.0005
Etanol	29.20	0.39	
Etanol - Tolueno	31.61	0.42	

Los resultados mostraron que, con la utilización del solvente etanol-tolueno en una proporción 1:2 se eliminó la mayor cantidad de extraíbles con un porcentaje promedio del 31.61 % con DE de 0.42, seguido de este se encuentra el agua con un porcentaje promedio del 30.19 % con DE de 0.24, por último, el solvente que eliminó en menor cantidad los extraíbles fue el etanol con un porcentaje promedio del 29.20 % con DE de 0.39. Al realizar un análisis ANOVA el valor de p obtenido fue de 0.0005 el cual es menor a 0.05 lo que significa que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el porcentaje medio de extraíbles eliminados por cada tipo de solvente utilizado.



En base a los resultados obtenidos se ha observado que, al combinar dos solventes de polaridad diferente como es el caso de la mezcla etanol-tolueno provoca que en la extracción cada uno solubilice a su similar, obteniendo una extracción de compuestos como ceras, grasas, resinas, aceites, colorantes orgánicos (clorofilas), taninos, gomas, e inclusive materiales solubles en agua como azúcares y almidones (Adell, 2007) , produciendo una extracción más completa de estos componentes presentes en el bagazo de caña; por esta razón el porcentaje de extraíbles eliminados fue mayor a diferencia de los otros dos solventes que eliminaron en su mayoría compuestos polares.

Según lo reportado por (Echeverría, 2021), el contenido de extraíbles eliminados utilizando etanol como solvente es de 18.57 %, por otra parte según (Moncada & Gutiérrez, 2016) al emplear etanol y agua como solventes lograron una extracción del 23.32 %, estos valores son menores a los obtenidos en las tres experimentaciones realizadas en esta investigación, esto podría deberse a que la extracción del jugo de caña en los trapiches de la fábrica los Faiques es poco eficaz, provocando que en el bagazo de caña quede un contenido alto de azúcares incluso después del secado, por lo que al entrar en contacto con los solventes en el proceso de extracción estos se solubilizaron, haciendo que el porcentaje de extractivos aumente.

3.3. Análisis y resultados de la caracterización química

3.3.1. Contenido de lignina insoluble en ácido

Para esta determinación se tomó las muestras de biomasa libres de extraíbles en base seca, los resultados de este análisis se presentan en la tabla 5.

**Tabla 5.** Resultados de la determinación de lignina insoluble en ácido con respecto al solvente empleado.

Solventes	% Lignina media	Desviación estándar (DE)	ANOVA
Agua	17.34	0.30	p=0.00001
Etanol	14.66	0.29	
Etanol - Tolueno	13.60	0.18	

En esta investigación se realizó la determinación de lignina insoluble en ácido debido a que esta representa la mayor cantidad de lignina total que contiene los materiales lignocelulósicos.

Los resultados obtenidos en esta determinación indican que, la muestra tratada con agua presentó un valor mayor de lignina de 17.34 % con DE de 0.30, seguido de la muestra tratada con etanol con un valor del 14.66 % con DE de 0.29 y finalmente con un 13.60 % con un DE 0.18 correspondiente a la mezcla etanol-tolueno. Al realizar un análisis ANOVA el valor de p obtenido fue de 0.00001 el cual es menor a 0.05 lo que significa que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el porcentaje medio de lignina por cada tipo de solvente utilizado.

Al relacionar estos resultados con los obtenidos en la etapa anterior se pudo verificar que, al no realizar una eliminación completa de extraíbles, estos influyen en la determinación de lignina como se puede demostrar con los diferentes porcentajes obtenidos correspondientes al tratamiento con los tres tipos de solventes, evidenciando que existen interferencias provocadas por los extraíbles que no se lograron eliminar previamente con agua y etanol.

Según (Echeverría, 2021) empleando el método descrito en la norma Tappi 222 el porcentaje de lignina insoluble en ácido es de 14.78 % para el bagazo de caña de azúcar, al comparar este valor con los obtenidos en esta investigación, se observa que las muestras tratadas con etanol y etanol-tolueno se acercan a este porcentaje. Además, cabe recalcar que con el uso de la mezcla etanol-tolueno como solvente se obtiene un contenido de lignina insoluble más preciso debido a las interferencias eliminadas en la etapa previa.



3.3.2. Contenido de holocelulosa

En esta determinación se utilizó las muestras de biomasa libre de extraíbles en base seca y con estos resultados de holocelulosa (tabla 6) se logra obtener el porcentaje correspondiente a la celulosa y hemicelulosa juntas.

Tabla 6. Resultados de la determinación de holocelulosa con respecto al solvente empleado.

Solventes	% Holocelulosa media	Desviación estándar (DE)	ANOVA
Agua	72.42	0.52	p=0.00089
Etanol	74.79	0.43	
Etanol - Tolueno	74.71	0.36	

El porcentaje de holocelulosa obtenido en las muestras tratadas con los solventes etanol y la mezcla etanol-tolueno difieren en un 0.08 % entre si ya que se obtuvo un porcentaje promedio de 74.79 % con DE de 0.43 y 74.71 % con DE de 0.36 respectivamente a diferencia de la muestra tratada con agua cuyo valor es de 72.42 % con DE de 0.52. Al realizar un análisis ANOVA el valor de p obtenido fue de 0.00089 el cual es menor a 0.05 lo que significa que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el porcentaje medio de holocelulosa por cada tipo de solvente utilizado.

Estos resultados concuerdan con los porcentajes de holocelulosa obtenidos con el mismo procedimiento en el bagazo de caña de azúcar, establecidos por (Prado et al., 2012) cuyo rango es de 59 – 76 %. La importancia de esta determinación radica en que a partir de la misma se podrá calcular el contenido de hemicelulosa.

3.3.3. Contenido de α -celulosa

Para esta determinación se partió de las muestras obtenidas del análisis de holocelulosa; los resultados de esta determinación se muestran a continuación:

**Tabla 7.** Resultados de la determinación de α -celulosa con respecto al solvente empleado.

Solventes	% Celulosa media	Desviación estandar (DE)	ANOVA
Agua	41.40	0.18	p=0.00001
Etanol	40.95	0.30	
Etanol - Tolueno	38.67	0.16	

Con los resultados obtenidos en la determinación de α -celulosa se tiene que, la muestra tratada con agua presentó el mayor porcentaje, seguida de la muestra tratada con etanol y por último con menor porcentaje la muestra tratada con la mezcla etanol-tolueno, con valores promedios del 41.4 % con DE de 0.18, 40.95 % con DE de 0.30 y 38.67 % con DE de 0.16 respectivamente. Al realizar un análisis ANOVA el valor de p obtenido fue de 0.00001 el cual es menor a 0.05 lo que significa que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el porcentaje medio de α -celulosa por cada tipo de solvente utilizado.

Al igual que en la lignina, existe cierta influencia de los extraíbles no eliminados al realizar la determinación de celulosa, ya que tanto las muestras tratadas con agua y etanol cuyo porcentaje de extraíbles eliminados fueron menores a la muestra tratada con etanol-tolueno, alcanzaron valores mayores de celulosa. Según lo reportado por (Kunusa et al., 2020) el contenido de celulosa es de aproximadamente 37.5 %, este valor se aproxima al porcentaje obtenido en la muestra tratada con la mezcla etanol-tolueno con una diferencia menor al 2 % cuya variación puede darse debido al método Chesson empleado por dicho autor para esta determinación.

El porcentaje de celulosa que presenta esta biomasa puede ser utilizado para fines industriales como fuente de azúcares, especialmente en forma de glucosa y al presentar una cantidad considerable se podría tomar en cuenta para un uso posterior destacando su aprovechamiento en biocombustibles.



3.3.4. Contenido de hemicelulosa

A través de los resultados obtenidos en la determinación de holocelulosa se obtuvo de manera indirecta el contenido de hemicelulosa por diferencia con la celulosa, dichos valores se exhiben en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados obtenidos de hemicelulosa a partir de la determinación de holocelulosa y celulosa.

Solventes	% Hemicelulosa media	Desviación estándar (DE)	ANOVA
Agua	31.02	0.68	p=0.00012
Etanol	33.84	0.54	
Etanol - Tolueno	36.03	0.52	

Los resultados obtenidos de este biopolímero varían considerablemente dependiendo del solvente utilizado en el tratamiento de la muestra, es así que, con la mezcla etanol-tolueno 1:2 el valor es de 36.03 % con DE de 0.52, con etanol es del 33.84 % con un DE de 0.54 y por último con el menor porcentaje está el agua con 31.02 % con DE de 0.68. Al realizar un análisis ANOVA el valor de p obtenido fue de 0.00012 el cual es menor a 0.05 lo que significa que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el porcentaje medio de hemicelulosa por cada tipo de solvente utilizado.

Al relacionar estos resultados con los obtenidos en la etapa de eliminación de extractivos se pudo verificar que existe una cierta influencia entre ellos al emplear los distintos solventes. Por otro lado, el contenido de hemicelulosa presente en el bagazo de caña de azúcar según (Pippo et al., 2011) es de 27 % y al comparar dicho porcentaje con los obtenidos para esta determinación se puede observar que existe una diferencia considerable, lo cual puede producirse debido a que la cantidad de este constituyente lignocelulósico depende de la variedad de caña de azúcar, de su edad, condiciones climáticas, condiciones de crecimiento, entre otros factores.

3.4. Evaluación general del solvente

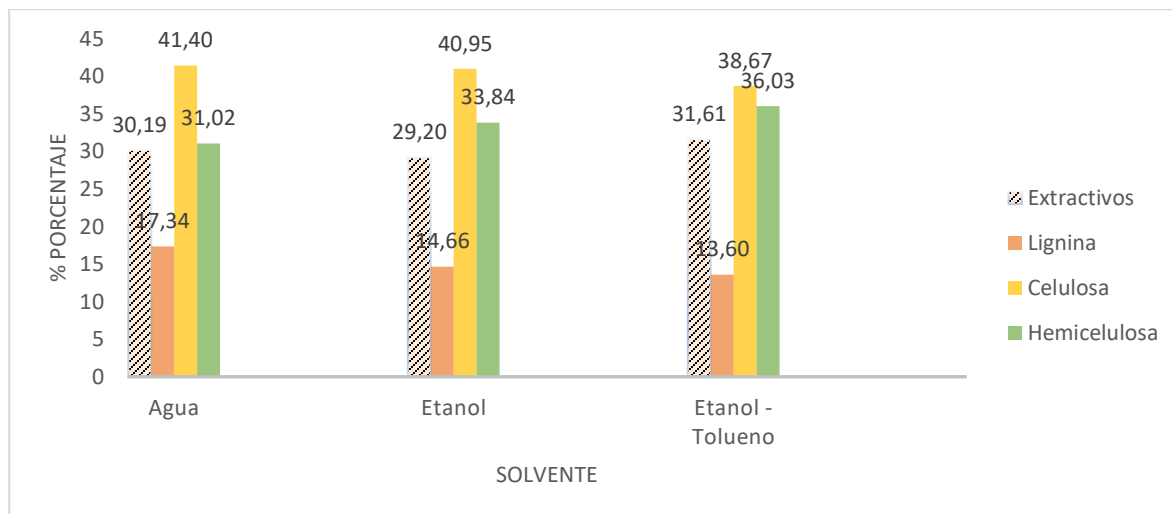


Gráfico 1. Gráfico de barras de los resultados finales. Fuente: Autor

Los resultados obtenidos en la presente investigación se muestran en el gráfico 2 en donde se puede identificar que la relación entre la cantidad de extractivos eliminados y la caracterización química no es directamente proporcional. Sin embargo, se ha podido verificar que existe una dependencia entre estas dos etapas, ya que al emplear como solvente etanol-tolueno se obtuvo mayor cantidad de extraíbles eliminados con lo cual se evita que existan interferencias durante la caracterización y es por ello que los porcentajes obtenidos de lignina y celulosa son más exactos que los alcanzados en las muestras tratadas con los otros dos solventes.



CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Este proyecto de investigación ha permitido evaluar la efectividad de tres tipos de solventes utilizados en la eliminación de extractivos, también se ha logrado establecer una relación entre la cantidad de extraíbles eliminados y la caracterización química del bagazo de caña de azúcar, para ello se partió empleando una técnica adecuada de muestreo de biomasa, la cual nos ha permitido reflejar las características de la población en estudio, a más de poder seleccionar una muestra representativa para lograr posteriormente la obtención de datos confiables al realizar los distintos análisis.

En referencia al pretratamiento físico de biomasa, se logró obtener una muestra homogénea reduciendo el tamaño de la materia prima y eliminando la humedad de la misma. La preparación de la biomasa ha podido llevarse a cabo empleando etapas como: cortado, secado, triturado y tamizado. Por otra parte, durante la determinación de humedad se ha podido conocer el contenido de agua que tiene la biomasa y en su defecto el residuo en base seca para la realización de las determinaciones posteriores, donde los resultados obtenidos muestran que el bagazo de caña de azúcar analizado está constituido en una mayor proporción por agua.

Al efectuar la eliminación de extractivos se ha verificado que, empleando como solvente la mezcla etanol-tolueno en relación 1:2 se eliminó la mayor cantidad de extraíbles, sin embargo, la variación que existe entre las muestras de bagazo tratadas con los distintos solventes no es significativa. Además, este paso ha sido indispensable ya que al llevarlo a cabo se evita cualquier interferencia posterior en los métodos empleados para la caracterización química.

En la determinación de los componentes químicos de la biomasa se logró obtener resultados cercanos entre los triplicados considerando un error aceptable entre ellos del 2



%, en dichas determinaciones se ha podido corroborar que la celulosa es el componente que se encuentra en mayor proporción en el bagazo de caña de azúcar, además se pudo identificar que al emplear la mezcla etanol-tolueno en la etapa previa se logró obtener una cantidad más precisa de este constituyente lignocelulósico debido a las interferencias eliminadas, de igual modo con respecto a la cantidad de hemicelulosa y lignina, los porcentajes obtenidos de dichos componentes han variado en base al solvente utilizado.

Finalmente, al analizar la relación entre la eliminación de extractivos y la caracterización química se ha identificado que existe una dependencia entre estas dos etapas ya que al emplear diferentes solventes los porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina varían de acuerdo a la cantidad de interferencias eliminadas en la etapa previa. En base a esta relación se ha verificado que el solvente ideal para este tipo de biomasa es la mezcla etanol-tolueno, ya que con este se logró eliminar mayor cantidad de extraíbles obteniendo así un porcentaje más confiable del constituyente lignocelulósico de mayor interés (celulosa) para el proyecto “Optimización de la reacción de hidrólisis ácida con líquidos iónicos para la obtención de monosacáridos de la biomasa generada por los principales cultivos del Ecuador”, sin embargo, el tolueno que se encuentra presente en esta mezcla es un reactivo de difícil manipulación y de toxicidad moderada que en contacto con la piel puede provocar irritación, resequedad y dermatitis, además el abuso del mismo provoca daños al hígado, pulmones y disfunción cerebral. Por otra parte, es un solvente controlado por lo que es de difícil adquisición, por esta razón emplear la mezcla etanol-tolueno para la eliminación de extractivos del bagazo de caña de azúcar puede resultar complejo, por lo tanto, se podría considerar el método de empleo de los solventes etanol y agua descrito en la norma NREL/TP – 510 – 42619.



4.2. Recomendaciones

Una vez realizado el muestreo de la biomasa se recomienda llevar a cabo el pretratamiento para evitar que la muestra se degrade y comience la fermentación de azúcares, ya que esto puede influir en las determinaciones posteriores.

En cuanto a las determinaciones de lignina, holocelulosa y celulosa se sugiere realizar los lavados una vez finalizada la etapa de filtración, para eliminar cualquier residuo de los reactivos en la muestra.

Al realizar las extracciones se recomienda que en cada triplicado se den las mismas recirculaciones del solvente para obtener resultados similares, para ello se debe tener un control de temperatura constante.

Es importante para el cuidado de la salud utilizar campana de extracción y mascarilla con filtros para solventes orgánicos durante la eliminación de extractivos al emplear la mezcla etanol-tolueno, de la misma forma se debe trabajar bajo campana en la determinación de holocelulosa debido a la generación de dióxido de cloro al reaccionar el clorito de sodio y el ácido acético.

Para determinar el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina en el bagazo de caña de azúcar se podría emplear otra tecnología complementaria como es el caso de la termogravimetría



BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A., & Navarro, E. (2012). Etanol a partir de biomasa lignocelulósica. *Aletas Ediciones*, 17-18.
- Acosta, E., Batista, J., Giuliatti, M., Frade, J., Nápoles, A., & Manganelly, E. (2005). *Producción de xilitol en fermentador de 15 litros*. XXXIX(3), 45-51.
- Adell, A. (2007). *Fundamentos de la producción de pastas celulósicas*.
- Aguilar, N. (2011). *Ficha Técnica del cultivo de Caña de Azúcar*. 20.
- Aguilar Rivera, N. (2016). Pulpa de bagazo de caña con alto índice de fibra larga. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 39(2), 047-055.
- Álvarez, A. (2016). Caracterización fisicoquímica de varios residuos agroindustriales y sus mezclas para la producción de biocombustibles. *Universidad Santo Tomas*, 85.
- Arbeláez, J. I. M., Janna, F. C., Gutiérrez, C. A. G., Rentería, C. F. V., Velasco, J. O., Blanco, L. A., Marrugo, G., Aguirre, E. Y. O., Monroy, E. F. C., Reyes, J. R. A., Chaparro, J. A. S., Fuentes, L. L. G., Tirado, D. F., & Safra, N. M. (2013). *Pirólisis rápida de biomasa*. Universidad Nacional de Colombia.
- Barba, C. (2002). Síntesis de carboximetilcelulosa (CMC) a partir de pastas de plantas anuales [Ph.D. Thesis]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI.
- Barroso, M. (2010). *Pretratamiento de biomasa celulósicas para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Blasco, M. (1970). *Microbiología de Suelos*. Bib. Orton IICA / CATIE.



- Boarini, J. (2006). *“Utilización del bagazo de caña de azúcar para la elaboración de briquetas de combustible sólido para usos domésticos en la Ciudad de Guatemala”*. Universidad Rafael Landívar.
- Bragas, A., Broggi, G., & Cabrera, S. (2019). *Obtención de p-xileno a partir de la desproporción selectiva de tolueno*. Universidad Tecnológica Nacional.
- Burgos, J. (2015). *“Estudio de la lámina óptima de riego para el cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en la parroquia San Carlos del cantón Naranjal—Provincia del Guayas”*. Universidad de Guayaquil.
- Cabal, J. F. (2015, octubre 28). *Energía: Otro de los Subproductos de la Caña de Azúcar*. ANEIA - Universidad de Los Andes.
- Carbonell, J. C. (2011). *Pinturas y recubrimientos.: Introducción a su tecnología*. Ediciones Díaz de Santos.
- Casa, E. (2018). *Evaluación del potencial de producción de bioetanol de la biomasa lignocelulósica de la caña de maíz por hidrólisis ácida* [Universidad Central del Ecuador].
- Castells, X. E. (2012). *Biomasa y Bionergía: Energía, Agua, Medioambiente, territorialidad y Sostenibilidad*. Ediciones Díaz de Santos.
- Chanta, V. (2015). *Producción de biocombustibles a partir de biomasa lignocelulósica de sorgo dulce (Sorghum bicolor Var. Sugar Drip) por extracción con vapor* [Universidad de Piura].
- Corral, C. (2019). *Formulación de un removedor a base de aceites esenciales (naranja, eucalipto) para la cinta adhesiva de control de bienes de la Memoria Documental y*



Echeverría, W. (2021). *Determinación del contenido de lignina presente en biombras residuales procedentes del sector agrícola Ecuatoriano*. Universidad Central del Ecuador.

Elizalde, M. F. (2015). *Mejoramiento de la rentabilidad con diversificación de sub-productos de la caña de azúcar, en Chaguarpamba. Loja*. Universidad Técnica de Machala.

Espinosa, M. (2017). *Alcoholes*.

Eter etílico | Unidad de Informática del Instituto de Química. (2016).
<https://uniquim.iquimica.unam.mx/glossary/eter-etilico/>

Fernández, J., Gutierrez, M., Del Río, F., González, P., Bahillo, B. R., Sánchez, M., Ballesteros, M., Vanquez, A., Aracil, J., & Rodríguez, M. (2015). *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética*. Ediciones Paraninfo, S.A.

Finger, S., & Sepúlveda, A. (2019). *El concepto solvente universal en la enseñanza de las propiedades del agua*.

Fleck, J. C. (2009). *Universidad Nacional de Misiones*. Universidad Nacional de Misiones.

Fretes, F. (2011). *Caña de azúcar análisis de la cadena de valor en Concepción y Canindeyú*. USAID.

Google Maps. (2021). Google Maps.
[https://www.google.com.ec/maps/place/Iglesia+del+Sagrario+\(Antigua+Catedral+de+Cuenca\)/@-2.8977999,-](https://www.google.com.ec/maps/place/Iglesia+del+Sagrario+(Antigua+Catedral+de+Cuenca)/@-2.8977999,-)



79.0060303,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x91cd18115db2ffb1:0xa34a065335a1ca8f!8m2!3d-2.8978053!4d-79.0038416?hl=es

- Herrera, J. A. L. C. (2020). *Energía de la biomasa y el agua*. Editorial Elearning, S.L.
- Herrero, O. (2012). *Diclorometano (cloruro de metileno)*.
- INEC. (2021). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2020* (p. 49). Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- INEN, V. Y. C. (2018). Normalización INEN: Fabricación de papel a partir del bagazo de la caña de azúcar. *Normalización INEN*.
- Insst. (2018). *Documentación toxicológica para el establecimiento del límite de exposición profesional del cloruro de metileno*. Instituto nacional de seguridad y salud en el trabajo.
- Kunusa, W. R., Abdullah, R., Bilondatu, K., & Tulie, W. Z. (2020). *Analysis of Cellulose Isolated from Sugar Bagasse: Optimization and Treatment Process Scheme*. 1422, 012040.
- Manals, E., Penedo, M., & Giralt, G. (2011). *Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales*. 11.
- Martín, C., & Manzanares, P. (1994). *Biomasa lignocelulósica: Polímeros constitutivos: procesos biológicos de degradación de la lignina*. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
- Martínez, J., & Santos, N. (2018). *La acetona en los quita esmaltes*. Vsip.Info. <https://vsip.info/acetona-3-pdf-free.html>
- Moncada, O. M., & Gutiérrez, S. V. C. (2016). *Caracterización de mezclas de residuos lignocelulósicos, raquis de palma africana y bagazo de caña, para visualizar su*



potencial en la producción de etanol de segunda generación. Universidad Santo Tomás.

Morales, S. (2015). *Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos.* Universidad Autónoma de Madrid.

National Renewable Energy Laboratory. (2008). Determination of Total Solids in Biomass and Total Dissolved Solids in Liquid Process Samples. NREL/TP-510-42621. *Technical Report*, 1-9.

Neri, F. (2002). *Caracterización y cinética de la pirólisis del bagazo de caña de azúcar.* centro de investigación en materiales avanzados.

Nogués, F., García, D., & Rezeau, A. (2010). *Energía de la Biomasa: Vol. I.* Universidad de Zaragoza.

Oliva, J. (2003). *Efecto de los productos de degradación originados en la explosión por vapor de biomasa de chopo sobre Kluyveromyces marxianus* [Universidad Complutense de Madrid].

Olivas, S. (2012). *Diseño de la sección de purificación de una planta de hidrodealquilación de tolueno.* Universidad politécnica de Cartagena.

Palacios, M. (2016). *Caracterización química de la biomasa procedente de las hojas, pseudotallo, raquis y pseudopeciolo de la planta de banano y su relación con el poder calorífico.* Universidad de Cuenca.

Peralta, J. P. (2007). *El agua, una sustancia tan común como sorprendente.* 9.

Pérez, J. (2008). Estudio del pretratamiento con agua caliente en fase líquida de la paja de trigo para su conversión biológica a etanol. *Universidadde Jaén.*



- Pérez, S. (2020). *El impacto del benceno a nivel biológico, y los usos en medicina* -. StuDocu.
- Pippo, W., Luengo, C., Alberteris, L., Garzone, P., & Cornacchia, G. (2011). Energy Recovery from Sugarcane-Trash in the Light of 2nd Generation Biofuels. Part 1: Current Situation and Environmental Aspects. *Waste and Biomass Valorization*, 2, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s12649-010-9048-0>
- Pissa. (2002). *Éter etílico N° CAS: 60-29-7*. Universidad de Sonora.
- Prado, M., Anzaldo, J., Becerra, B., Palacios, H., Vargas, J. de J., & Rentería, M. (2012). Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. *Madera y bosques*, 18(3), 37-51.
- Prinsen, P. (2010). *Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de su lignina*. Universidad de Sevilla.
- Ramírez, M. Á. (2008). Módulo V: Caña de azúcar. En *Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: Una alternativa para la generación de empleos e ingresos* (Primera, p. 20). SNV.
- Rueda, G., Gutiérrez, C., Mistretta, G., Peralta, F., Golato, M., Ruiz, M., & Paz, D. (2016). *Determinación del contenido de humedad del bagazo de caña de azúcar por medio de microondas*. 93, 07-12.
- Sundaram, J. (2017, septiembre 19). *Investigación y pruebas del xilitol*. News-Medical.Net.
- Supelco. (2021). *Ficha de datos de seguridad del tolueno*. Merck. file:///C:/Users/usuario/Downloads/107019_SDS_ES_ES.PDF
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2002). *One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp. T 212 om-02*. 1-4.



Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2006). *Acid-insoluble lignin in wood and pulp. T 222 om-02*. 1-14.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2007). *Solvent extractives of wood and pulp (Proposed revision of T 204 cm-97)*. 1-12.

TermoFisher. (2009). *Ficha de seguridad Éter dietílico*.
<https://library.co/document/ye8e607y-seguridad-dietilico-dietilico-dietilico-anestesia-formula-quimica-molecular.html>

Vélez, J. S. (2020). *Determinación del índice de madurez de tres cultivares de caña de azúcar y caracteres asociados con la producción*. Universidad Técnica de Machala.

Villacís, C. (2016). *Utilización del bagazo de la caña de azúcar para la fabricación de complementos decorativos para el hogar*. Universidad Católica del Ecuador.

Zumalacárregui, L. M., Pérez, O., Rodríguez, P. A., Zumalacárregui, B. M., & Lombardi, G. (2015). Potencialidades del bagazo para la obtención de etanol frente a la generación de electricidad. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 16(3), 407-418.



ANEXOS

Anexo 1: Determinación de Humedad

Muestras	Peso de la muestra inicial (g)	Peso de la muestra final (g)	% Humedad	% Error
Muestra 1	10,4973	4,6161	56,03	0,52
Muestra 2	10,4689	4,6569	55,52	
Muestra 3	10,6752	4,6947	56,02	

Anexo 2: Eliminación de Extractivos

Solventes	Muestras	Peso de la muestra inicial (g)	Peso de la muestra final (g)	% Extractivos	% Error
Agua	Muestra 1	6,0012	4,1745	30,4389	0,79
	Muestra 2	6,0014	4,1900	30,1830	
	Muestra 3	6,0011	4,2030	29,9628	
Etanol	Muestra 1	6,0008	4,2749	28,7612	1,33
	Muestra 2	6,0008	4,2318	29,4794	
	Muestra 3	6,0009	4,2383	29,3723	
Etanol - Tolueno	Muestra 1	6,0010	4,0889	31,8630	1,34
	Muestra 2	6,0012	4,0901	31,8453	
	Muestra 3	6,0011	4,1334	31,1226	

Anexo 3: Determinación de Lignina insoluble en ácido

Solventes	Muestras	Peso de la muestra inicial (g)	Peso de la muestra final (g)	% Lignina	% Error
Agua	Muestra 1	1,2349	0,1722	17,2148	1,73
	Muestra 2	0,9808	0,1713	17,1232	
	Muestra 3	0,8358	0,1769	17,6829	
Etanol	Muestra 1	1,1437	0,1439	14,3799	1,95
	Muestra 2	1,1000	0,1467	14,6597	
	Muestra 3	1,1676	0,1496	14,9525	
Etanol - Tolueno	Muestra 1	1,1462	0,1381	13,8003	1,34
	Muestra 2	1,1003	0,1346	13,4506	
	Muestra 3	1,1689	0,1355	13,5378	

**Anexo 4: Determinación de Holocelulosa**

Solventes	Muestras	Peso de la muestra inicial (g)	Peso de la muestra final (g)	% Holocelulosa	% Error
Agua	Muestra 1	1,1665	1,4370	71,8177	0,71
	Muestra 2	1,0383	1,4546	72,7009	
	Muestra 3	1,1097	1,4552	72,7273	
Etanol	Muestra 1	1,1427	1,4888	74,4065	0,58
	Muestra 2	1,0855	1,5059	75,2611	
	Muestra 3	1,1195	1,4950	74,7126	
Etanol - Tolueno	Muestra 1	1,1110	1,4868	74,3289	0,48
	Muestra 2	1,0683	1,4954	74,7513	
	Muestra 3	1,1275	1,5014	75,0437	

Anexo 5: Determinación de α -Celulosa

Solventes	Muestras	Peso de la muestra inicial (g)	Peso de la muestra final (g)	% Celulosa	% Error
Agua	Muestra 1	1,0851	0,4161	41,5767	0,48
	Muestra 2	1,0751	0,4156	41,5392	
	Muestra 3	1,2719	0,4123	41,2176	
Etanol	Muestra 1	1,1319	0,4120	41,1959	0,73
	Muestra 2	1,0754	0,4106	41,0477	
	Muestra 3	1,1387	0,4064	40,6197	
Etanol - Tolueno	Muestra 1	1,1591	0,3888	38,8528	0,42
	Muestra 2	1,0788	0,3865	38,6307	
	Muestra 3	1,1594	0,3857	38,5392	

**Anexo 6:** Determinación de Hemicelulosa

Solventes	Muestras	% Holocelulosa	% Celulosa	% Hemicelulosa
Agua	Muestra 1	71,8177	41,5767	30,2409
	Muestra 2	72,7009	41,5392	31,1617
	Muestra 3	72,7273	41,2176	31,5096
Etanol	Muestra 1	74,4065	41,1959	33,2106
	Muestra 2	75,2611	41,0477	34,2134
	Muestra 3	74,7126	40,6197	34,0930
Etanol - Tolueno	Muestra 1	74,3289	38,8528	35,4760
	Muestra 2	74,7513	38,6307	36,1206
	Muestra 3	75,0437	38,5392	36,5046