UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Proyecto de Investigación previo a la obtención de Titulo de

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

TEMA:

“TECNOLOGÍAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum)* Y MAÍZ BLANCO *(Zea mays L)”*

AUTOR:

Christian Daniel Barrera Quispe

Mónica Elizabeth Zumbana Chachipanta

DIRECTOR DEL PROYECTO:

MSc. Franklin Rolando Villafuerte Carrillo

PASTAZA – ECUADOR

2020

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien/es suscribe/n **Christian Daniel Barrera Quispe** con C.I. **1804798021**, hace constar que es autor/a del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: **"Tecnologías para la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos de caña de azúcar (Saccharum officinarum) y maíz blanco (Zea mays L)"**, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Dr/Msc. **Franklin Rolando Villafuerte Carrillo**. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 11 días del mes de septiembre del 2020.

_____

Christian Daniel Barrera Quispe

CI: 1804798021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien/es suscribe/n **Mónica Elizabeth Zumbana Chachipanta** con C.I. **1600789281**, hace constar que es autor/a del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: **"Tecnologías para la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos de caña de azúcar (Saccharum officinarum) y maíz blanco (Zea mays L)"**, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Dr/Msc. **Franklin Rolando Villafuerte Carrillo**. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 11 días del mes de septiembre del 2020.

_____

Mónica Elizabeth Zumbana Chachipanta
C.I. 1600789281

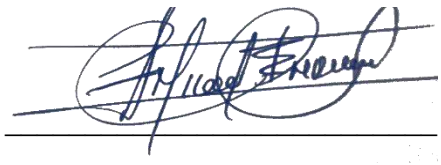
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: **"Tecnologías para la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos de caña de azúcar (Saccharum officinarum) y maíz blanco (Zea mays L)"**.

_____

Dr/Msc Amaury Pérez Martínez

Presidente del Tribunal



Dr/Msc Miguel Ángel Enríquez Estrella

Miembro del Tribunal

_____

Dr/Msc Aida Salome Romero Vistin

Miembro del Tribunal

Oficio No. 259-SAU-UEA-2020

Puyo, 14 de septiembre de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

el Proyecto de Investigación correspondiente a los egresados ZUMBANA CHACHIPANTA MÓNICA ELIZABETH con C.I. 1600789281 y BARRERA QUISPE CHRISTIAN DANIEL con C.I. 1804798021, con el Tema **"TECNOLOGÍAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum)* Y MAÍZ BLANCO *(Zea mays L)*"**, de la carrera, Ingeniería Agroindustrial. Director del proyecto Ing. Villafuerte Carrillo Franklin Rolando, M.Sc., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 1%, Informe generado con fecha 13 de septiembre de 2020 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M.Sc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la sabiduría y saberme guiar en cada una de mis decisiones, a mis padres y hermanos quienes fueron mi apoyo, inspiración y fortaleza. Mi tutor Msc. Franklin Villafuerte quien me supo guiar en cada una de las etapas de mi proyecto de investigación y a cada uno de los docentes que me formaron a lo largo de mi ciclo académico.

Mónica Zumbana

Agradezco a Dios, mi madre y a toda mi familia quienes me brindaron su apoyo, fortaleza e inspiración para poder cumplir este sueño. A mi tutor de tesis Msc. Franklin Villafuerte que fue un apoyo fundamental en la elaboración de la presente tesis, a mis maestros por brindarme sus conocimientos en el trascurso de mi carrera.

Christian Barrerra

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a mi madre María Chachipanta que ha sabido formarme con buenos valores permitiendo convertirme en la persona que soy, por sus consejos y amor incondicional el cual me ha ayudado a seguir adelante en los momentos más difíciles. A mi padre Willan Zumbana que ha estado siempre apoyándome en cada etapa de mis estudios e incentivándome a nunca darme por rendida. Mis hermanos Alex y Paúl Zumbana quienes son mi motivación para prepararme académicamente convirtiéndome así en un ejemplo a seguir. Agradezco también a toda mi familia por confiar siempre en mí.

Mónica Zumbana.

El presente trabajo está dedicado a mi madre Rosario Quispe por su apoyo incondicional y confiar en mí, por ser el motor de mi vida para seguir con mis metas, a mi hermano Claudio que gracias a sus consejos de superación pude cumplir este sueño, sé que desde el cielo me cuida y me da su bendición y a toda mi familia por su apoyo moral que fue indispensable para seguir adelante.

Christian Barrerra

RESUMEN

En las provincias de Pastaza y Tungurahua existe gran cantidad de residuos provenientes de la actividad agrícola de la caña de azúcar y maíz blanco, los residuos de caña de azúcar se obtienen de la elaboración de panela y alcohol, mientras que los residuos de maíz blanco resultan de la cosecha generando gran cantidad de desechos que no son aprovechados. Por ende el objetivo de esta investigación es identificar las tecnologías para la obtención de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos, para esto se caracterizó bibliográficamente la composición química de las materias lignocelulósicas cuya composición principal está basado en: celulosa, hemicelulosa, y lignina, permitiendo seleccionar la tecnología de sacarificación y fermentación simultanea (SFS) mediante un análisis de la composición química de los residuos (caña de azúcar, maíz blanco) en función a su alta capacidad para degradar la lignina al emplear NaOH al 1% en el pretratamiento, bajo costo de maquinaria debido a que se necesita un reactor para realizar la sacarificación y fermentación con enzimas *(Trichoderma reesei)* e inóculos*(Zymomonas mobilis)* y obteniendo un rendimiento del 85% de bioetanol.

Palabras clave: bioetanol, biomasa, pretratamientos, hidrólisis, residuos lignocelulósicos, caña de azúcar, maíz blanco.

ABSTRACT

In the provinces of Pastaza and Tungurahua, there is a large amount of residues from the agricultural activity of sugar cane and white corn, sugar cane residues are obtained from the production of panela and alcohol, while residues of white corn are of the harvest generating a large amount of waste that is not used. Therefore, the objective of this research is to identify the technologies for obtaining bioethanol from lignocellulosic residues, for this the chemical composition of lignocellulosic materials was characterized bibliographically whose main composition is based on: cellulose, hemicellulose and lignin, allowing to select the simultaneous saccharification and fermentation technology (SFS) through an analysis of the chemical composition of the residues (sugar cane, white corn) based on its high capacity to degrade lignin by using 1% NaOH in the pretreatment, low cost of machinery because a reactor is needed to carry out the saccharification and fermentation with enzymes (*Trichoderma reesei*) and inoculum (*Zymomonas mobilis*) and obtaining a yield of 85% of bioethanol.

Keywords: bioethanol, biomass, pretreatments, hydrolysis, lignocellulosic residues, sugar cane, white corn.

ÍNDICE

CAPITULO I **1**
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. JUSTIFICACIÓN 2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2
1.3. OBJETIVO GENERAL 3
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3
CAPITULO II **4**
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 4
2.1. MAÍZ (*Zea mays L.*) 4
2.2. CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) 5
2.3. BIOMASA 6
2.4. BIOMASA LIGNOCELULÓSICA 7
2.5. BIOETANOL 8
2.6. PRETRATAMIENTOS PARA MATERIAL LIGNOCELULÓSICO 10
2.7. DETOXIFICACIÓN Y FERMENTACIÓN. 12
CAPITULO III **13**
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 13
3.1. LOCALIZACIÓN 13
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN 13
3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN 13
CAPITULO IV **14**
4. ANALISIS DE RESULTADOS 14
4.1. COMPOSICIÓN DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR *(Saccharum officinarum)* Y MAÍZ BLANCO *(Zea mays l.).* 14
4.2. DESCRIPCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL. 16
4.3. SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA 31
CONCLUSIONES 32
RECOMENDACIONES 32
REFERENCIAS 33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación botánica del maíz (Zea mays L.)..... 5
Tabla 2. Clasificación taxonómica de la caña de azúcar..... 6
Tabla 3. Materias para la obtención de bioetanol. 9
Tabla 4. Composición química del bagazo de caña de azúcar..... 14
Tabla 5. Composición química del tallo y hojas de maíz. 15
Tabla 6. Composición química del tallo de caña de azúcar y maíz blanco..... 15
Tabla 7. Tecnologías para la obtención de bioetanol ventajas, desventajas, rendimiento y condiciones de operación..... 27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del cambio estructural de la materia lignocelulósico luego de un pretratamiento. 10
Figura 2. Tipos de pretratamientos para material lignocelulósico..... 11
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de Sacarificación y Fermentación Simultanea (SFS).. 16
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso hidrólisis con ácido diluido, neutralización y fermentación. 18
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso hidrólisis con ácido concentrado, recuperación del ácido y fermentación. 19
Figura 6. Diagrama de flujo del proceso Rompimiento con amoniaco, hidrólisis enzimática y fermentación. 21
Figura 7. Diagrama de flujo del proceso Extracción con acetona acidificada, hidrolisis ácida y fermentación. 22
Figura 8. Diagrama de flujo del proceso Pretratamiento con líquidos ionizantes, hidrolisis enzimática y fermentación. 24
Figura 9. Diagrama de flujo del proceso Explosión con vapor, hidrolisis enzimática, detoxificación y fermentación..... 25

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

Los residuos lignocelulósicos han sido objeto de estudio en los últimos años por su potencial para convertirse en una fuente de energía renovable, de esta manera poder disminuir el uso de combustibles fósiles reduciendo el impacto ambiental producido por estos. El bioetanol es uno de los productos obtenidos a partir de biomasa de residuos agrícolas como la de caña de azúcar y maíz por su alto contenido en celulosa y hemicelulosa. (Romero , Gadvay, & Castillo, 2017).

La biomasa está formada por tres principales componentes que son: celulosa, hemicelulosa y lignina siendo este último componente el que impide la separación de los polímeros antes mencionados para su posterior hidrólisis mediante la utilización de tratamientos físicos, químicos y biológicos. (Cortes Ortiz, 2014).

En el mundo el maíz *(Zea mays L)* y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum)* son los cultivos con mayor producción agrícola, además de ser considerados uno de los productos más importantes para el consumo humano. El maíz *(Zea mays L)* es originario de América Latina por ende es el continente con mayor demanda donde alrededor del 15 al 20% de la población total consume este producto (Balarezo, 2014). La caña de azúcar (*Saccharum officinarum)* procedente de Asia donde surge esta prodigiosa especie, es una de las fuentes más importantes para la obtención de sacarosa convirtiéndose en uno de los productos con mayor consumo por el ser humano. (Ávila, 2011).

El cultivo a nivel nacional se ha convertido en uno de los pilares fundamentales para garantizar la seguridad alimentaria presentando productos como: caña de azúcar y maíz blanco, estos son cultivados en la Amazonia, Costa y Sierra respectivamente. Existen variedades endémicas y mejoradas de maíz blanco cultivadas en la sierra ecuatoriana, siendo las endémicas: Zhima, guagal, blanco blandito ,etc. y mejoradas: INIAP 102(Blanco blandito mejorado),etc. (Álvarez Cornejo & Veliz Padilla, 2014). La superficie sembrada en la provincia de Bolívar es de 16,560 hectáreas, Tungurahua 5,627 hectáreas y Pichincha 3,026 hectáreas estas provincias tienen la mayor producción de maíz blanco generando mayor cantidad de residuos agrícolas que no son aprovechados en su totalidad. (INEC, 2016).

La caña de azúcar representa el 7,33% de la superficie plantada de los cultivos permanentes por debajo del cacao, palma africana y banano, siendo Guayas la provincia con mayor producción con el 80,37% a nivel nacional, mientras que en Pastaza presenta una producción de 4,500 hectáreas de la variedad limeña. (ASOCAP, s.f.)

1.1. JUSTIFICACIÓN

En el mundo se generan cantidades notables de residuos agrícolas las cuales son utilizadas de distintas formas dependiendo de la cultura, es así que el 80% de los residuos agrícolas provenientes de países en desarrollo no son aprovechados, siendo tan solo el 15% utilizado como alimento para animales y la materia que se reincorpora al suelo para su degradación es del 4,5% mientras el 0,5% son destinados a industrias papeleras entre otras. (Ruilova & Hernández, 2014).

Ecuador es considerado uno de los principales países agropecuarios de América latina, por su posición geográfica y diversidad de suelos como los arcillosos y arenosos por lo que tiene una amplia producción agrícola. La caña de azúcar es uno de los productos más cultivados a nivel nacional, la provincia de Pastaza cuenta con una superficie sembrada de 4,500 ha dedicadas a este cultivo, con una generación de residuos del 30 % de la molienda de la caña para la obtención de productos como panela y alcohol. Tungurahua presenta un área sembrada de 5,627 hectáreas de maíz blanco (INEC, 2016). Su fruto o grano representa el 50% de la planta que es aprovechado para el comercio y consumo de sus pobladores, mientras que el 53% de los residuos (tallos, hojas) generados son destinados como alimento para animales, 27% son reintegrados a sus suelos y el 20% son quemados (Coral, 2017). En el presente proyecto de investigación se busca la forma de aprovechar los residuos lignocelulósicos generados por los cultivos de caña de azúcar y maíz blanco, incentivando a los agricultores no solo a la cosecha, también al aprovechamiento de los residuos proporcionando un valor agregado al implementar tecnologías para la obtención de bioetanol. Ampliando alternativas para la agroindustria de estas zonas y fomentar la sostenibilidad económica de los agricultores.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las provincias de Pastaza y Tungurahua existe gran producción de caña de azúcar y maíz blanco respectivamente, que son utilizados como materia prima para la obtención de productos generando desechos que no son aprovechados en su totalidad, de tal manera que pueden ser empleados para la obtención de nuevos productos como el bioetanol.

¿Cómo aprovechar los residuos lignocelulósicos de la caña de azúcar *(Saccharum officinarum)* y maíz blanco *(Zea mays L)* en la obtención de bioetanol?

1.3. OBJETIVO GENERAL

- Identificar las tecnologías para la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos de la caña de azúcar *(Saccharum officinarum)* y maíz blanco *(Zea mays L.).*

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar bibliográficamente la composición de la biomasa lignocelulósica de la caña de azúcar *(Saccharum officinarum)* y maíz blanco *(Zea mays L.).*
- Describir las tecnologías para la obtención de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos.
- Seleccionar una tecnología para la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos de la caña de azúcar *(Saccharum officinarum.)* y maíz blanco *(Zea mays L.)* en base a criterios técnicos.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. MAÍZ (*Zea mays L.*)

El maíz es originario de México y Centroamérica hace aproximadamente 7000 a 10000 años (Verdezoto, 2015). Según investigaciones se encontró al teosinte antecesor del maíz debido a que presentan algunas similitudes, este tipo de especie se encuentra ubicado en el estado de Chihuahua, México hasta el Salvador y Costa rica. El teosinte (*Zea mays L*. ssp. Mexicana) es una especie tipo silvestre que fue domesticada por los indígenas mexicanos, siendo Mesoamérica el lugar de origen de su domesticación hasta el maíz que se encuentra en la actualidad y desde ahí su distribución a todo el continente americano. (Sánches et al, 2018).

El maíz fue domesticado hace aproximadamente 9500 a 8800 BP y se propago a Panamá, Colombia hasta llegar a las costas del Ecuador, donde se encontraron fitolitos en la península de Santa Elena, que demuestra que el maíz se encuentra desde 8050 a 7620 cal. BP, en sus inicios esta fue utilizada para ceremonias ancestrales y no como un alimento. (Pagán , Rodríguez, Reid, Bel, & Hofman, 2015).

A nivel nacional se encuentran 26 variedades de maíz, debido a la amplia gama de suelo y clima, en la sierra ecuatoriana se siembran 17 variedades tanto endémicas como mejoradas que son: cuzco ecuatoriano o Zhima, guagal, blanco blandito, mishca, chulpi, morochón, patillo, canguil, y morado denominadas endémicas o criollas, a partir de estas se realizaron mezclas con el fin de obtener nuevas variedades de maíz mejoradas que presenten mayor adaptabilidad al clima y mejor rendimiento en las cuales se encuentran el INIAP-122 (chaucho mejorado), INIAP-124 (mishca mejorado), INIAP-102 (blanco blandito), etc. (Palacios , Tamayo, Terán, Velásquez, & Vásquez, 2019). Las variedades más cultivadas en el Ecuador por presentar un mejor rendimiento y demanda por parte de la población son maíz duro, suave en grano y choclo. (Borja & Caviedes, 2013).

La planta de maíz presenta las siguientes características sus raíces fasciculadas son el soporte para que se mantenga sobre el suelo también absorben y proporcionan nutrientes para su desarrollo, sus tallos son rectos con una forma cilíndrica, son el trasporte de los nutrientes asía toda la planta presenta una consistencia robusta y no posee ramificaciones, pude llegar a medir hasta cuatro metros de altura según su especie, sus hojas son de color verde y largas de una forma alanceada

posee dos lados uno liso y otro áspero, además de tener sus lados finos y cortantes su estructura empieza desde el tallo su función es realizar la fotosíntesis convirtiendo la materia inorgánica en orgánica (Guacho, 2014). El maíz presenta una clasificación botánica misma que se ilustra en la tabla 1.

Tabla 1. ***Clasificación botánica del maíz (Zea mays L.)***

Reino	Vegetal
Subreino	Embriobionta
División	Angiospermae
Clase	Monocotyledoneae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	Zea
Especie	Mays
Nombre científico	Zea Mays L.

Fuente: (Guacho, 2014).

2.2. CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)

La caña de azúcar cuyo nombre científico es *(Saccharum officinarum)* originaria de Nueva Guinea donde se expandió a Asia y a las islas del Pacífico hasta llegar al continente europeo, en especial a las zonas costeras de las ciudades de Málaga y Motril. La caña de azúcar fue introducida a América por Pedro de Atiesa a finales del siglo XV en el segundo viaje de Cristóbal Colón en el año 1492 a la isla española, las cañas introducidas no tuvieron éxito, siendo en 1501 año en el cual se logró adaptarla para posteriormente expandir a países como Brasil, México, Perú y Ecuador que en la actualidad son conocidos como los mayores productores de caña de azúcar. (Rosas, Galindo, Lee, & Alvarado, 2010).

La caña de azúcar es una planta herbácea perenne, está conformada por tallos, hojas, inflorescencias y semillas mismas que se encuentran en la superficie y en la parte subterránea se encuentra la raíz (Patiño, 2011). Su tallo puede crecer de 2-5 metros con un diámetro de 6

centímetros, no presenta ramificaciones y se encuentra separado por nudos que son la parte más dura y fibrosa la cual presenta anillos de crecimiento, franja de raíces , la cicatriz de la hoja, la yema y el anillo ceroso (Marasca , Barbosa, Pereira, Paz, & Pereira, 2015). Sus hojas crecen de los nudos, son largas con bordes dentados de color verde claro u obscuro y está formada por una vaina y la lámina foliar, la primera se encarga de envolver el tallo formando la base de la hoja, la segunda es la nervadura central de 30-60 centímetros de largo, misma que se localiza en el centro de la hoja, estas dos partes permiten realizar el proceso de la fotosíntesis. La inflorescencia es una panícula sedosa en forma de espiga que contienen una flor hermafrodita con tres anteras y un ovario con dos estigmas, en cada uno de los ovarios se encuentran un ovulo que una vez fertilizado se produce un fruto o cariópside de 1.5 milímetros de largo (Amaya, Cock, Hernández, & Irvine, 1995). La caña de azúcar presenta una clasificación taxonómica que se observa en la tabla 2.

Tabla 2. ***Clasificación taxonómica de la caña de azúcar.***

Reino	Eukaryota
División	Magnoliophyta
Clase	Liliatas
Orden	Poales
Familia	Poaceas
Genero	Saccharum
Especie	Officinarum

Fuente: (Cobeña & Loor, 2016).

2.3. BIOMASA

La biomasa son residuos de materia orgánica procedentes de la actividad agrícola (residuos de maíz, café, arroz, macadamia), forestal (podas, ramas, aserrín, cortezas), desechos de animales y residuos urbanos que pueden ser convertidos en energía misma que se clasifica según; su origen, estado y composición. (Cortes Ortiz, 2014).

La biomasa según su origen se clasifica en: biomasa natural esta proviene de los bosques donde no existe intervención humana, biomasa residual esta a su vez se subdivide en residuos agrícolas,

residuos ganaderos, residuos forestales (tratamientos silvícolas, residuos de cortes de madera), residuos de industrias agrícolas (cáscaras, bagazos). Por último, se encuentran los cultivos energéticos su propósito es la producción de energía por lo que utilizan cultivos no alimentarios por ejemplo colza etíope estos cultivos son seleccionados de acuerdo a la cantidad de biomasa y no la calidad (Herguedas & Peso, 2012).

De acuerdo a su estado encontramos: biomasa sólida esta abarca la madera debido a que los residuos se obtienen de industrias como la carpintería, papeleras o aquellos residuos provenientes de la limpieza de jardines y parques. La biomasa liquida son aquellos residuos provenientes del sector ganadero, aguas residuales urbanas, por último, se encuentra la biomasa gaseosa la cual utilizan residuos de animales y vertederos que son sometidos a procesos térmicos o biológicos para la obtención de biogás y metano (Herguedas & Peso, 2012).

Por su composición podemos encontrar: biomasa oleaginosa estas presentan alto contenido en lípidos mismas que se encuentran en semillas de girasol, lino, maíz, la biomasa alcoholígena esta se encuentra compuesta por hidratos de carbono (monosacáridos-disacáridos) que provienen de pulpas de frutas, caña de azúcar, remolacha y sorgo dulce. La biomasa amilácea se caracteriza por contener polisacáridos de reservas como la inulina y el almidón procedentes de tubérculos de patatas, achicoria, rizomas de dalia y granos de cereales, la biomasa lignocelulósica está compuesta por polisacáridos como la hemicelulosa y celulosa sus fuentes son maderas y residuos lignocelulósicos. (Arauzo, Bimbela, Ábrego, Sánchez, & Gonzalo, 2014).

2.4. BIOMASA LIGNOCELULÓSICA

La biomasa lignocelulósica es de origen vegetal procedente de bosques, residuos agrícolas, industrias madereras e industrias de papel. Su estructura está conformada por tres polímeros que son: celulosa, hemicelulosa y lignina. (Anju, Preeti, Jatinder, & Madan, 2020).

La celulosa es un polímero de estructura lineal uno de los componentes más importantes de la pared celular de las plantas debido a que proporciona la rigidez de la misma y presenta una estructura semicristalina. Este polímero está compuesto por subunidades de D-glucosa unidas por un enlace glucosídico β 1-4, las fibrillas de celulosa se originan al juntarse las capas de celulosas mismas que se encuentran unidos mediante enlaces de hidrogeno entre los grupos hidroxilo de varias cadenas uniformes de glucosa por tal motivo son insolubles y resistentes al agua (Cortes, 2011). La hemicelulosa está formada por carbohidratos complejos como la xilosa, arabinosa que

son pentosas y glucosa, manosa y galactosa que son hexosas, esta presenta un peso molecular inferior al de la celulosa por lo que es más fácil de hidrolizar, la función principal de este polímero es unir la lignina con la celulosa proporcionando así una rigidez a la pared celular además de ser insolubles al agua. (Morales, 2015).

El ultimo componente la lignina es un polímero que presenta una estructura tridimensional, macromolecular, ramificada y amorfa además de ser considerado uno de los más importantes debido a que participa en el transporte de nutrientes, brinda protección ante cualquier patógeno o degradación química, la estructura de este polímero va a depender mucho del material al que corresponda, sin embargo, está conformada por tres unidades monoméricas llamada fenilpropano que se encuentra a lo largo de la lignina. (Mulero, 2019).

2.5. BIOETANOL

Es un producto químico que se obtiene de la fermentación de los azúcares simples o algún compuesto como el almidón o la celulosa que pueden transformarse en azúcares que se encuentran en productos vegetales y biomasas. El bioetanol presenta varios usos en la industria los principales y más conocidos son: biocombustible para motores, ingredientes para bebidas alcohólicas, en la industria farmacéutica es utilizada como sustancia que ayuda a la formulación, conservación o en la administración del medicamento y cosméticos (ambientadores y perfumes), el bioetanol procedente de material lignocelulósica se realiza en varios procesos, el primer proceso es someter a la biomasa a un pretratamiento que puede ser físico, químico y biológico con la finalidad de romper la matriz lignocelulósica para luego efectuar una hidrolisis enzimática o ácida que consiste en romper los enlaces y transformarlos en azúcares simples, posteriormente se realiza una fermentación utilizando levaduras que transforman la glucosa a etanol y finalmente se realiza una destilación (Castro, Beltrán, & Ortiz, 2012).

Existen materias de origen vegetal para la obtención de bioetanol que son: materia azucarada que se obtiene de la extracción de jugo de productos con alto contenido en azucares, materia amilácea procedente de los cereales, tubérculos entre otros, y biomasa celulósica que se obtiene de residuos agrícolas, residuos de fábrica y residuos provenientes de la madera. (Tabla 3)

Tabla 3. ***Materias para la obtención de bioetanol.***

Materia azucarada	Materia amilácea	Biomasa celulósica
Caña de azúcar	Cereales: maíz, cebada, Malta,	Madera
Remolacha	trigo, avena, Centeno.	Residuos de paja
Sorgo azucarado	Tubérculos como plantas y	Despojos de maíz
Mostos y jugo de frutas	boniatos	Bagazo de caña de azúcar
		Residuos de fábricas de papel
		Residuos sólidos urbanos

Fuente: (Barroso, 2010).

A continuación, se mencionarán algunos trabajos de investigación para la obtención de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos:

Según Rabelo, Filho, & Costa (2013) para la obtención de bioetanol a partir de bagazo de caña de azúcar se realizó un secado y molido posteriormente se dividió la materia según el tamaño de partícula debido a que una parte pasa por una malla obteniendo un tamaño de 0.248-1.397 mm y la otra se utilizó como se obtiene del molino, después se realizó un pre hidrolisis alcalina con hidróxido de calcio permitiendo separar la lignina y la hemicelulosa aumentando la digestibilidad enzimática. Luego se procedió a efectuar un hidrolisis enzimático utilizando celulasas como *Trichoderma reesei* y *β-glucosidasa* de *Aspergillus niger*, en la fermentación se realizó con *Saccharomyces cerevisiae* obteniendo un rendimiento de 164.1 kg de etanol por cada tonelada de bagazo.

Chandraraj et al. (2010) utilizó el bagazo y las hojas de caña para la obtención de etanol mismas que se encontraban a una humedad de 150% y 60% luego se pasó por un molino hasta obtener un tamaño de 20 mm posteriormente se realizó un pretratamiento AFEX con una relación 2:1, 1:1 de amoniaco a la biomasa, este pretratamiento rompe los enlaces complejos de carbohidratos de lignina y éster. Para el hidrolisis se utilizaron enzimas comerciales de celulosa y hemicelulosa *Spezyme CP* y *xilanasa multifect* a continuación, se realizó una co-fermentación de xilosa y glucosa utilizando *Saccharomyces cerevisiae* recombinante obteniendo 34 a 36 gr/ l de etanol con 92% de rendimiento.

Cuaspud (2017) estudió la obtención de azucares reductores y su posterior fermentación a partir de la materia lignocelulósica de los tallos de maíz para lo cual se realizó un pretratamiento térmico y mecánico reduciendo la partícula de 0,18 mm a 2 mm y un hidrólisis con ácido diluido evaluando concentraciones del ácido sulfúrico (H_2SO_4) la carga de la materia y el tiempo que se expuso. En los resultados se obtuvo parámetros ideales de 6% ácido, 30% material y 44minutos que fueron significativos para la obtención de 124g/l de azucares reductores, también se realizó una detoxificación del hidrolizado con la adición de carbón activado para separar inhibidores, en la fermentación se utilizó *S. cerevisiae* y la producción de etanol fue 22 g/l azúcares reductores en 18 horas.

Montipó et al. (2019) realizó un pretratamiento con explosión de vapor a la cascara de arroz en un biorreactor de 2 litros con 250 gramos de la materia separándola en dos fases liquida y sólida, se realizó un hidrolisis enzimático a la parte solida utilizando *Penicillium echinulatum* y a la parte liquida se sometió a una sacarificación y fermentación simultánea en las dos fases se utilizó la levadura *S. cerevisiae* para su fermentación obteniendo 19,17 g/l de etanol.

2.6. PRETRATAMIENTOS PARA MATERIAL LIGNOCELULÓSICO

La función principal de los pretratamientos es reducir la cristalinidad de la celulosa, remover la lignina y la hemicelulosa aumentando el área de contacto entre las enzimas celulolíticas y la celulosa como se observa en la figura 1. logrando una mayor liberación de azúcares para la siguiente etapa que es la hidrólisis aumentando así el rendimiento. Un pretratamiento adecuado es aquel que evita la degradación de carbohidratos, formación de inhibidores y brinda una mayor digestibilidad de celulosa y hemicelulosa. (Cortínez, 2010).

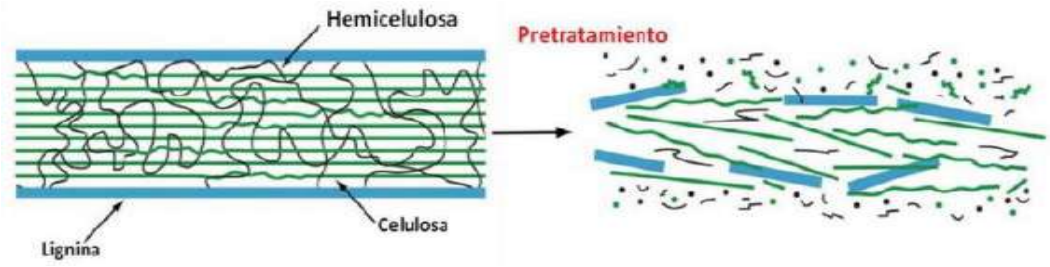


Figura 1. *Esquema del cambio estructural de la materia lignocelulósico luego de un pretratamiento*.

Fuente: (Juri, 2011).

Existen varios pretratamientos que tienen como propósito adaptar al material lignocelulósico y mejorar la disponibilidad de azucares para su hidrolisis posterior y evitar formación de inhibidores que interfieren en la fermentación y se clasificar en: Físicos, Químicos y Biológicos (figura 2).

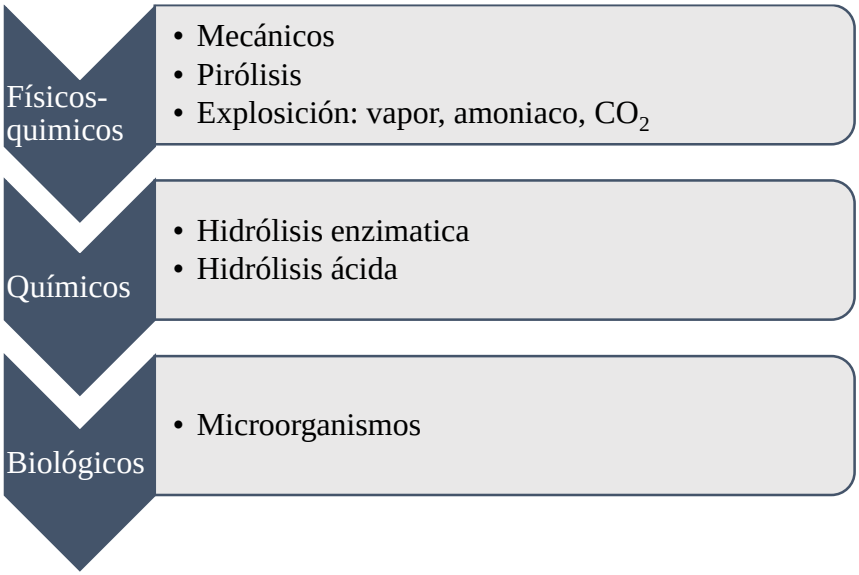


Figura 2. Tipos de pretratamientos para material lignocelulósico.

Fuente: (Casa, 2018).

Los tratamientos físicos tienen el objetivo de reducir el tamaño de la materia con la combinación de procesos físico-físico o físico-químico (mecánicos, pirolisis, explosión con vapor, amoniaco y CO_2) de esta manera reducir la cristalinidad de la celulosa y aumentar la digestibilidad de la biomasa (Morales, 2015; Romero, 2003). Los pretratamientos químicos tienen el objetivo de degradar la lignina y modificar la estructura de la materia lignocelulósica y favorece la acción de las enzimas para su hidrolisis, los más utilizados son la hidrólisis ácida utilizando el ácido sulfúrico y clorhídrico en concentraciones adecuadas, el hidrolisis alcalino se utiliza hidróxido de sodio y calcio (Olivia, 2003; Romero, 2003). Los pretratamientos biológicos utilizan microorganismos para su ejecución donde degradan la lignina y hemicelulosa eliminando las paredes que recubren a la celulosa de manera que se vuelven más accesibles al ataque enzimático posterior, los hongos de pudrición blanca *(Phanerochaete chysosporium)* son los más utilizados por su capacidad de degradar la lignina. Este proceso es amigable con el medio ambiente su consumo de energía es bajo, pero requiere tiempo y control para el crecimiento de los microorganismos. (Romero, 2003).

2.7. DETOXIFICACIÓN Y FERMENTACIÓN.

La detoxificación es un tratamiento que se realiza luego del hidrólisis ácida diluida o concentrada donde forman compuestos inhibidores (furfural, 5hidroximetil-furfural, compuestos fenólicos) y se pueden clasificar en físicos, químicos y biológicos.

Los físicos se encargan de eliminar por completo las sustancias, entre los métodos que encontramos están el carbón activado o de membrana, mientras los químicos o tratamientos overliming utilizan compuestos como el NaOH y $Ca(OH)_2$, los biológicos usan enzimas que actúan sobre los inhibidores reduciendo el efecto toxico para la fermentación, las enzimas más utilizadas son lacasas y peroxidasas. (Canilha et al, 2012).

Para la fermentación de biomasa lignocelulósica se utilizan varios microorganismos cuya función principal es degradar los azúcares monoméricos como la xilosa y glucosa a bioetanol. En la actualidad existes varias investigaciones realizadas a escala de laboratorio sin embargo a escala industrial existen pocas aplicaciones, los más utilizados para la obtención de bioetanol a partir de diversos sustratos son: la bacteria *Z. mobilis* y la levadura *S. cerevisiae.* (Mariscal, 2011).

La bacteria *Z. mobilis* es una Gram (-), permite una producción de bioetanol alto, debido a que logra una mayor captación de los azucares además en fermentaciones con glucosa producen concentraciones de bioetanol de 12% p/v. Cuando se fermentan a un pH bajo los azúcares esta bacteria no necesita de oxígeno sin embargo requiere concentraciones altas para su desarrollo y es tolerante a inhibidores que se producen en hidrolizados lignocelulósico. (Parsons & Banqueth, 2004). La levadura *S. cerevisiae* degrada glucosa a bioetanol con una temperatura de 30°C y un tiempo aproximado de 169 hora y un pH de 4,6 es la más utilizada por las industrias sin embargo para material lignocelulósico no es adecuado por su baja capacidad para degradar los azucares presentes en la biomasa a bioetanol, por lo que se requiere de dos tanques de fermentación para hexosas y pentosas, además de utilizar microorganismos por separados haciendo que el proceso sea costoso y poco viable para la obtención de bioetanol. (Eisenhuber, Jager, Wimberger, & Kahr, 2013; Parsons & Banqueth, 2004).

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACIÓN

El proyecto de investigación se realizó en la parroquia Huambaló ubicada a 9 km de la parte occidente del cantón Pelileo provincia de Tungurahua.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto de investigación inicio con un estudio exploratorio que nos brindó un conocimiento superficial, luego se procedió a realizar un estudio descriptivo con el objetivo de recopilar datos sobre teorías para exponer y resumir la información de manera adecuada y analizar resultados que contribuyeron al conocimiento. Al emplear estos tipos de estudios se identificó la tecnología más viable para la obtención de bioetanol a partir de residuos de caña de azúcar y maíz blanco.

3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para la elaboración del proyecto de investigación, se desarrolló mediante la revisión de la literatura científica recopilando información que se obtuvieron de bases de datos gubernamentales, revistas en bases de datos (Scopus, SciELO, PubMed, ScienceDirect, Google Académico), libros, trabajos de pregrado y posgrado. Luego se realizó una lectura comprensiva de las tecnologías para la obtención de bioetanol de datos recopilados de los últimos 10 años que brindo información actual y óptima. EL siguiente paso fue comparar la información obtenida mediante la elaboración de cuadros comparativos de las diferentes tecnologías de producción de bioetanol, para seleccionar una tecnología que consideraríamos la mejor en base a criterios técnicos.

CAPITULO IV

4. ANALISIS DE RESULTADOS

Para la obtención de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos de caña de azúcar y maíz blanco se realizó una investigación bibliográfica de 20 tesis de grado y posgrado, 36 de artículos científicos y 3 libros, estos fueron seleccionados tomando en cuenta la facilidad del proceso, costo y tiempo del proceso, tipo de reactivos utilizados y el rendimiento.

4.1. COMPOSICIÓN DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR *(Saccharum officinarum)* Y MAÍZ BLANCO *(Zea mays l.)*.

La caña de azúcar está compuesta por una parte solida llamada fibra y otra liquida o jugo que contiene agua y sacarosa, el bagazo de caña es un subproducto que proviene de los ingenios azucareros y otras actividades (elaboración de panela, alcohol), después de la molienda contiene un 30 a 40% de materia seca aproximadamente, este subproducto lignocelulósico está conformado por hemicelulosa, celulosa y lignina (tabla 4), además presenta gran cantidad de fibras por lo que su estructura es compleja, por lo cual se deben realizar pretratamientos con la finalidad de romper las barreras de cristalinidad de la celulosa para la obtención de bioetanol (Rodríguez , 2015).

Tabla 4. ***Composición química del bagazo de caña de azúcar.***

Componentes	**Porcentaje**
Celulosa	38-50%
Hemicelulosa	17-32%
Lignina	15-30%

Fuente: (Chandler et al, 2012).

El maíz blanco es uno de los principales cultivos de la región sierra que genera grandes cantidades de residuos o también llamados rastrojos (tallos, hojas) debido a que el hombre solo utiliza los granos que representa aproximadamente el 50%. la biomasa está conformada por celulosa, hemicelulosa y lignina siendo la última con menor porcentaje (Tabla 5) (Chulde & Portillo, 2014).

Tabla 5. ***Composición química del tallo y hojas de maíz.***

Compuesto	Tallo % base seca	Hojas % base seca
Hemicelulosa	24.59 %	39.67 %
Celulosa	36.05 %	31.40 %
Lignina	6.39 %	4.28 %
Cenizas	6.64 %	13.20 %

Fuente: (Casa, 2018).

De acuerdo a la tabla 6 se puede observar la diferencia en la composición química del tallo de caña de azúcar y maíz blanco, en la cual presentan porcentajes similares de celulosa entre 38-50% y 36,05% para el tallo de caña de azúcar y maíz blanco respectivamente, de igual forma en la hemicelulosa se puede observar una similitud en los porcentajes, sin embargo, existe un menor porcentaje de lignina (6,39%) en el tallo de maíz en comparación al tallo de caña de azúcar (15-30%) por lo que resulta más fácil de degradar, por el contrario, existe mayor porcentaje de azúcares solubles y proteína y una leve diferencia de fibra de 22% y 29,5%.

Tabla 6. ***Composición química del tallo de caña de azúcar y maíz blanco.***

Componentes	Tallo de caña de azúcar	Tallo de maíz blanco
Celulosa	38-50%	36.05 %
Hemicelulosa	17-32%	24.59 %
Lignina	15-30%	6.39 %
Cenizas	5%	6.64 %
Proteína	2%	7,6%
Azúcares solubles	10-16%	31%
Fibra	22%	29,5%

Fuente: (Casa, 2018; Chandler et al, 2012).

4.2. DESCRIPCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL.

SACARIFICACIÓN Y FERMENTACIÓN SIMULTÁNEAS (SFS).

La sacarificación y la fermentación simultanea que es una técnica que trabaja con residuos agrícolas y madereros que se puede utilizar para la obtención de etanol de segunda generación que proviene de material lignocelulósico, esta técnica consiste en realizar dos operaciones conjuntamente en un solo reactor que son la sacarificación y fermentación dando lugar a la liberación de los azúcares simples para que posteriormente las levaduras actúen sobre ellos metabolizándolos obteniendo finalmente el etanol como se observa en la figura 3 (Equihua, 2013).

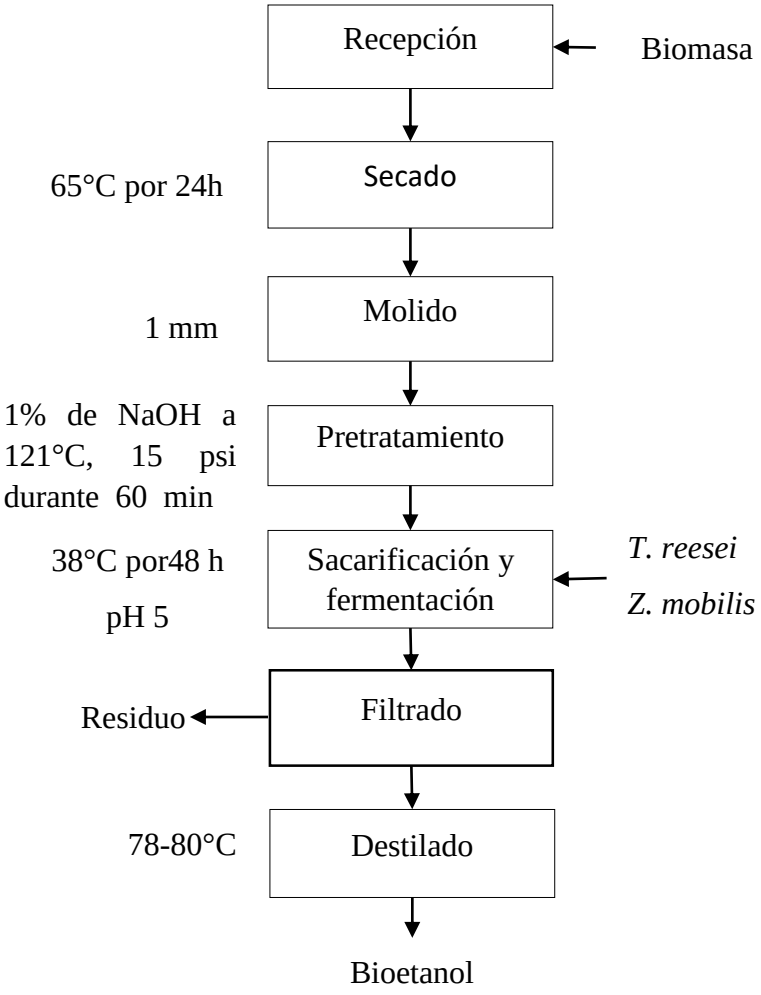


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de Sacarificación y Fermentación Simultanea (SFS).

Fuente: (Equihua, 2013).

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO:

El proceso empieza con la recolección del material lignocelulósico sometiéndolo a un secado de 65°C por 24 horas para pasar a un molino y reducir el tamaño de la partícula a un 1 mm, el material se trató con hidróxido de sodio al 1% con una temperatura de 121°C y una presión de 15 psi durante 60 minutos este pretratamiento rompe la lignina en un 88% y disminuye la cristalinidad de la celulosa, posteriormente pasa a un reactor a una temperatura de 38°C y un pH de 5 son las condiciones óptimas para añadir el sustrato y el inoculo *(Z. mobilis)* con una carga de sustrato de 13% y una carga enzimática (*T. reesei*) de 0.5 ml/g, el tiempo de fermentación es de 48 horas y una agitación de 125 rpm, se filtran los residuos y el etanol más agua sufren una destilación (78-80°C) y se obtiene un rendimiento del 85% en la obtención de bioetanol (Equihua, 2013).

HIDROLISIS CON ÁCIDO DILUIDO, NEUTRALIZACIÓN Y FERMENTACIÓN

La tecnología trasforma los residuos agrícolas y orgánicos en azúcares fermentables para la producción de bioetanol de manera que el proceso se caracteriza por la utilización de ácido y su neutralización para poder regular el pH para su posterior fermentación y finalmente su destilación (Morales, 2015; Romero, 2003).

DESCRPCION DEL PROCESO

El proceso empieza con la recepción del material lignocelulósico donde se retiran impurezas para luego pasar a un secado que se realiza por 96 horas a 30°C la muestra se trituraron en un molino de acero inoxidable hasta convertirlo en semi polvo, el pretratamiento se realizó con ácido sulfúrico al 5% a una temperatura de 121°C durante 30 minutos para que se produzca la deslignificación, luego se neutralizo el ácido con hidróxido de sodio al 1% y agua destilada para pasar al hidrólisis enzimática que se lo realiza con la enzima comercial Termamyl a una temperatura de 45°C durante 30 minutos, en la fermentación se realiza con la levadura S. cerevisiae a 30°C durante cinco días donde se trasforma a alcohol las muestra se filtra y pasa un destilador a 80°C (figura 4) donde se separa el agua del etanol con un rendimiento del 78% en la obtención de etanol. (Braide, Kanu, Oranusi, & Adeleye, 2016)

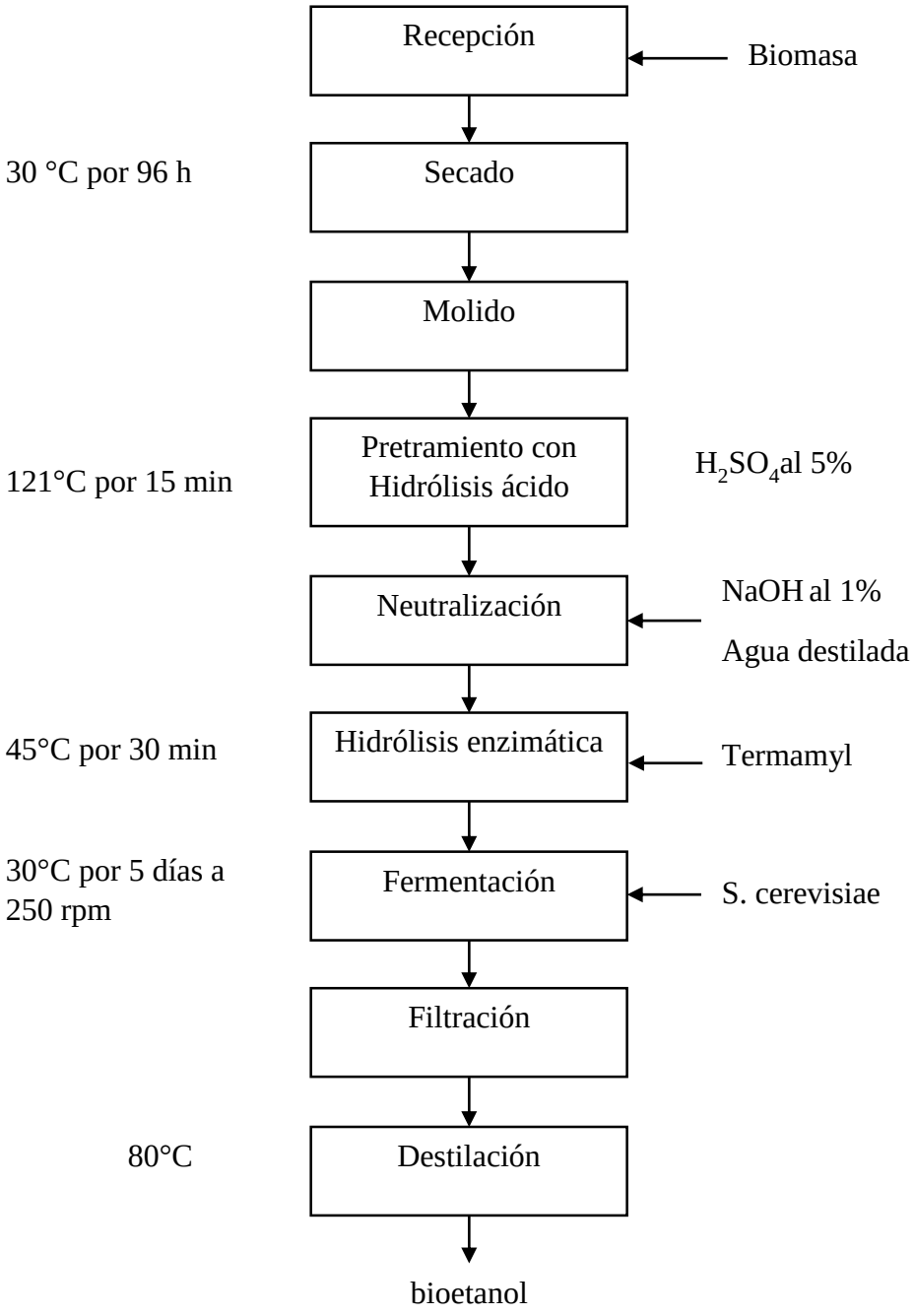


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso hidrólisis con ácido diluido, neutralización y fermentación.

Fuente: (Ojeda, Ávila, Suárez, & Kafarov, 2011; Braide, Kanu, Oranusi, & Adeleye, 2016).

HIDROLISIS CON ÁCIDO CONCENTRADO, RECUPERACIÓN DEL ÁCIDO Y FERMENTACIÓN.

Se considera como una de las primeras técnicas por la utilización de ácidos concentrados, idóneos para degradar la estructura cristalina de la celulosa y hemicelulosa empleando temperaturas y presiones moderadas que evitan la formación de sustancias que inhiben la fermentación, el proceso se caracteriza por la reutilización del ácido mediante una columna de separación cromatografía que elimina el ácido diluido y lo recircula al proceso (figura 5) (Castillo & Velásquez, 2018; Olivia, 2003).

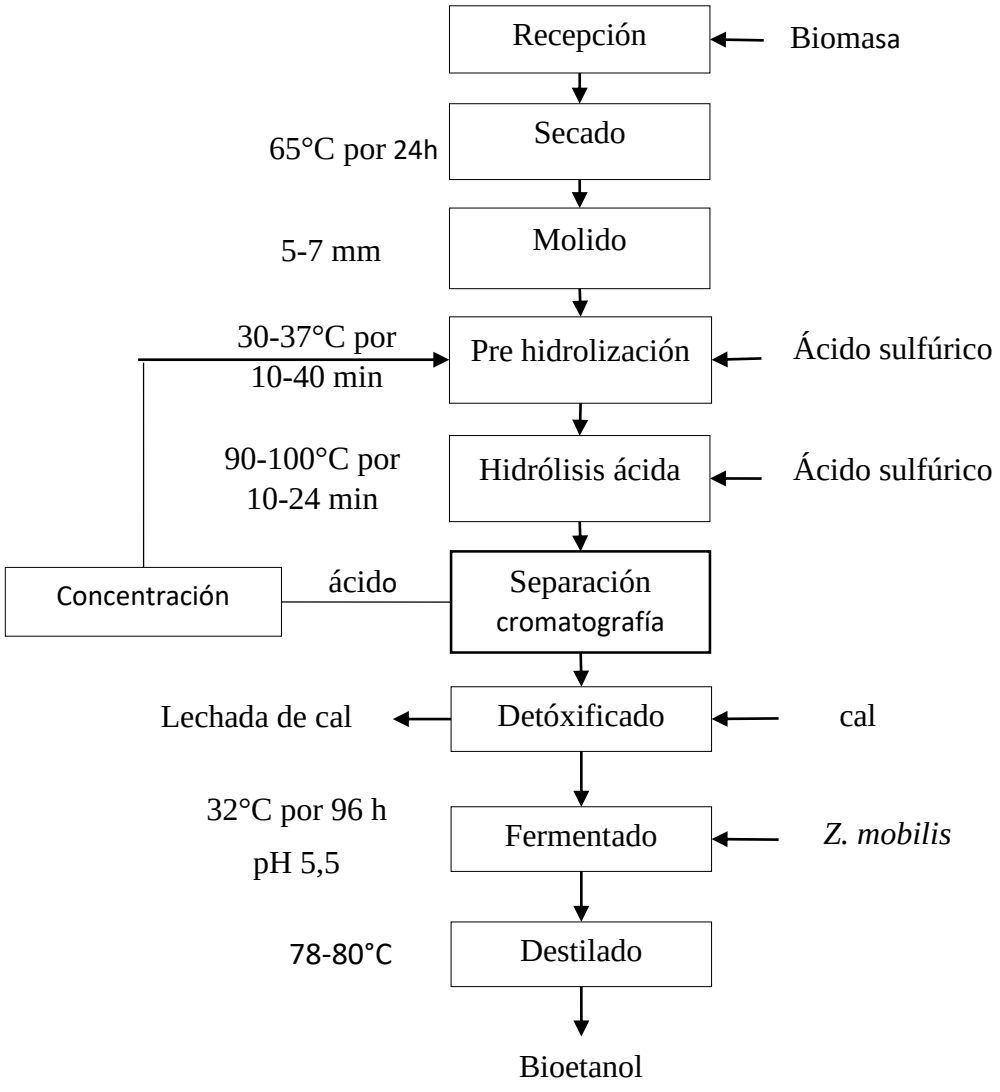


Figura 5.Diagrama de flujo del proceso hidrólisis con ácido concentrado, recuperación del ácido y fermentación.

Fuente: (Parsons & Banqueth, 2004; Romero, 2003).

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO:

La biomasa recolectada es secada y molida a una temperatura de 65°C por 24 horas y un tamaño de la partícula de 5 a 7 mm respectivamente, luego pasa al pre hidrolizado donde se trata con ácido sulfúrico (concentración del ácido 75-80%) con una temperatura de 30 a 37°C y un tiempo de reacción de 10 a 40 minutos la materia resultante se lleva a un reactor para su hidrolisis con una temperatura de 90 a 100°C y una concentración del ácido del 10 a 20% con un tiempo de reacción de 10 a 24 minutos la solución se filtra y traslada a un separador de cromatografía donde el ácido se recupera en un 90% para su recirculación y el líquido azucarado se lo somete a una detoxificación con cal con un 2.5% (p/v), para luego fermentar adicionando levadura *(Z. mobilis)* con una temperatura de 32°C, pH 5,5 y un tiempo de 96 horas para su fermentación finalmente se realiza una destilación para su purificación y consta de rendimientos del alrededor del 84% (Parsons & Banqueth, 2004; Romero, 2003).

ROMPIMIENTO CON AMONIACO, HIDROLISIS ENZIMÁTICA Y FERMENTACIÓN

En la figura 6 se observa el proceso de explosión de fibra con amoniaco también llamado AFEX es un pretratamiento físico- químico el cual se realiza con una escala de relación 1:1 amoníaco-biomasa, donde la biomasa al tener contacto con el amoniaco provoca un hinchamiento dando lugar a una ruptura de las fibras del material lignocelulósico. (Forero, 2018).

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La biomasa es sometida a una molienda con la finalidad de disminuir el tamaño a 1 mm para realizar un secado a 65°C por 24 horas, esta tecnología consiste en utilizar 1 a 2 kg de amoniaco por 1 kg de biomasa por un tiempo de 30 minutos a 90°C (Quintero, 2009). En la etapa de pretratamiento se hincha la lignocelulosa debido a que el amoniaco penetra las fibras de la biomasa, los enlaces lignina- carbohidrato se rompen, la hemicelulosa se hidroliza y se logra la descristalización de la celulosa, pero no se logra una eliminación total de la lignina (Alvarez, 2018). El amoniaco utilizado se almacena para posteriormente ser reutilizado. Una vez pre tratada la biomasa no es necesario optimizar el pH, sin embargo, debe encontrarse a una temperatura de 50°C para realizar la hidrólisis enzimática mismas que son producidas por enzimas celulasas logrando degradar la celulosa a azúcares fermentables. En la siguiente etapa que es la fermentación

se lo realiza a una temperatura de 30°C por 72 h empleando la levadura *S. cerevisiae*, presentando un rendimiento del 75% para la obtención de bioetanol. (Krishnan et al, 2010).

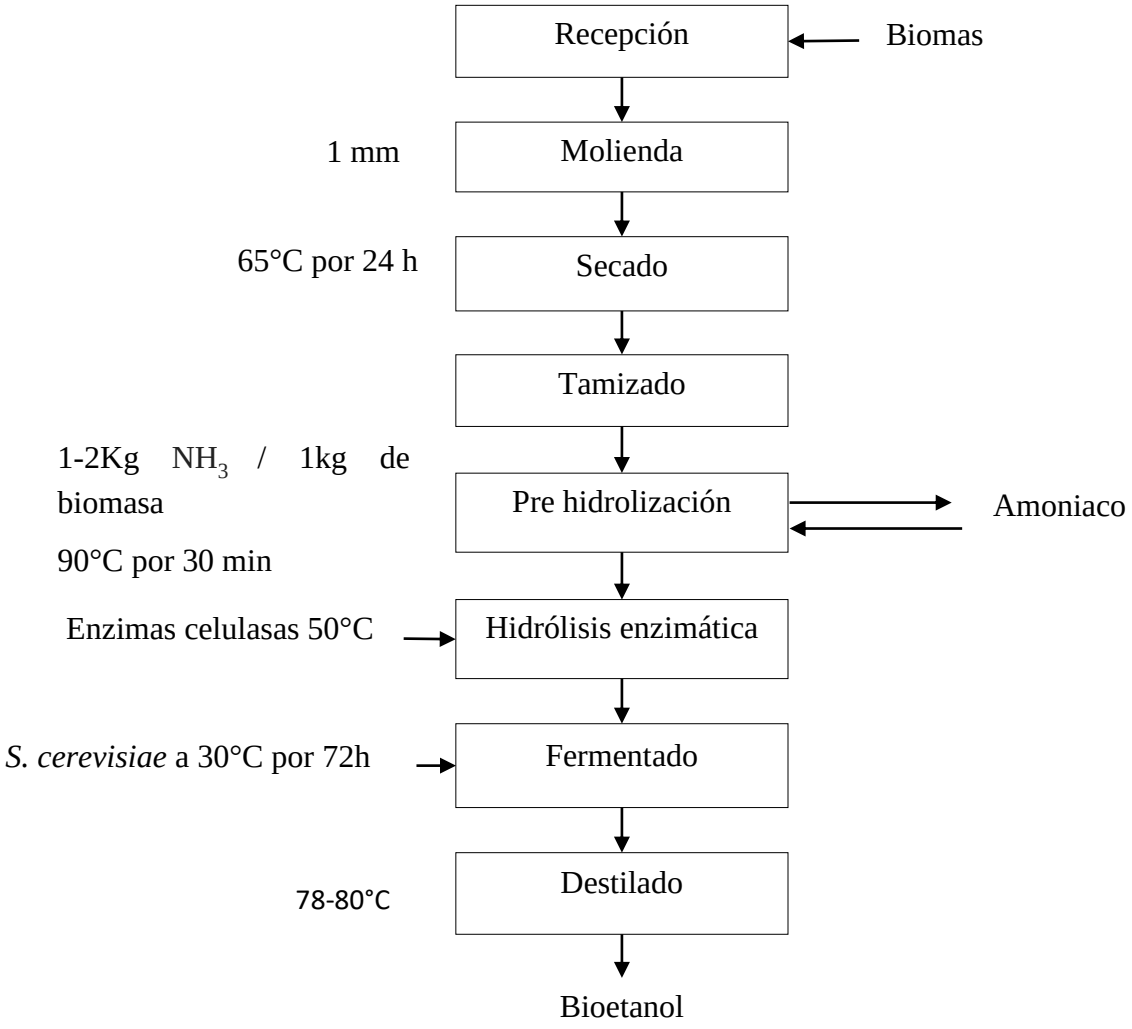


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso Rompimiento con amoniaco, hidrólisis enzimática y fermentación.

Fuente: (Alvarez, 2018; Parsons & Banqueth, 2004).

EXTRACCIÓN CON ACETONA ACIDIFICADA, HIDROLISIS Y FERMENTACIÓN.

El método ACOS (figura 7) es un pretratamiento que consiste en la utilización de acetona para lograr una deslignificación para ello se trabaja a temperaturas y presiones altas, para posteriormente efectuar un hidrolisis mediante la mezcla de celulosa y hemicelulosa. Al aplicar este método no produce inhibidores para la fermentación y presenta un rendimiento favorable para la obtención de bioetanol. (Araque, 2008).

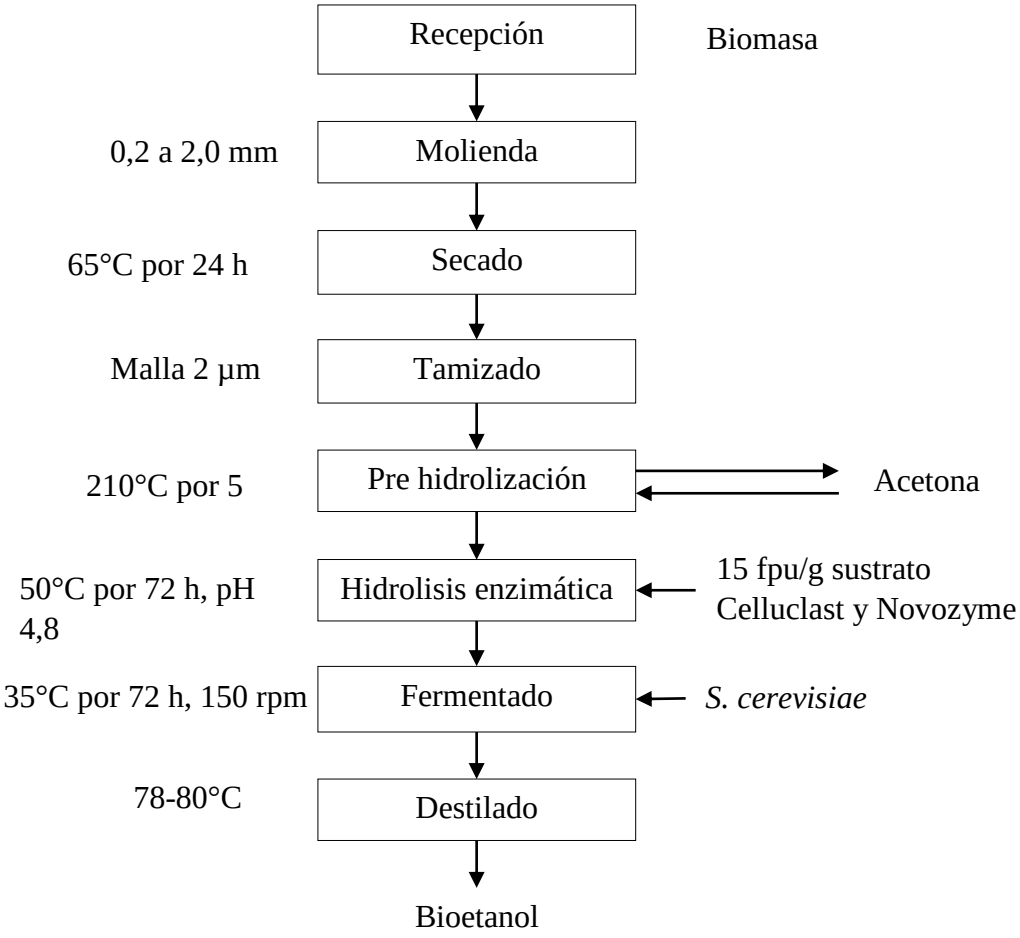


Figura 7. Diagrama de flujo del proceso Extracción con acetona acidificada, hidrolisis y fermentación.

Fuente: (Parsons & Banqueth, 2004).

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO:

Esta tecnología consiste en transformar la biomasa en partículas pequeñas 0,2 a 2,0 mm mediante una molienda y un secado para realizar el tamizado eliminando cualquier material extraño. En la etapa del pretratamiento comprende una primera hidrólisis, para lograr la extracción de la lignina presente en el bagazo, por sometimiento del material a una corriente de acetona concentrada con una pequeña cantidad de ácido, a temperaturas cercanas a 210°C el tiempo de residencia es de 5 minutos. En esta etapa se obtiene una mezcla de acetona y lignina la cual se destila eliminando la lignina y la acetona para ser nuevamente reutilizada. Posteriormente se realiza la hidrólisis a 50°C por 72 horas obteniendo azucares reductores a partir de la celulosa y hemicelulosa, en la fermentación se utilizó levaduras *S. cerevisiae* recombinada mismas que transforman la xilosa y glucosa a bioetanol, finalmente en la etapa de destilación se separa el bioetanol de los residuos obteniendo un rendimiento del 88%. (Araque, 2008; Abril & Navarro, 2012).

PRETRATAMIENTO CON LÍQUIDOS IONIZANTES, HIDROLISIS ENZIMÁTICA Y FERMENTACIÓN.

Los líquidos ionizantes o solventes verdes llamados así por su estabilidad térmica, tienen la capacidad de degradar polímeros presentes en los materiales lignocelulósico, mediante la adición de anti solventes permite la recuperación de la celulosa logrando en la hidrólisis una mayor liberación de azúcares y altos rendimientos en la fermentación (figura 8). (Juri, 2011).

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso empieza con la recolección de la biomasa que es sometida a una molienda y secado a 48°C por 24 horas y un tamizado en una malla de 3 mm, posteriormente la biomasa sufre un prehidrolizado con líquidos ionizantes (1-etil-3-metilimidazolio) en una escala 1:20 a una temperatura de 150°C mediante 30 minutos, con rendimientos de 22-54% de xilosa y glucosa respectivamente, luego el material se filtra con agua destilada para separar la parte solida de la liquida de esta manera se genera un lavado a la masa, de esta manera la biomasa pasa a la hidrolisis enzimática donde se utiliza *T. reesei* para la degradación de la celulosa a una temperatura de 50°C y un tiempo de 72 horas con una agitación de 150 rpm donde la eficiencia en la obtención de azucares reductores es del 80% en la fermentación se realiza con *S. cervisae* con una temperatura

de 32°C y un tiempo de 96 horas, finalmente se destila separando el agua del producto y se obtiene un rendimiento del 86% en la obtención de bioetanol. (Cortínez, 2010; Juri, 2011).

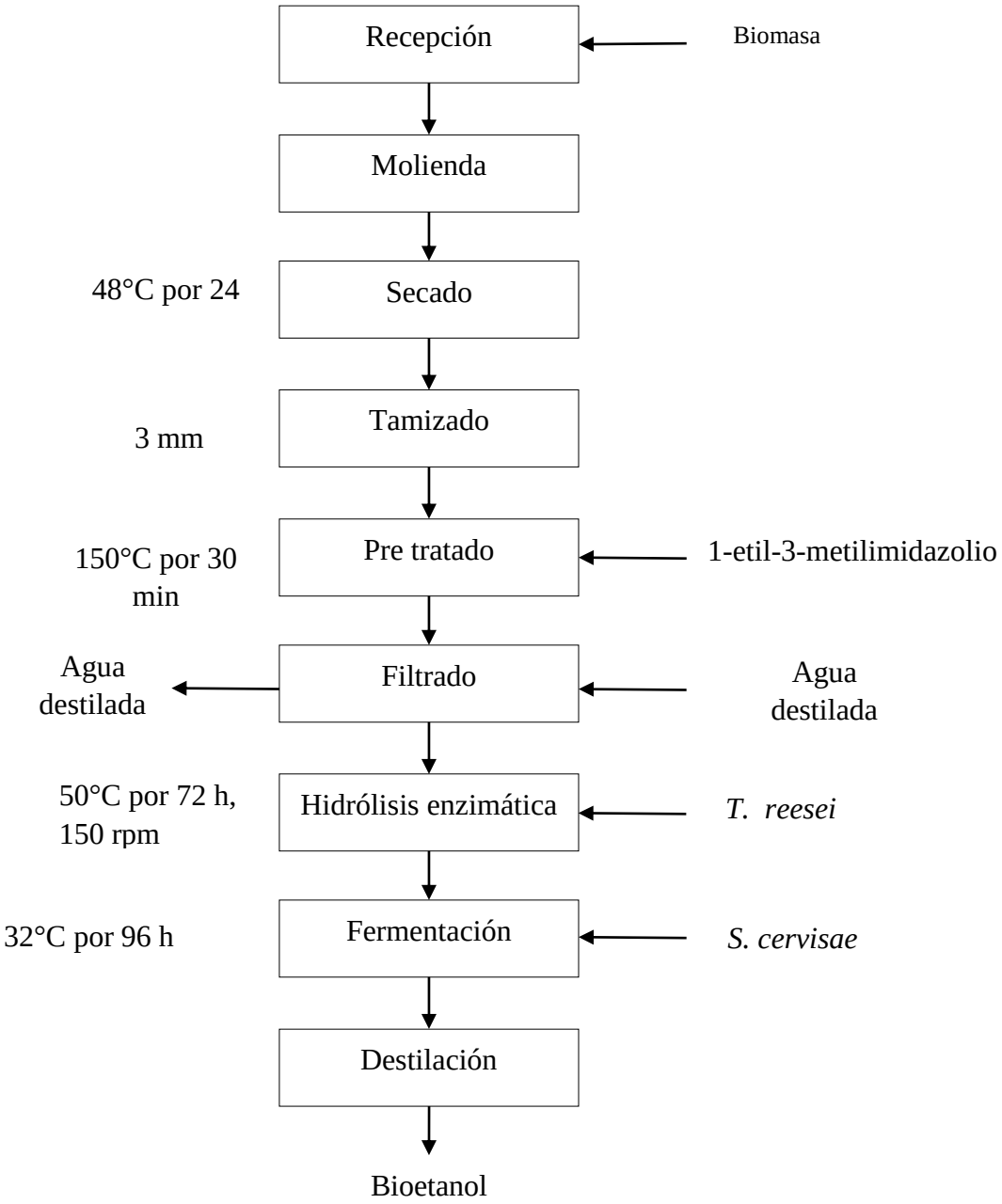


Figura 8. Diagrama de flujo del proceso Pretratamiento con líquidos ionizantes, hidrolisis enzimática y fermentación.

Fuente: (Cortínez, 2010; Juri, 2011).

EXPLOSIÓN CON VAPOR, HIDROLISIS ENZIMÁTICA, DETOXIFICACIÓN Y FERMENTACIÓN.

El pretratamiento de explosión con vapor se realiza a temperaturas altas con cortos tiempos de exposición obteniendo una biomasa más accesible para su hidrólisis, sin embargo, producen compuestos inhibidores siendo necesario realizar una detoxificación de esta manera evita la formación de sustancias en proceso de fermentación aumentado el rendimiento en la producción de bioetanol (figura 9). (Guntiñas , 2014).

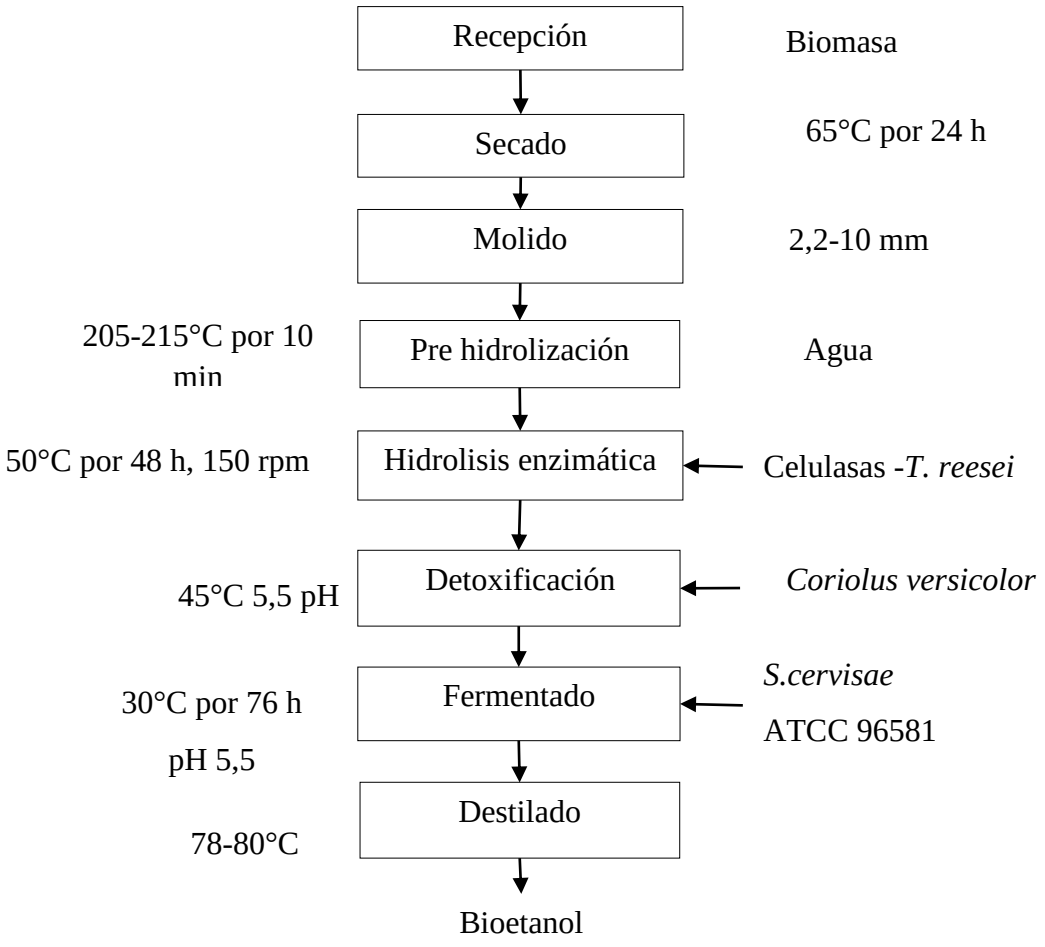


Figura 9. Diagrama de flujo del proceso Explosión con vapor, hidrolisis enzimática, detoxificación y fermentación.

Fuente: (Martín, Galbe, Wahlbom, Hahn, & Jonsson, 2002).

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La tecnología empieza con la recolección de la biomasa donde en el acondicionamiento es secado a 65°C por 24 horas, pasa a un molido para reducir la partícula de 2,2-10 mm, el material se sometió a una explosión con vapor con una temperatura de 205-215°C y un tiempo de 10 minutos, en el hidrólisis se utilizan celulasas de *T. reesei* con una temperatura de 50°C y un tiempo de 48 horas y una agitación de 150 rpm, se filtran los residuos para realizar una detoxificación biológica con fenoloxidasa lacasa de *Coriolus versicolor* con una temperatura de 42°C, pH 5,5 de esta manera se eliminan inhibidores en un 80% de compuestos fenólicos, ácido acético, furfural y 5-hidroxi-metil-furfural, para la fermentación se realizó con una levadura modificada *S. cerevisiae ATCC 96581* (30°C por 76 h, pH de 5,5) luego pasa a un destilado, tiene un rendimiento en la obtención de bioetanol del 85%. (Martín, Galbe, Wahlbom, Hahn, & Jonsson, 2002).

TECNOLOGÍAS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

Para la obtención de bioetanol se describieron las ventajas y desventajas que ocurre durante el acondicionamiento, pretratamiento, hidrolisis, fermentación y destilación de cada una de las tecnologías mencionadas en el epígrafe 4.1. Esto se realizó mediante tablas para su mejor comprensión como se observa en la tabla 7.

Tabla 7. *Tecnologías para la obtención de bioetanol ventajas, desventajas, rendimiento y condiciones de operación.*

Tecnologías	**Ventajas**	**Desventajas**	**Rendimiento**	**Condiciones de operación**	**Referencias**
Sacarificación y fermentación simultáneas (SFS)	Minimiza el efecto inhibitorio del azúcar sobre la enzima. Reducción de costos.	Baja tolerancia de la levadura a la temperatura y al etanol. En el pretratamiento es más eficaz para biomasas con bajo contenido de lignina.	85%	Tamaño 1mm. Secado 65°C por 24 h. Pretratamiento 1 % de NaOH a 121°C, 15 psi durante 60 min. Sacarificación y fermentación a 38°C por 48h con un pH 5. Destilación 78-80 °C	(Parsons & Banqueth, 2004). (Forero, 2018).

Hidrolisis con ácido diluido, neutralización y fermentación.	Altera la estructura de la lignina. Trabaja a moderadas temperaturas	Forma inhibidores para la fermentación. Mayor tiempo del proceso.	78%	Secado 30°C por 96 h. Reducción de partícula semi polvo Hidrolisis ácida 5% H_2SO_4 ,121°C por 15 min Neutralización NaOH 1%, Hidrólisis enzimática 45°C por 30 min. Fermentación 30°C por 5 días Destilación 80°C.	(Ojeda, Ávila, Suárez, & Kafarov, 2011). (Braide, Kanu, Oranusi, & Adeleye, 2016).
Hidrolisis con ácido concentrado, recuperación del ácido y fermentación.	Bajas temperaturas. Altos rendimientos.	Alto consumo de ácido. Costo de producción altos. Mayor tiempo de reacción. Formación de inhibidores. Degradación de azucares.	84%	Secado 65°C por24h. Tamaño 5-7 mm. Pre hidrolizado H_2SO_4 30-37°C por 10-40 min. Hidrolizado 90-100°C por 10-24 min. Fermentación 32°C por 96h, pH 5,5. Destilación 78-80°C.	(Lacerda, 2015).

Rompimiento con amoniaco, hidrolisis enzimática y fermentación.	Aumenta la digestibilidad. No produce inhibidores.	En biomasas con alto contenido de lignina no es apto. Requiere recuperación del amoniaco.	75%	Tamaño 1mm. Secado a 65°C por 24h. Pre hidrolizado 1-2 kg NH3/1kg de biomasa a 90°C por 30 min, 140-180 psi. Hidrolisis 50°C. Fermentación 30°C por 72 h Destilación 78-80°C.	(Parsons & Banqueth, 2004). (Sánchez, Gutiérrez, Muños, & Rivera, 2010).
Extracción con acetona acidificada, hidrolisis y fermentación.	Extracción de la lignina.	Altos costos requieren la recuperación de acetona.	88%	Tamaño 0,2 a 2,0 mm. Secado 65°C por 24 h. Pre hidrolizado 210°C por 5 min. Hidrólisis 50°C por 72 h, pH 4,8. Fermentación 35°C por 72 h, 150 rpm. Destilación 78-80°C.	(Morales, 2015).

Pretratamiento con líquidos ionizantes, hidrolisis enzimática y fermentación.	Reduce la cristalinidad de la celulosa y contenido de lignina. Rendimiento de los azucares fermentables aumenta.	Los líquidos Iónicos presentan altos costos. Recuperación de ionizantes en un 98% para ser rentable.	86%	Secado 48°C por 24 h, tamaño de partícula 3 mm, Pretratamiento con liquido ionizante 150°C por 30 min hidrolisis enzimática 50°C por 72 h, 150 rpm, fermentación 32°C por 96 h.	(Martín, Galbe, Wahlbom, Hahn, & Jonsson, 2002) (Morales, 2015).
Explosión con vapor, hidrolisis enzimática, detoxificación y fermentación.	Elimina compuestos inhibidores (fenólicos, ácido acético, furfural y 5-hidroxi-metil-furfural).	Costos elevados. Mayor tiempo de exposición. Perdida de xilanos. Degradación incompleta de lignina.	85%	Secado a 65°C por 24 h, partícula 2,2-10 mm, prehidrolizado con agua 205-215°C por 10 min, hidrolisis 50°C por 48 h, 150 rpm, fermentación 30°C por 76 h pH 5,5	(Martín, Galbe, Wahlbom, Hahn, & Jonsson, 2002).

4.3. SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Las investigaciones realizadas sobre las tecnologías para la obtención de bioetanol permitieron identificar cinco operaciones fundamentales que son: acondicionamiento, pretratamiento, hidrolisis, fermentación y destilación, estos procesos pueden ser modificados de acuerdo al tipo de biomasa que se va a utilizar (como se puede observar en el epígrafe 2.3) para mejorar rendimientos en la obtención de bioetanol.

Para la selección de la tecnología se tomaron en cuenta factores como condiciones de operación, donde la temperatura hasta 100°C se considera como bajas y de 150°C en adelante altas. Al trabajar con una menor temperatura menor es el impacto ambiental, pero al utilizar ácido sulfúrico en concentraciones del 30-70% a bajas temperaturas provoca corrosión en los equipos y su manipulación es peligrosa mientras que al utilizar ácido diluido a bajas concentraciones y altas temperaturas requiere un mayor gasto energético, el tiempo es otra de las condiciones de operación que se tomó en cuenta, las tecnologías descritas tienen un rango de fermentación de 48 a 120 horas donde los azúcares se transforma a bioetanol. Otro factor a tomar en cuenta fue la adquisición de reactivos ya que algunas sustancias son controladas como la acetona, otras requieren altas concentraciones en el proceso siendo necesario la recuperación y presentan altos costos.

La selección se realizó mediante la investigación de tecnologías para la obtención de bioetanol descritas en el epígrafe 4.2, se analizó las tablas 6 y 7 donde se describen la composición química del bagazo de caña de azúcar y maíz blanco respectivamente, ventajas, desventajas y condiciones de operación de cada una de las tecnologías y de acuerdo a los parámetros mencionados en el anterior párrafo, siendo la tecnología seleccionada la sacarificación y fermentación simultanea (SFS), la que permite un mayor rompimiento de enlaces de lignina y disminución de la cristalinidad de la celulosa luego de realizar un pretratamiento con hidróxido de sodio al 1%, no produce sustancias inhibidoras para la fermentación, además requiere menor consumo energético y bajos costos en equipamiento debido a que la (SFS) se lo realiza en un mismo reactor y presenta un 85% de rendimiento en la obtención de bioetanol.

CONCLUSIONES

- La biomasa lignocelulósica de la caña de azúcar *(Saccharum officinarum)* y maíz blanco *(Zea mays L.)* está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina, el bagazo de caña de azúcar presenta mayor cantidad de lignina 15%-30%, mientras que el maíz blanco tiene un promedio del 5% en sus tallo y hojas, en la hemicelulosa presentan valores 17-32% para la caña de azúcar y 24,59% para el maíz blanco, la celulosa en la caña de azúcar tiene un rango de 38-50% mientras que para el maíz tiene un 36,05%.
- Las tecnologías para la obtención de bioetanol a partir de residuos lignocelulósico son: Sacarificación y Fermentación Simultanea, Hidrólisis con ácido diluido, neutralización y fermentación, Hidrólisis con ácido concentrado, recuperación del ácido y fermentación, rompimiento con amoníaco, hidrólisis enzimática y fermentación, Extracción con acetona acidificada, hidrólisis y fermentación, Pretratamiento con líquidos ionizantes, hidrolisis enzimática y fermentación y Explosión con vapor, hidrólisis enzimática, detoxificación y fermentación.
- En base a las tecnologías analizadas, de acuerdo a la composición del material lignocelulósico de la caña de azúcar y maíz blanco y criterios técnicos se seleccionó la Sacarificación y Fermentación Simultanea ya que trabaja a temperaturas bajas (evitando la degradación de los compuestos azucarados), mayor separación de lignina, evita la formación de inhibidores en el pretratamiento, requiere de un tiempo de 48 horas en la fermentación con un rendimiento 85% en la obtención de bioetanol.

RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones de la composición química de los residuos de bagazo de caña y maíz blanco de las variedades existentes en Pastaza y Tungurahua.
- Realizar un estudio económico sobre la obtención de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos de esta manera promover la inversión gubernamental y privada.
- Analizar nuevas fuentes de residuos lignocelulósicos para la obtención de bioetanol presentes en las provincias de Pastaza y Tungurahua.

REFERENCIAS

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

Alvarez, C. (2018). Producción de etanol como biocombustible a partir de residuos vegetales no alimenticios. *(Tesis de grado).* Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico.

Amaya, A., Cock, J., Hernández, A., & Irvine, J. (1995). Morfologia de la caña de azúcar. En A. Amaya, & (cords.), *Cultivo de caña en la zona azúcarera de Colombia* (págs. 31-62). Cali: CENICAÑA.

Anju, A., Preeti, N., Jatinder, S., & Madan, V. (2020). Nanobiotechnological advancements in lignocellulosic biomass pretreatment. *Materials Science for Energy Technologies, 3*, 308-318. Obtenido de https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2589299120300021?token=E5482BF91CEF1D56AE05398543ACC2594A2867D72694313B417D31F19F7E545D98D644907B245A07E801BCA138087E63

Araque, E. (2008). Obtencion de bioetanol a partir de Pinus radiata D. Don. *(Tesis de posgrado).* Universidad de Concepción, Concepción- Chile.

Arauzo, J., Bimbela, F., Ábrego, J., Sánchez, J., & Gonzalo, A. (2014). Introducción a las tecnologías de aprovechamiento de biomasa. *Boletín del Grupo Español del Carbón*(33), 1-6. Obtenido de https://digital.csic.es/bitstream/10261/108763/1/BoletinGEC_033-A01.pdf

ASOCAP. (s.f.). *Agroindustria panelera en la provincia de Pastaza-Ecuador*. Obtenido de panelamonitor.org: http://www.panelamonitor.org/media/docrepo/document/files/agroindustria-panelera-en-la-provincia-de-pastaza-ecuador.pdf

Ávila, I. (2011). El aguardiente de caña, procesos y tradicion en el Valle de Yunguilla. *(Tesis de grado).* Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Balarezo, D. (2014). Investigacion del maíz blanco (shima) en la parroquia Rivera del cantón Azogues, provincia del Cañar y propuesta gastronómica. *(tesis de grado).* Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador. Obtenido de https://docplayer.es/85071600-Universidad-tecnologica-equinoccial.html

Barroso, M. (2010). Pretratamiento De Biomasa Celulosica Para La Obtención De Etanol En El Marco De Una Biorrefineria. *(Tesis de grado).* Universidad Politecnica de Madrid, Madrid.

Borja , M., & Caviedes, M. (2013). Evaluación de dos siclos de producción de semilla en dos variedades de maíz morado (Zea mays L.) en Tumbaco-Pichincha. *ACI, 5*(2), 61-66. Obtenido de https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019E%26ES..250a2071P/abstract

Braide, W., Kanu, A., Oranusi, S., & Adeleye, A. (2016). Production of bioethanol from agricultural waste. *Journal of Fundamental and Applied Sciences, 8*(2), 372-386. Obtenido de https://www.ajol.info/index.php/jfas/article/view/135284

Canilha, L., Kumar, A., Santos , T., Fernandes, F., Costa, L., Almeida, M., & Silva, S. (2012). Bioconversion of Sugarcane Biomass into Ethanol: An Overview about Composition, Pretreatment Methods, Detoxification of Hydrolysates, Enzymatic Saccharification, and Ethanol Fermentation. *Journal of Biomedicine and Biotechnology, 1*, 1-16. Obtenido de https://www.hindawi.com/journals/bmri/2012/989572/?fbclid=IwAR0LnHOeRApG7oMqaKhi36L6c4-HEGdEFppbU4yHsdCDEVCtfG0ehrFLchQ

Casa, E. (2018). Evaluación del potencial de producción de bioetanol de la biomasa lignocelulosica de la caña de maíz por hidrólisis ácida. *(Tesis de grado).* Universidad Central del Ecuador, Quito.

Castillo, C., & Velásquez, M. (2018). Efecto del pretratamiento con ácido sulfúrico diluido sobre la hidrólisis enzimática del Panicum maximum. *Biotecnologia en el sector agropecuario y agroindustrial, 16*(1), 1-12. Obtenido de http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v16n1/1692-3561-bsaa-16-01-00068.pdf?fbclid=IwAR2LtB40Jyf2VIdIm8exjsZ8eFC0FFz1TTiS0aWiCXvOC4QdUQ4DJXxvIVM

Castro, C., Beltrán, L., & Ortiz, J. (2012). Producción De Biodiesel Y Bioetanol: ¿Una Alternativa Sustentable a La Crisis Energética? *Ra Ximhai, 8*(3), 93-100. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/461/46125177010.pdf

Chandler, C., Villalobos , N., González, E., Arenas, E., Mármol, Z., Rios, J., & Aiello, C. (2012). Hidrólisis ácida diluida en dos etapas de bagazo de caña de azúcar para la producción de azúcares fermentables. *Multiciencias, 12*(3), 243-253. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/904/90426810002.pdf

Chandraraj, K., Leonardo, C., Mingjie, J., Linpei, C., Bruce, D., & Venkatesh, B. (2010). Alkali-based AFEX pretreatment for the conversion of sugarcane bagasse and cane leaf residues to ethanol. *Biotechnology and Bioengineering, 107*(3), 441-450. Obtenido de https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20521302/

Chulde, S., & Portillo, M. (2014). Determinacion del efecto de la harina de bagazo de caña y rastrojo de maíz en bloques nutricionales en la alimentacion de conejos (Oryctolagus cuniculus) en la etapa de engorde granja la Pradera- Chaltura, cantón Antonio Ante. *(Tesis de grado).* Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.

Cobeña, J., & Loor, I. (2016). Caracterización Fisico-Química Del Jugo De Cinco Variedades De Caña De Azúcar (Saccharum officinarum) En La Hacienda El Jardín. *(Tesis de grado).* Escuela Superior Politécnica, Calceta.

Coral, J. (2017). Caracterización morfológica y agronómica de dos genotipos de maíz (Zea mays L.) en la zona media de la parroquia Malchinguí. *(Tesis de grado).* Universidad Central del Ecuador, Quito.

Cortes Ortiz, W. G. (2014). Tratamientos aplicables a materiales lignocelulósicos para la obtencion de etanol y productos químicos. *Revista de tecnología, 13*(1), 39-44. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6041572&fbclid=IwAR2VZH8xShNCCrILPY79zGfFMSV2B8Wcg-CjMkdRf-2zmqLoscwal72lTCI

Cortes, W. (2011). Materiales Lignocelulosicos Como Fuente De Biocombustibles Y Productos Químicos. *Ciencia y Tecnología Aeronáutica, 16*, 41-46. Obtenido de https://publicacionesfac.com/index.php/TecnoESUFA/article/view/366/486

Cortínez, V. (2010). Comparación De Pretratamientos En Residuos Forestales Para La Producción De Bioetanol De Segunda Generación: Hidrólisis Ácida Y Líquidos Iónicos. *(Tesis de grado).* Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Cuaspud, O. (2017). Obtención de bioetanol a partir de tallos de maíz. *(Tesis de posgrado).* Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Eisenhuber, K., Jager, A., Wimberger, J., & Kahr, H. (2013). Comparison of different pretreatment methods for straw for lignocellulosic bioethanol production. *Energy Procedia, 11*(1), 173-182. Obtenido de https://agronomy.emu.ee/vol111/p11123.pdf?fbclid=IwAR0fQG24wKRz-Oj_eGHpmIi6UUi0WF7tG2HW0TBd5N6YB6haHUOIZKRKOTU

Equihua, M. (2013). Obtención de etanol por sacarificación y fermentación simultáneas a partir de la biomasa lignocelulósica de tallos de sorgo dulce. *(Tesis de posgrado).* Centro de investigación científica de Yucatán, A.C., Mérida Yucatán.

Forero, Á. (2018). Revisión de los pretratamientos ácido diluido, alcalino y afex aplicados a diferentes tipos de biomasas. *(Tesis de posgrado).* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Guacho, E. (2014). Caracterización agro-morfologica del maíz (Zea mays L.) de la localidad de Chazo. *(Tesis de grado).* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador.

Guntiñas , L. (2014). Detoxificación del licor gastado al sulfito ácido mediante intercambio iónico y adsorción. *(Tesis de grado).* Universidad de Cantabria, Cantabria.

Herguedas , A., & Peso, C. (2012). Materias primas. En A. Herguedas, & E. Rodríguez, *Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad* (Vol. 13, págs. 1-12). Madrid: Centro Tec.

INEC. (2016). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua*. Obtenido de ecuadorencifras.gob.ec: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2016/Presentacion%20ESPAC%202016.pdf?fbclid=IwAR0ATZOWpSkdHjXVvg6ivjUhU6AUn_UF-eEggeZJ2z29fSKWEXw7Qagpr5E

Juri Awad , S. A. (2011). Sacarificacion y fermentación simultanea para la producción de bioetanol de segunda generacion, mediante pretratamientos alternativos: líquidos iónicos reciclados y hongos de pudrición blanca. *(Tesis de grado).* Universidad de Chile, Santiago de Chile. Obtenido de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-juri_sa/pdfAmont/cf-juri_sa.pdf

Juri, S. (2011). Sacarificacion y fermentación simultanea para la producción de bioetanol de segunda generacion, mediante pretratamientos alternativos: líquidos iónicos reciclados y hongos de pudrición blanca. *(Tesis de grado).* Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Krishnan, C., Costa, L., Jin, M., Chang, L., Dale, B., & Balan, V. (2010). Alkali-based AFEX pretreatment for the conversion of sugarcane bagasse and cane leaf residues to ethanol. *Biotechnology and Bioengineering, 107*(3), 441–450. Obtenido de https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20521302/

Lacerda, V. (2015). Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para la producción de biocombustibles y bioproductos. *(Tesis de doctoral).* Universidad de Valladolid, Valladolid.

Marasca , I., Barbosa, R., Pereira, M., Paz, A., & Pereira, K. (2015). Morfología de la caña de azúcar en la preparación profunda del suelo en canteros. *IDESIA, 33*(4), 23-29. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v33n4/art04.pdf

Mariscal, J. (2011). Evaluación y selección de microorganismos para la producción de etanol a nivel industrial. *(Tesis de posgrado).* Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

Martín, C., Galbe, M., Wahlbom, F., Hahn, B., & Jonsson, L. (2002). Ethanol production from enzymatic hydrolysates of sugarcane bagasse using recombinant xylose-utilising Saccharomyces cerevisiae. *Enzyme and Microbial Technology, 31*(3), 274-282. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141022902001126?fbclid=IwAR1w74uEhd2jfmYZ5DdNBIF2L2xwt6MeRLyIBqImPHAfJXerdHBrZfg2NjA

Montipó, S., Ballesteros, I., Fontana , R., Lui, S., Ballesteros , M., Martins, A., & Camassola, M. (2019). Bioprocessing of rice husk into monosaccharides and the fermentative production of bioethanol and lactate. *Cellulose, 26*, 7309-7322. Obtenido de

https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-019-02571-1?fbclid=IwAR29avALWn-epI5gTceT_wpmQJUlKfSfsfWEXizhC2LW1mzz6ARM-ewXAYc

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

Mulero, P. (2019). Autor : Valorización del residuo sólido resultante de procesos de produccion de biocarburantes de segunda generación. *(Tesis de grado).* Universidad de Valladolid, Valladolid.

Ojeda, K., Ávila, O., Suárez, J., & Kafarov, V. (2011). Evaluation of technological alternatives for process integration of sugarcane bagasse for sustainable biofuels production-Part 1. *Chemical Engineering Research and Design, 89,* 270-279. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263876210001929?via%3Dihub

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

Pagán , J., Rodríguez, R., Reid, B., Bel, M., & Hofman, C. (2015). Early dispersals of maize and other food plants into the Southern Caribbean and Northeastern South America. *Quaternary Science Reviews, 123,* 231-246. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0277379115300445

Palacios , H., Tamayo, M., Terán, H., Velásquez, J., & Vásquez, W. (2019). Comparison of methodologies for determination total humidity in two types of Andean corn (Zea mays L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 250,* 1-8. Obtenido de https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019E%26ES..250a2071P/abstract

Parsons, C., & Banqueth, E. (2004). Diseño de una planta piloto para la producción de etanol a partir del bagazo de caña de azúcar. *(Tesis de grado).* Universidad Industrial De Santander, Bucaramanga.

Patiño, A. (2011). “Evaluacion del rendimiento agroproductivo e industrial de 3 variedades certificadas de caña de azucar (Saccharum officinarum) de origen cubano (C 1051-73, C 8751, C 132-81), frente al testigo variedad cristalina, en la etapa de cosecha. *(Tesis de grado).* Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca-Ecuador.

Quintero, V. (2009). Evaluacion del potencial de producción de bioetanol combustible a partit de biomasa secundaria disponible en la agroindustria azúcarera Colombiana. *(Tesis de posgrado).* Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Rabelo, S., Filho, R., & Costa, A. (2013). Lime pretreatment and fermentation of enzymatically hydrolyzed sugarcane bagasse. *Applied Biochemistry and Biotechnology, 169*, 1696-1712. Obtenido de https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23334836/#:~:text=Sugarcane bagasse was subjected to,for second-generation ethanol production.&text=Lime pretreatment significantly increased the,for prior particle size reduction.

Rodríguez , S. (2015). Extracción y Caracterización de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica de caña de azúcar (Saccharum Officinarum L.). *(Tesis de grado).* Universidad Nacional de Piura, Perú.

Romero , H., Gadvay, K., & Castillo, A. (2017). Potencial biotecnológico y bioeconómico de residuos lignocelulósicos de la agroindustria del banano. *Conference Proceedings, 1*(1), 1-11. Obtenido de http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/141

Romero, I. (2003). Hidrólisis ácida y enzimatica del residuo de poda de olivo. Fermentación de Hidrolizados con Pachysolen Tannophilus. *(Tesis doctoral).* Universidad de Jaén, Jaén.

Rosas, A., Galindo, J., Lee, H., & Alvarado, O. (2010). Variabilidad genética en 22 variedades híbridas de caña de azúcar (Saccharum spp. Híbrido). *Phyton, 79*, 87-94. Obtenido de https://l.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Frevistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar%2Fvol79%2FAlejandre-Rosas.pdf%3Ffbclid%3DIwAR0LavACPUnCaJiBMfbhRuP5vivRC2_PlOltFjKoRyLv_VjOoU1pcStNdpg&h=AT3InW2FFGv6JuNVcWKiBnct9ib-S8Nr518BjM6UsM_scuhKJhr1YlFadyrzKzlkmcA

Ruilova, M., & Hernández, A. (2014). Evaluación de residuos agrícolas para la producción de hongos pleurotus ostreatus. *ICIDCA, 48*(1), 54.59. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/2231/223131337008.pdf?fbclid=IwAR2UEX8IzbO2fa54CtXEEF9x7j9ahfwAg5wWiNdtimXKnUFKFumYFqquHI0

Sánches, J., Ruiz, J., García, G., Ojeda, G., Cruz, L., Holland, J., . . . García, G. (2018). Ecogeography of teosinte. *PLOS ONE, 13*(2), 1-24. Obtenido de https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0192676

Sánchez, A., Gutiérrez, A., Muños, J., & Rivera, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Tumbaga, 5,* 61-91. Obtenido de http://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/194/163

Verdezoto, R. (2015). Evaluacion de abonos organicos en la producción de maíz tusilla (Zea mayz) en el recinto San Carlos, parroquia Sevilla Cantón Cáscales provincia de Sucumbios. *(Tesis de grado).* Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.