



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE QUÍMICA

OBTENCIÓN DE ÉTER DIETÍLICO A PARTIR DE RESIDUOS
LIGNOCELULÓSICOS

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

QUÍMICA

AUTORES: EVELIN MARIANA CHANDI ANGULO
ESTEFANY ARACELI ESTRELLA HUEBLA

DIRECTOR: Ing. JUAN CARLOS GONZÁLEZ GARCÍA, PhD.

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Evelin Mariana Chandi Angulo & Estefany Araceli Estrella Huebla

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de los Autor.

Nosotras, Chandi Angulo Evelin Mariana y Estrella Huebla Estefany Araceli, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados. Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 11/06/2021



Chandi Angulo Evelin Mariana

C.I: 040197454-8



Estrella Huebla Estefany Araceli

C.I: 060398294-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación: Tipo Investigativo, “**OBTENCIÓN DE ÉTER DIETÍLICO A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS**”, realizado por las señoritas **CHANDI ANGULO EVELIN MARIANA** y **ESTRELLA HUEBLA ESTEFANY ARACELI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Dr. Robert Alcides Cazar Ramírez, MsC.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2021/06/11

Ing. Juan Carlos González García, PhD.
**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**



2021/06/11

Dra. Yolanda Dolores Díaz Heredia, MsC.
MIEMBRO DE TRIBUNAL



2021/06/11

DEDICATORIA

A los compañeros de este gran sueño, mis padres, por sentar en mi la base de responsabilidad y deseos de superación, por forjarme con grandes valores para ser la persona que soy ahora, una mujer fuerte y sensata que confía en Dios en cada paso que da. También a mis hermanos por brindarme su apoyo incondicional y a mis sobrinos por inspirarme en el alcance de mis objetivos. A mi familia espiritual quienes han orado por mí durante toda mi carrera estudiantil. A mis amigos del pueblito en el cual crecí “Bolívar” que con su cariño y admiración me han impulsado a continuar sin desmayar.

Evelin Chandi

Al pilar fundamental de mi vida el cual son mis padres los mismos que han construido a base de valores y amor a la mujer que soy hoy en día, una luchadora y soñadora, con grandes metas por alcanzar. Así mismo a mi hermano ya que él me impulsa a seguir luchando por todos mis sueños y estar siempre apoyándome de una forma incondicional.

A mi amiga y compañera de fórmula con la cual día tras día nos esforzamos para lograr nuestro objetivo planteado y por estar en los momentos buenos y malos de todo el transcurso de este sueño demostrándome una amistad verdadera.

Estefany Estrella

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Padre celestial por ser luz y guía en el transcurso de mi vida brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres José Chandi y Martha Angulo quienes con su amor y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi amiga Estefany Estrella por su dedicación y paciencia para culminar nuestro objetivo.

A mis formadores profesionales que son fuente de sabiduría, paciencia y supieron transmitir sus conocimientos de la mejor manera para mi formación académica. De manera especial a nuestro tutor PhD. Juan Carlos González García por su dedicación y habernos orientado paso a paso en el desarrollo de esta investigación.

Evelin Chandi

En primer lugar, a Dios por otorgarme la vida y haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar, a cada uno de los que son parte de mi familia a mi PADRE Wilson Estrella, mi MADRE Mirian Huebla y mi HERMANO Alejandro Estrella.

Un agradecimiento especial a mi grupo de trabajo como es el PhD. Juan Carlos González García y la Dra. Yolanda Díaz, quienes con paciencia y dedicación fueron los que aportaron con su grano de arena para lograr la culminación de este trabajo de titulación.

Estefany Estrella

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
ANTECEDENTES.....	4
SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	8
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos.....	9

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	10
1.1. Material lignocelulósico.....	10
1.1.1. <i>Definición</i>	10
1.1.2. <i>Composición</i>	10
1.1.2.1. <i>Polisacáridos</i>	11
1.1.2.2. <i>Celulosa</i>	11
1.1.3. <i>Características y propiedades de los residuos lignocelulósico</i>	13
1.1.4. <i>Residuos Lignocelulósicos</i>	14
1.1.4.1. <i>Tusa de Maíz</i>	14
1.1.4.2. <i>Bagazo de caña</i>	14
1.1.4.3. <i>Residuos de Banano</i>	14
1.1.4.4. <i>Cascarilla de arroz</i>	15
1.1.4.5. <i>Cáscaras de naranja</i>	15
1.1.4.6. <i>Aserrín</i>	16
1.1.5. <i>Etanol como biocombustible</i>	16
1.1.5.1. <i>Descripción general</i>	16
1.1.5.2. <i>Producción de etanol a partir de material lignocelulósico</i>	17
1.1.6. <i>Pretatamiento</i>	18
1.1.7. <i>Pretratamiento físico</i>	18
1.1.7.1. <i>Trituración mecánica</i>	18

1.1.8. Pretratamiento Térmico	18
1.1.8.1. <i>Pretratamiento con vapor de agua</i>	18
1.1.9. Pretratamiento químico	19
1.1.9.1. <i>Hidrolisis acida</i>	19
1.1.9.2. <i>Hidrolisis con álcalis</i>	19
1.1.9.3. <i>Hidrólisis enzimática</i>	19
1.1.9.4. <i>Contenido enzimático</i>	20
1.1.9.5. <i>Detoxificación</i>	20
1.1.10. Métodos de detoxificación	21
1.1.10.1. <i>Fermentación</i>	22
1.1.10.2. <i>Destilación</i>	23
1.1.10.3. <i>Destilación simple</i>	23
1.1.10.4. <i>Destilación fraccionada</i>	23
1.1.10.5. <i>Deshidratación de etanol</i>	24
1.1.10.6. <i>Éter</i>	24
1.1.11. Procesos de producción de éter Dietílico	25
1.1.12. <i>Deshidratación catalítica sobre aluminio</i>	25
1.1.13. <i>Deshidratación de etanol con ácido sulfúrico</i>	25

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	27
2.1. Tipo de investigación.	27
2.2. Diseño no experimental	27
2.2.1. <i>Operacionalización de los objetivos</i>	28
2.2.1.1. <i>Técnicas de recolección de datos.</i>	29
2.2.1.2. <i>Diseño</i>	29
2.2.1.3. <i>Estrategia de búsqueda.</i>	29
2.2.1.4. <i>Criterios de inclusión y exclusión</i>	29
2.2.1.5. <i>Extracción de datos</i>	30
2.2.1.6. <i>Análisis de los datos.</i>	30

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN.	35
3.1. Composición Química de Residuos Lignocelulósicos	35

3.2.	Hidrólisis empleadas en cada residuo lignocelulósico para la obtención de azúcares fermentables.....	39
3.3.	Rendimiento y eficiencia de los diferentes residuos lignocelulósicos en base a la obtención de bioetanol para la obtención de éter dietílico.....	49
	CONCLUSIONES.....	51
	RECOMENDACIONES.....	53
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Tipos de sustancias inhibitorias	21
Tabla 2-1:	Tipos de métodos de detoxificación.....	22
Tabla 3-1:	Propiedades físicas y químicas del éter dietílico	24
Tabla 1-3:	Componentes químicos de la tusa de maíz	35
Tabla 2-3:	Componentes químicos del bagazo de la caña de azúcar.....	36
Tabla 3-3:	Componentes químicos de la cascarilla de arroz	36
Tabla 4-3:	Componentes químicos del residuo del banano (cáscara).....	37
Tabla 5-3:	Componentes químicos de residuos de cáscara de naranja.....	37
Tabla 6-3:	Componentes químicos de aserrín de pino (<i>Pinus sylvestris</i>).....	37
Tabla 7-3:	Componentes químicos principales de los residuos lignocelulósicos	38
Tabla 8-3:	Parámetros óptimos los pretratamientos mecánico e hidrolisis de tusa de maíz..	39
Tabla 9-3:	Parámetros óptimos pretratamientos mecánico e hidrolisis del bagazo de la caña de azúcar.	40
Tabla 10-3:	Parámetros óptimos para los pretratamientos mecánico e hidrolisis de la cascarilla de arroz.....	40
Tabla 11-3:	Parámetros óptimos para los pretratamientos mecánico e hidrolisis de las cáscaras del banano maduro.	41
Tabla 12-3:	Parámetros óptimos para los pretratamientos físicos e hidrolisis de cascara de naranja.....	42
Tabla 13-3:	Parámetros óptimos para los pretratamientos físicos e hidrolisis de aserrín de pino (<i>Pinus sylvestris</i>).....	43
Tabla 14-3:	Tusa de maíz y bagazo de caña.....	43
Tabla 15-3:	Cáscaras de naranja, aserrín de pino y cáscaras de banano maduro.	44
Tabla 16-3:	Hidrolisis de la cascarilla de arroz	45
Tabla 17-3:	Condiciones óptimas de cada residuo lignocelulósico, con respecto a sus ventajas y desventajas de los pretratamientos de hidrólisis.	46
Tabla 18-3:	Datos volumétricos del Rendimiento de alcohol etílico en los residuos lignocelulósicos.....	49
Tabla 19-3:	Azúcares fermentables vs Rendimiento alcohólico de los seis residuos lignocelulósicos.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Composición química de los residuos lignocelulósicos.....	10
Figura 2-1:	Estructura molecular de la celulosa	11
Figura 3-1:	Estructura molecular de la Hemicelulosa.....	12
Figura 4-1:	Estructura molecular de la lignina	13
Figura 5-1:	Proceso de obtención de bioetanol a partir de material lignocelulósico	17
Figura 6-1:	Proceso de obtención de éter dietílico, mediante deshidratación de etanol con ácido sulfúrico	26
Figura 1-2:	Diagrama de flujo de selección trabajos en el diseño de Revisión Bibliográfica.	31
Figura 2-2:	Diagrama de flujo de análisis y selección de componentes químicos de los residuos lignocelulósicos.....	32
Figura 3-2:	Diagrama de flujo de comparación e identificación de los pretratamientos utilizados en los residuos lignocelulósicos.	34

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** SUPERFICIE PLANTADA DE MAÍZ DURO SECO EN ECUADOR.
- ANEXO B:** SUPERFICIE PLANTADA DE CAÑA DE AZÚCAR EN ECUADOR.
- ANEXO C:** SUPERFICIE PLANTADA DE ARROZ EN CÁSCARA EN ECUADOR.
- ANEXO D:** SUPERFICIE PLANTADA DE BANANO MADURO EN ECUADOR.
- ANEXO E:** SUPERFICIE PLANTADA, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE CÁSCARA DE NARANJA EN ECUADOR DESDE EL AÑO 2013 AL AÑO 2017.
- ANEXO F:** CARACTERIZACIÓN QUÍMICA ELEMENTAL DE LA TUSA DE MAÍZ
- ANEXO G:** CARACTERIZACIÓN QUÍMICA ELEMENTAL DEL PINO
- ANEXO H:** CARACTERIZACIÓN QUÍMICA ELEMENTAL Y VALOR NUTRICIONAL DE LA CÁSCARA DE NARANJA.
- ANEXO I:** CARACTERIZACIÓN QUÍMICA ELEMENTAL Y VALOR NUTRICIONAL DE BANANO MADURO.
- ANEXO J:** CARACTERIZACIÓN QUÍMICA ELEMENTAL Y VALOR NUTRICIONAL DEL ARROZ.
- ANEXO K:** CARACTERIZACIÓN QUÍMICA ELEMENTAL Y VALOR NUTRICIONAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realizó un estudio no experimental para la obtención de éter dietílico a partir de residuos lignocelulósicos; en primera instancia se efectuó una profunda investigación de la información documentada con respecto al tema planteado, definiéndose a la tusa de maíz, cáscaras de banano maduro, bagazo de caña de azúcar, cascarilla de arroz, cáscaras de naranja y aserrín de pino, como los residuos más idóneos para la producción de bioetanol siendo base para la producción de éter dietílico, tomando en cuenta los niveles de eficiencia de bioetanol producidos a partir de los mismos. Posteriormente, la revisión del estado del arte de los materiales definidos mostró la factibilidad de su uso, estudiando las características de las materias primas. Obtenidos los resultados del estudio bibliográfico de los residuos lignocelulósicos, mencionados en los apartados anteriores, se establecen tablas descriptivas, las mismas que, proporcionan información de la composición química de los desechos, así también de los pretratamientos utilizados para obtener azúcares fermentables, sus ventajas y desventajas, de igual manera se documenta datos volumétricos del rendimiento de alcohol etílico en los residuos lignocelulósicos. Una vez definidos los residuos más eficientes, se determinó el método para la obtención de éter dietílico. Por último, concluimos que el residuo de la tusa de maíz contiene la mayor cantidad de azúcares fermentables, fundamentales para el estudio experimental en la producción de etanol, el cual es la base para la síntesis de éter dietílico. Por lo tanto, es de gran importancia y recomendable realizar estudios experimentales a nivel local y nacional de los residuos estudiados, principalmente de la tusa de maíz.

Palabras claves: <RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS>, <ÉTER DIETÍLICO>, <HIDRÓLISIS>, <AZÚCARES FERMENTABLES>, <RENDIMIENTO ALCOHÓLICO>, <ALCOHOL ETÍLICO.>

LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): cn=EC, o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION ECIBCE, l=QUITO, serialNumber=0000621485, cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.08.18 17:28:52 -05'00'



1524-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

In this research, a non-experimental study was carried out to obtain diethyl ether from lignocellulosic residues, in the first instance, a thorough investigation of the documented information regarding the issue raised was carried out, defining corncob, ripe banana peels, sugarcane bagasse, rice husk, orange peels and pine sawdust, as the most suitable waste for the production of bioethanol being the basis for the production of diethyl ether, taking into account the efficiency levels of bioethanol produced from them. Subsequently, the review of the state of the art of the defined materials showed the feasibility of their use, studying the characteristics of the raw materials. Once the results of the bibliographic study of the lignocellulosic residues mentioned in the previous sections have been obtained, descriptive tables are established, which provide information on the chemical composition of the wastes, as well as the pre-treatments used to obtain fermentable sugars, its advantages, and disadvantages, in the same way, volumetric data on the yield of ethyl alcohol in lignocellulosic residues is documented. Once the most efficient residues were defined, the method for obtaining diethyl ether was determined. Finally, we conclude that the corncob residue contains the highest amount of fermentable sugars, essential for the experimental study in ethanol production, which is the basis for the synthesis of diethyl ether. Therefore, it is of great importance and advisable to carry out experimental studies at the local and national level of the studied residues, mainly corn cob.

Keywords: <LIGNOCELLULOSIC WASTE>, <DIETHYL ETHER>, <HYDROLYSIS>, <FERMENTABLE SUGARS>, <ALCOHOLIC YIELD>, <ETHYL ALCOHOL>.

INTRODUCCIÓN

Los residuos lignocelulósicos se convierten en fuente de materia prima, para la elaboración de distintas metodologías de productos, favoreciendo de esa manera a la economía de un país. Los mismos que poseen una composición química enriquecida en polímeros de celulosa y hemicelulosa alrededor de 75-80%, siendo susceptibles a la sacarificación pese a su dificultosa degradación, mediante hidrólisis química o enzimática.

En los últimos años se ha ido adoptando una mentalidad más ecológica, conscientes de los altos niveles de contaminación y que el calentamiento global es un hecho palpable.

Tomando en cuenta que los derivados de restos fósiles como combustibles; (GLP, Gasolina), son una problemática que genera gran interés a los diversos actores sociales, debido al impacto ambiental.

Sumándose a la mencionada problemática que, al no poseer una disposición correcta de los residuos orgánicos, expone a riesgos ambientales, generando contaminación de agua, suelos, malos olores, gases de efecto invernadero convirtiéndose en un factor negativo para el desarrollo de la calidad ambiental idónea para el buen vivir de las personas.

Según la FAO (Food and Agriculture Organization) anualmente se genera 1300 millones de toneladas de desechos a nivel mundial ocasionando problemas ambientales y económicos. En el caso de Ecuador, las cifras del Ministerio de Ambiente y Agua “la cantidad de residuos se ha incrementado aproximadamente en 4.9 millones de toneladas al año, donde el 58.47% de estos son de tipo orgánico”.(Ministerio del Ambiente y Agua, 2020)

Por lo cual en la actualidad se suma la importancia del aprovechamiento de los desechos orgánicos como materia prima lignocelulósica, ya que permite recuperar su valor bioquímico de tal manera genera un valor económico y ambiental.

De modo que se ha incrementado la investigación y estudio de pretratamientos mediante procesos físicos, químicos y biológicos para la conversión a azúcares reductores y posteriormente a la transformación de productos de interés, los mismos que resulten viables tanto en el proceso como a nivel económico para este tipo de materias primas.

Por lo que ha conllevado al desarrollo de nuevas alternativas mediante la utilización de la biomasa lignocelulósica dando lugar a los biocombustibles dentro de cual sobresale el bioetanol. Además, el aprovechamiento completo de la biomasa es una fuente de gran potencial para la obtención de materias primas como es el caso de bioéter (éter dietílico). El mismo que se trata de un subproducto muy versátil, obtenido a través de la deshidratación de etanol utilizando como catalizador ácido sulfúrico. Su uso es muy amplio el cual va desde la industria química para reacción y extracción de compuestos hasta el sector automovilístico.

Mediante la revisión de importantes investigaciones bibliográficas las mismas que sean veraces y de fuentes confiables, se pretende identificar, analizar y comparar el mejor método para la

obtención de éter dietílico a partir de los residuos lignocelulósicos (tusa de maíz, cascarilla de arroz, bagazo de caña, cáscaras de banano, cáscaras de naranja, aserrín), los mismos que demuestren resultados efectivos para la producción de bioetanol y bioéter (éter dietílico); proponiendo así una mejor alternativa para la obtención de productos amigables con el ambiente, aportando de manera favorable la disminución de la contaminación ambiental y poder mejorar la calidad de vida de la población.

La presente investigación parte inicialmente con la identificación del problema, así como la búsqueda necesaria para aportar con una solución ambiental.

El capítulo I está formado por un marco teórico conceptual que permite conocer las bases teorías científicas sobre los materiales analizados, características del producto, pretratamientos utilizados para la obtención de azúcares y métodos de obtención para el producto final.

En el capítulo II se desarrolla la metodología de investigación, las técnicas de recopilación y análisis de bibliografía, los métodos y la comparación que conducen a la determinación del mejor residuo y pretratamiento para la obtención de éter dietílico.

En el capítulo III se realiza el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos a través de datos bibliográficos y comparación de los mismos, los cuales se basan en métodos de obtención de azúcares partir de los residuos lignocelulósicos (tusa de maíz, bagazo de caña de azúcar, cascarilla de arroz, cáscaras de banano maduro, cascaras de naranja y aserrín,) para la obtención de éter dietílico, de tal modo plantear recomendaciones para una posible aplicación industrial a nivel provincial y nacional.

JUSTIFICACIÓN

Hoy en día los desechos lignocelulósicos y subproductos agroindustriales se han convertido en productos de desecho-problema ya que han provocado un impacto negativo financiero y ambiental, generando gases de efecto invernadero y por ende el cambio climático.

Por lo cual, han surgido múltiples investigaciones y trabajos que engloban diversas problemáticas y proponen alternativas de solución con grandes aportes que poco a poco han motivado a ciertos países en el mundo a la explotación de la biomasa lignocelulósica con fuente de materia prima.

Con el presente trabajo de investigación se muestra una revisión del estado del arte de este tipo de materiales y su potencial mediante la revalorización de los mismos para convertirlos en materia prima de uso para biocombustibles (etanol), describiendo las características de las materias primas en cuestión, su estructura, las etapas: pre-tratamiento, hidrólisis, detoxificación y fermentación y métodos que cita la diferente bibliografía recopilada. Buscando así una alternativa y metodología más adecuada para la producción de éter dietílico, de tal manera que se una opción para abastecer necesidades locales y nacionales.

Un litro de dietil éter en el mercado actual tiene un costo elevado, debido a la producción y comercialización de países productores, razón por la cual realizar investigaciones para su producción a nivel de laboratorio podría derivar en la obtención de un producto con alta rentabilidad.

El presente análisis de investigación bibliográfica es viable ya que se utilizan bases de datos oficiales, publicadas por la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, entre otras. Se han seleccionado aquellos conjuntos de datos de interés para la investigación.

ANTECEDENTES

Las actividades humanas a inicios del siglo XXI se han consolidado como un modelo de crecimiento demográfico precipitado, convirtiéndose en una época crucial para el desarrollo futuro de la humanidad, la misma que se encuentra ligada a un contexto integral sobre el cuidado ambiental.

Este interés del hombre ha generado otra visión para el aprovechamiento de recursos naturales; dicho interés se debe a varios factores que se presentan, entre estos sobresalen las tendencias en sustentabilidad y la crisis petrolera de los últimos años.

Debido al inminente agotamiento de los recursos petrolíferos a nivel mundial, se ha buscado tecnologías novedosas, donde los materiales lignocelulósicos como la biomasa juegan un papel muy importante debido a la formidable disponibilidad de dicho subproducto y a las distintas fuentes agroindustriales que la generan.

El petróleo fue descubierto en la década de 1800 y suministrado en gran medida por los Estados Unidos, desde los estados de Pensilvania y Texas. La expansión de la oferta de los combustibles derivados del petróleo provocó que se volvieran baratos, convirtiéndolos en uno de los principales impulsores de la era industrial para la producción de energía para operar fábricas y automóviles (Retto, 2019, p.1)

Por otra parte, esta producción de combustibles fósiles ha generado emisiones de CO₂ convirtiéndose en una problemática global de gran interés, “debido a que representa el 33% del total de emisiones al nivel mundial. Además, considerando que el total de emisiones de gases de efecto invernadero en los últimos años ha aumentado en un 24.3% llegando a 53.526 Mtn equivalentes de CO₂” (Retto, 2019, p.1), de tal manera contribuyendo al problema de contaminación ambiental con el efecto invernadero, a su vez acelerando el agotamiento de los mismos recursos, y por ende ampliando la necesidad de desarrollar fuentes alternativas y renovables de energía y subproductos.

En el ámbito nacional, la producción petrolera de Ecuador en “el tercer trimestre del 2019, la explotación de crudo llegó a un total de 50.25 millones de barriles, equivalentes a un promedio diario de 546.15 miles de barriles, superior en 2.9% a la producción diaria del trimestre anterior”(Ecuador, 2019, p.1), siendo esta la fuente principal de ingresos económicos para el país, de la misma forma ha aportado de manera negativa para la calidad ambiental de la región debido al uso irracional de recursos no renovables, al mismo tiempo que ha generado un incremento para la problemática mundial como es el calentamiento global.

En las últimas décadas los gobiernos y con los protocolos como el de Kyoto, se toma más conciencia ambiental y así se busca otras alternativas para producir energías y subproductos sostenibles que no afecten a la biodiversidad.

Estudios realizados por la agencia Internacional de Energía (AIE), los biocombustibles representan una alternativa que pueden sustituir a los combustibles derivados del petróleo. Los cuales son no contaminantes y obtenidos a partir de fuentes renovables. “El bioetanol utilizado actualmente se denomina de primera generación y se obtiene a partir de materias primas azucaradas (caña de azúcar, residuos de banano, residuos de frutas, entre otros) o amiláceas (maíz, trigo, arroz), materias primas producidas en el mercado alimentario” (Retto, 2019, p.2)

Así mismo el aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica (residuos) resolvería otra problemática proporcionando ventajas. Debido a que en el panorama a nivel global “entre un cuarto y un tercio de los alimentos producidos anualmente para consumo humano se pierde o desperdicia. “Esto equivale a cerca de 1 300 millones de toneladas de alimentos, lo que incluye el 30% de los cereales, entre el 40 y el 50% de las raíces, frutas, hortalizas y semillas oleaginosas, el 20% de la carne y productos lácteos y el 35% de los pescados” (Benítez, 2020, p.1)

La región de América Latina generó 231 millones de toneladas de desechos en 2016, con un promedio de 0,99 kilogramos per cápita por día. Alrededor del 52 por ciento de los residuos sólidos urbanos se clasifican como residuos alimentarios y verdes. Aproximadamente el 69 por ciento de los desechos se desecha en algún tipo de relleno sanitario, y no más del 50 por ciento de los desechos se desechan en rellenos sanitarios con controles de superficie. La región recicla el 4,5 por ciento de los residuos. Algunos países están buscando oportunidades para recuperar energía de los desechos a través de métodos como la recolección de gases de vertedero y la digestión anaeróbica (Kaza, Perinaz y Van Woerden, 2018, p.2)

La generación de desechos superará drásticamente el crecimiento de la población en más del doble para el año 2050, afectando de manera negativa los residuos a la sociedad y al medio ambiente. En 2016 se generaron emisiones de gases de efecto invernadero equivalentes a CO₂ a partir de la gestión de residuos sólidos. “Esto es aproximadamente el 5% de las emisiones globales. Sin mejoras en el sector, se prevé que las emisiones relacionadas con los desechos sólidos aumenten a 2.600 millones de toneladas de CO₂ equivalente para 2050”. (Kaza, Perinaz y Van Woerden, 2018, párr.2). Más de 80 países se comprometieron a reducir las emisiones a través del histórico Acuerdo de París de 2017: mejorar la gestión de desechos es una forma de contribuir a este esfuerzo. La gestión de residuos sólidos es una pieza fundamental, aunque a menudo pasada por alto, para planificar ciudades y comunidades sostenibles, saludables e inclusivas para todos.

Actualmente en el Ecuador, los residuos sólidos generados son superiores a la capacidad de tolerancia para su manejo, representando una amenaza constante para el medio ambiente y de tal modo haciendo su proliferación algo insostenible.

Frente a este panorama y debido a los impactos generados, el Ministerio del Ambiente empezó con el control y seguimiento permanente a estos sitios. A partir del año 2009, el mecanismo adoptado por la Institución fue el inicio de procesos administrativos a los municipios que no mejoraran los métodos de disposición final de los residuos y que no aplicaran cambios para

encuadrarse en una política de respeto ambiental, que abarque cada proceso desde la generación de desechos en los hogares hasta la disposición final (Ecuador, 2010, p.11)

Bajo este contexto, el Gobierno Nacional a través del Ministerio del Ambiente, en abril del año 2010, crea el PROGRAMA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS SÓLIDOS (PNGIDS), con el objetivo primordial de impulsar la gestión de los residuos sólidos en los municipios del Ecuador, con un enfoque integral y sostenible; con la finalidad de disminuir la contaminación ambiental, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos e impulsando la conservación de los ecosistemas; a través de estrategias, planes y actividades de capacitación, sensibilización y estímulo a los diferentes actores relacionados (Ecuador, 2010, p.12).

Disponibilidad de biomasa en Ecuador

En el Ecuador la biomasa es muy abundante debido a su biodiversidad, entre los cuales se destacan residuos agrícolas como el banano de, maíz, cascarilla de arroz, café, cacao, flores, papas, etc. Sin embargo, no se la ha aprovechado adecuadamente.

El principal uso de la biomasa que actualmente el gobierno está implementando a nivel nacional es los biocombustibles. “La demanda de gasolina en el Ecuador es de 20 millones de barriles anuales y de 24 millones de barriles anuales de diésel. Desde el 2010 el Ecuador produce biocarburantes llamado Ecopaís el cual reemplazó hasta el 2017 el uso del segundo combustible del país en un 45% la demanda de gasolina de todo el Ecuador” (Dcoellar, 2017, p.1).

“ECOPAÍS, un biocombustible compuesto de 5% de bioetanol (proveniente de la caña de azúcar) y un 95% de gasolina base. En una segunda fase que se implementará hasta el 2020 tendrá un 10% de bioetanol. El biodiesel producido en el país se lo destina en su totalidad a su exportación” (Dcoellar, 2017, p.1). Para cumplir con el objetivo establecido de biocarburantes en el país se utilizará treinta mil hectáreas de suelo para el cultivo de caña, que a su vez generará nuevas fuentes de ingreso y puestos de trabajo teniendo como estandarte que este será un carburante 100% ecuatoriano.

Tabla 1: Producción y Desechos generados en el Ecuador anualmente

Producto	Producción Tn/año	Residuo Tn/año
Banano	6,700. 000	229. 360
Maíz	1,200. 000	0,186
Caña de azúcar	150,477.000	321. 708
Arroz en cáscara	1,600. 000	265.218
Naranja	2, 000. 000	-
Pino	113.000	7.300

Fuente: (FAO, 2020); (El Comercio, 2018); (BCE/DNSM/PEIC, 2019); (Reyes, 2019); (El Comercio, 2020); (Agroinformacion, 2018); (Calva, MAG, Haro, SCR, Córdova, GBM y Guamán, 2018).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

Por ello la importancia del aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica se convierte en un aspecto de gran relevancia, ya que la explotación de este recurso renovable tiene por objetivo obtener combustibles de mayor calidad, además de subproductos como fuente de materia prima siendo el caso del éter dietílico, aprovechando las posibilidades que brinda la química como vía de desarrollo de nuevos productos a partir del etanol.

Éter Dietílico

El éter dietílico es un producto muy versátil, que se utiliza a nivel industrial mundialmente; su uso es variado; desde el sector farmacéutico hasta el automovilístico. Sus principales productores se encuentran focalizados en India, Estados Unidos y algunos países europeos (Carletti, Pastorino y Varela, 2018, p.27).

Producción mundial y principales productores

Entre los principales fabricantes de este producto están: Alemania, India y Estados Unidos. Luego en menor medida de producción se encuentran países como Bélgica, Países Bajos y China.



Gráfico 1. Producción Mundial de Éter Dietílico en el año 2016, estimado 6.547 Tn
Fuente: (Carletti, Pastorino y Varela, 2018, p. 27).

“La producción mundial de éter en el año 2016, para los principales países productores fue de un total de 6.547 toneladas, con un crecimiento del 11% con respecto a los años anteriores. El consumo mundial alcanzó, un total de 12.586 toneladas” (Carletti, Pastorino y Varela, 2018, p.29).

India es el mayor productor de éter etílico con más del 33% del suministro global. El mercado del éter etílico se encuentra radicado masivamente en los continentes de Asia y Europa (Carletti, Pastorino y Varela, 2018, p.29).

En análisis de las importaciones, desde el 2005 al 2015 de todos los países del continente sudamericano, Brasil es el principal consumidor de EE, al que le siguen Chile y Venezuela. Mientras que los demás poseen un porcentaje constante y menor (Carletti, Pastorino y Varela, 2018, p.31).

En América del Sur, se afirma que el foco de mercado se encuentra en Argentina, debido a que existe solo una planta productora de éter etílico, localizada en la ciudad Villa María departamento San Martín, provincia de Córdoba. La misma cuenta con una producción promedio de 7000 litros por día que se destinan a consumo interno y externo. Por otro lado es la única empresa existente a nivel latinoamericano que no comercializa el producto en la mayoría de los estados miembros del MerCoSur, incluyendo las potencias del mismo (Carletti, Pastorino y Varela, 2018, pp.39-40).

En la actualidad el Ecuador no tiene proyectos a gran escala para la producción de éter dietílico. Por tal motivo será de gran ventaja generar un producto con tecnología de avanzada que supere a la existente y como materia prima el bioetanol a base de biomasa lignocelulósica.

SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La producción de solventes orgánicos en el Ecuador es escasa o nula, los cuales no cuentan con la información necesaria para procesos de síntesis, producción y obtención de éter dietílico a nivel del país; el mismo que se destaca como un solvente utilizado ampliamente en la industria de las pinturas, en investigación, análisis de laboratorio y otras aplicaciones, cuya única planta de producción se encuentra en Argentina y no abastece a los mercados de Sudamérica. Por lo tanto, es imprescindible encontrar la metodología más adecuada para su producción a nivel de laboratorio y a futuro abastecer nuestra demanda interna.

Por otro lado, en el Ecuador se genera anualmente una gran cantidad de residuos lignocelulósicos provenientes del agro como: el maíz, la caña de azúcar, banano maduro, cascarilla de arroz, cáscaras de cítricos y residuos de la industria maderera, mismos que mediante tratamientos químicos se los puede transformar en diferentes productos como alcoholes y éteres. Debido a que no se produce el solvente en el país sus costos de importación son elevados.

Finalmente, el aprovechamiento de los residuos agrícolas mencionados contribuirá a mejorar el desempeño ambiental de los sectores involucrados en su producción, procesamiento y comercialización.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Actualizar el conocimiento en relación a: Obtener éter dietílico a partir de la comparación de niveles de eficiencia de bioetanol con residuos lignocelulósicos de: maíz, banano maduro, caña de azúcar, arroz con cáscara, naranja y madera mediante revisión bibliográfica.

Objetivos Específicos

- Describir la composición química de los diferentes residuos lignocelulósicos según su origen.
- Comparar los procesos de hidrólisis empleadas en cada residuo lignocelulósico para la obtención de bioetanol.
- Identificar el mejor pretratamiento en cada uno de los residuos lignocelulósicos en base a su rendimiento y eficiencia.
- Establecer el método más factible a aplicar en nuestro medio, para la obtención de éter dietílico

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

1.1. Material lignocelulósico

1.1.1. Definición

“La materia lignocelulósica es un sustrato complejo, constituido por polisacáridos (celulosa, hemicelulosa y pectinas), compuestos fenólicos (lignina) y compuestos minoritarios (minerales, lípidos y proteínas)” (Escalante y Fuentes, 2013, p.1). Constituyen el componente principal de la pared celular de las plantas, que varían en función del tipo de biomasa.

Este tipo de material es fuente de materia prima presentando un elevado potencial para la producción de bioetanol por su alto contenido de celulosa, las fuentes de las cuales se obtiene son de residuos agrícolas y forestales, tales como: caña de azúcar, bagazo de caña, cáscara de arroz, maíz, residuos de plátano, cáscaras de cítricos, aserrín, entre otros.

1.1.2. Composición

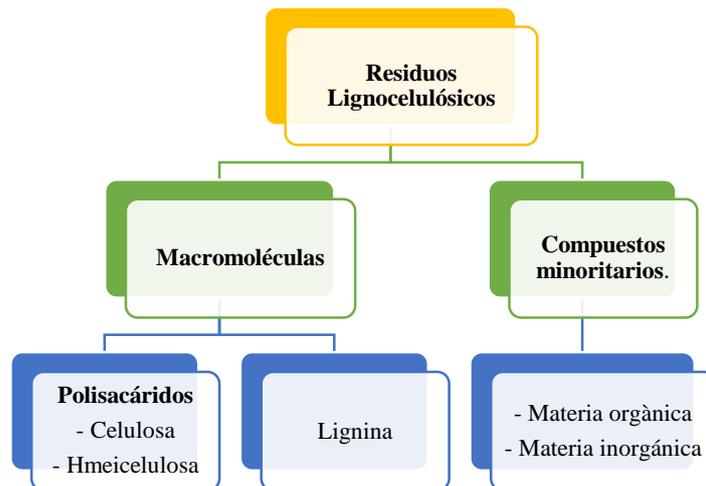


Figura 1-1: Composición química de los residuos lignocelulósicos.

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

1.1.2.1. Polisacáridos

Los polisacáridos representan alrededor del 60 y 80 % de la materia lignocelulósica, está constituida principalmente de celulosa y hemicelulosa los cuales son carbohidratos de alto peso molecular.

1.1.2.2. Celulosa

“Es un homopolímero lineal de elevado peso molecular, constituido por cadenas lineales de celobiosal (D-glucopiranosil-β-1,4-D-glucopiranosal); presenta entre 200 y 10 000 unidades de glicosídicas en celulosa nativa, aunque este número varía según el tipo de material lignocelulósico” (Escalante y Fuentes, 2013, p.2).

“El enlace glicosídico se forma por la reacción del grupo –OH hemiacetálico del carbono anomérico de la β-D-glucopiranosal con el grupo –OH del carbono 4 de otra β-Dglucopiranosal” (Escalante y Fuentes, 2013, p.2).

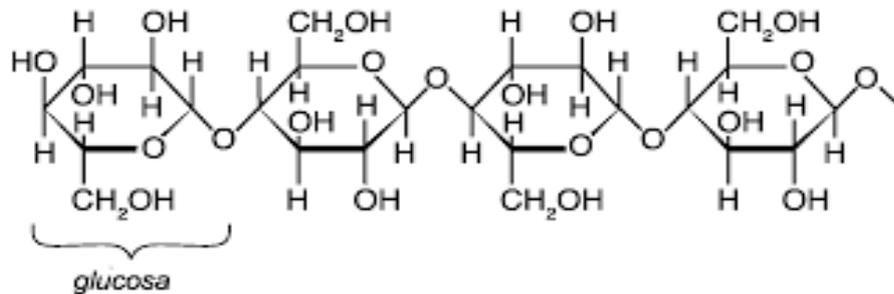


Figura 2-1: Estructura molecular de la celulosa.

Fuente: (Escalante y Fuentes, 2013, p.2).

Las hebras de la macromolécula de celulosa se encuentran elanzadas mediante puentes de hidrogeno, dando forma a una estructura semi cristalina supramolecular, otorgándole características de insolubilidad. Además, posee fibras elementales (misceláneas), las cuales están unidas inter e intramolecularmente, mismas que poseen zonas amorfas y cristalinas dándole elasticidad, mejor penetración de reactivos químicos y resistencia respectivamente a la celulosa.

1.1.2.3. Hemicelulosa

La hemicelulosa está constituida por polímeros de unidades de anhidros azúcares, unidos por enlaces glicosídicos. Estos polímeros están constituidos por cinco monosacáridos: glucosa, manosa, galactosa, xilosa y arabinosa. Además de monómeros, la hemicelulosa presenta

derivados de las osas como los ácidos hexurónicos y deoxi-hexosas. Su función principal es mantener una interacción con la celulosa y lignina, para proporcionar rigidez a la pared celular (Escalante y Fuentes, 2013, pp.2-3).

La hemicelulosa está constituida por pentosas (xilosa y arabinosa), Hexosas (glucosa, manosa y galactosa), Ácidos Hexurónicos y Deoxi- Hexosas.

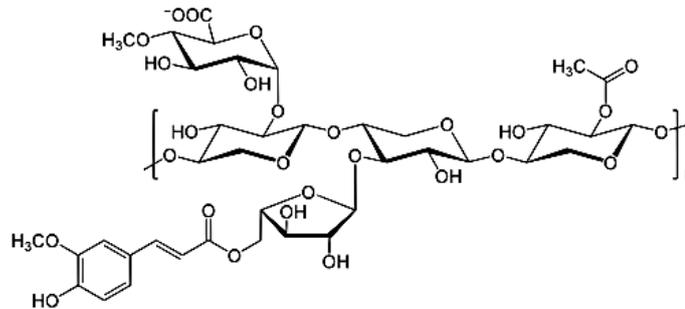


Figura 3-1: Estructura molecular de la Hemicelulosa.

Fuente: (Parada Puig, 2020, p.1).

De acuerdo a su estructura, las hemicelulosas se clasifican en:

-“Xilanos son el principal componente de la hemicelulosa, y representa alrededor del 20-30% del residuo agrícola. Son heteropolímeros, formados por una cadena de xilas unidas por medio de un enlace β -1,4-glucosídico, uniéndose a pequeñas cadenas de carbohidratos” (Escalante y Fuentes, 2013, p.3).

-“Xiloglucanos consisten en una cadena principal de β - (1,4)-D-glucopiranososa. Hasta un 75% de las unidades de glucopiranososa pueden estar ramificadas con un monosacárido u oligosacárido; este grado de ramificación determina el grado de bioconversión de este tipo de hemicelulosa” (Escalante y Fuentes, 2013, p.3).

1.1.2.4. Lignina

La lignina es un complejo aromático, tridimensional amorfo altamente ramificado, formado por la polimerización deshidrogenativa de unidades de fenilpropano ligadas por diferentes tipos de enlaces que se alternan de manera desordenada. Es el polímero orgánico más abundante en el mundo vegetal. Es importante destacar que es la única fibra no polisacárido que se conoce (Escalante y Fuentes, 2013, p.3).

Proporciona rigidez a la pared celular, creando un material que es notablemente resistente a los impactos, compresiones y flexiones. Los tejidos lignificados resisten el ataque de los microorganismos, impidiendo la penetración de las enzimas destructivas en la pared celular (Escalante y Fuentes, 2013, párr.2).

La molécula de lignina posee un elevado peso molecular, siendo el polímero natural más complejo, resulta de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos. Por esta razón no posee una estructura definida, pero se han propuesto varias aproximaciones de modelos de la estructura.

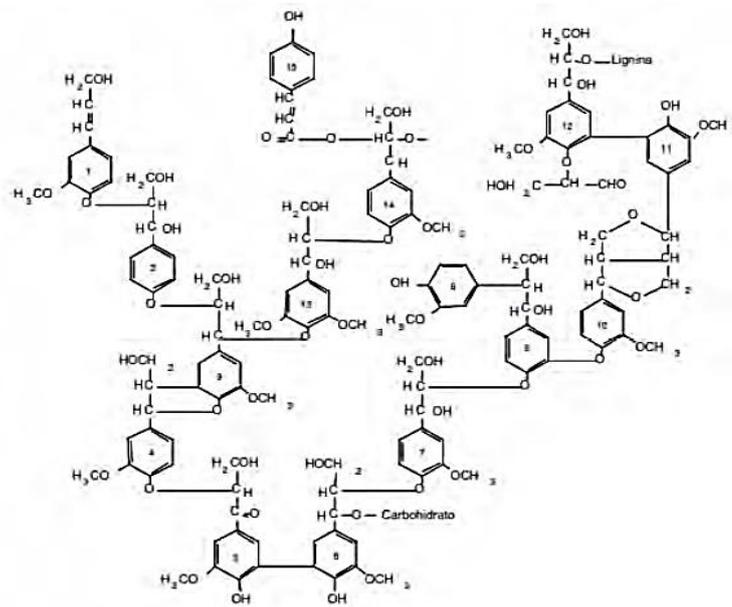


Figura 4-1: Estructura molecular de la lignina.

Fuente: (Escalante y Fuentes, 2013, p.4).

1.1.2.5. Otras sustancias

Son sustancias que cumplen la función de intermediarios metabólicos, favorecen al olor, color, a la resistencia al marchitamiento y reservan energía. Las cuales son:

Compuestos orgánicos, fenoles simples y complejos, grasas, alcaloides, proteínas, ceras, pectinas, gomas, azúcares simples, resinas, terpenos, entre otros.

1.1.3. Características y propiedades de los residuos lignocelulósico

- Alrededor del 80% del peso fresco en los materiales lignocelulósicos es agua.
- Los principales constituyentes de la pared celular de las plantas son: celulosa, hemicelulosa y lignina.
- Lignina y hemicelulosa están entrelazadas con la celulosa, que dificulta el acceso de enzimas a las largas cadenas de glucanos, ya que forman una especie de barrera natural.
- La celulosa constituye aproximadamente el 50% del material; cumple la función de dar mayor resistencia a ataques químicos y a la tracción mecánica, dificultando los preparamientos a los que puede ser sometido el material.

- Debido al alto contenido energético de polisacáridos la biomasa lignocelulósica ha sido objeto de varios estudios en la actualidad, con el fin de convertir en energía utilizable para la humanidad.

1.1.4. Residuos Lignocelulósicos

1.1.4.1. Tusa de Maíz

También conocida como olote (en náhuatl: *olotl*, „corazón), coronta (en náhuatl: *olotl*, „corazón), chócolo o zuro, siendo el raquis el cual es el subproducto del desgranado del maíz (*Zea mays L.*). La tusa de maíz es un desecho orgánico de tejido esponjoso y blanco constituido por polisacáridos de gran peso molecular (celulosa, hemicelulosa y lignina), además de otros componentes que le otorgan la alternativa de ser empleado en la producción de la enzima xilanasas como sustrato. La tusa seca es abundante en varias regiones mundiales, por lo cual se ha empleado como residuos de interés para contribuir con la disminución ambiental utilizándola como forraje y soporte para disminuir la erosión del suelo. Asimismo, se utiliza como alimento para animales, abono, etc.

1.1.4.2. Bagazo de caña

El bagazo es el residuo de materia que queda luego de que a la caña de azúcar se le extrae el jugo azucarado. Esos restos poseen una gran cantidad de fibras, a su vez contiene macromoléculas como: celulosa, hemicelulosa y lignina que son de gran valor, representando una de las materias primas más importantes para la producción de papel, bioetanol, entre otros productos. Por lo general el bagazo se utiliza en los ingenios azucareros como combustible.

“En el Ecuador existen aproximadamente cultivadas 146501 ha de caña de azúcar, y una producción bruta de 11,60 millones de TM, con un rendimiento promedio de 79,21 TM/ha. El bagazo de caña representa aproximadamente entre el 25 y 40% del total de la materia procesada, dependiendo del contenido de fibra de la caña y la eficiencia en la extracción del jugo” (Mantilla, 2012, p.11).

1.1.4.3. Residuos de Banano

Alrededor de 95% de los residuos de plátano no son aprovechados eficientemente, generando la proliferación de diversos microorganismos en zonas no adecuadas, afectando cultivos, acumulando agua y la formación de hongos en lugares inadecuados.

Hoy en día se han realizado diversas investigaciones sobre dichos residuos a nivel mundial y en el Ecuador, para la adaptación de tecnologías para la utilización de dichos residuos, de tal manera

convertirlos en una fuente de materia prima con productos de valor agregados para la producción de bioplásticos, bioetanol.

Los residuos de banano como hojas, cáscaras y pseudotallos (raquis) son fuentes potenciales de celulosa, azúcares y fibras de almidón; los mismos que se han utilizado por varios años como fuente de forraje en países tropicales, además se han utilizado como abono para la cosecha. Los mismos que poseen ciertas características químicas como son:

Raquis o pinzote es un material rico en fibra (8% de su peso).

La cáscara de banano maduro contiene aproximadamente 2,7% de fructosa, 3,2% de glucosa y 7,8% de sacarosa en base seca. La fibra cruda en la cáscara de banano maduro contiene 60% de lignina, 25% de celulosa y 15% de hemicelulosa Zuñiga, 1993; Sibaja 1994; citado en (Moreira, 2013, p.21).

1.1.4.4. Cascarilla de arroz

“La cascarilla de arroz es un subproducto formado en el proceso de trituration del grano de arroz, la misma que se localiza en la parte exterior del grano, compuesta por dos glumas denominadas palea y lema, unida por dos pericarpios, localizada entre la cáscara y el endospermo” (Vásquez, 2019, p.7).

El residuo ha sido considerado de gran potencial como materia prima debido a las características fisicoquímicas que presenta (celulosa, hemicelulosa, lignina y humedad), pero dichas características atribuyen un impacto negativo ya que su biodegradación es lenta, siendo un desecho altamente contaminante para las fuentes de agua.

Sin embargo la cascarilla de arroz ha sido actualmente estudiada ya que presenta varios usos como por ejemplo.

- Uso de materia prima para la elaboración de biocombustibles.
- Uso como generador de gas para la producción de energía térmica
- Se ha usado como forraje para animales
- Fabricación de brinquetas para la construcción de paredes en México.

1.1.4.5. Cáscaras de naranja

Los cítricos se han convertido en los frutos más consumidos y cultivados en todo el mundo, entre ellos se destaca la naranja que representa el 55% de la producción global, por lo cual las cáscaras de cítricos (50 % del fruto entero), las mismas que provienen de la extracción de jugos son los desechos mayoritarios de la naranja, siendo destinados a la alimentación animal, pero al no ser utilizados correctamente representan un impacto negativo en el ambiente.

La cáscara de naranja se la define como el tejido exterior que descansa bajo la epidermis, consiste en una capa parenquimatosa rica en cromoplasto que contiene a numerosos sacos de aceite esencial (Virreira y Góngora Pereira, 2014, pp.20-21)

Las cáscaras de frutos cítricos están constituidas por carbohidratos simples (fructosa, glucosa y sacarosa), polisacáridos no amiláceos conocidos como fibra dietética; predominando la pectina, la cual conforma del 65 al 70% de la fibra total; la pectina se clasifica como fibra dietética debido a la resistencia que presenta a la hidrólisis por parte de las enzimas del intestino delgado humano. La fibra restante está en forma de celulosa, hemicelulosa y cantidades trazas de lignina.

Dichas características fisicoquímicas le atribuyen como fuente de materia prima para la producción de biogás y etanol en varios países del mundo.

1.1.4.6. Aserrín

De los residuos generados en aserraderos el aserrín es uno de los más atractivos a futuro como material lignocelulósico de gran potencial con valor agregado debido a su bajo costo en la producción de etanol.

“El aserrín es un residuo con una densidad aparente de apenas 0.16 ton/m³, lo que implica grandes volúmenes por unidad de masa, 6.25 m³/tonelada. Para la obtención de 1 m³ de etanol, se necesitan aproximadamente 3 toneladas de aserrín” (Trillo, 2012, p.10).

La madera y sus residuos están constituidos principalmente por materias orgánicas como: carbono (50%), hidrogeno (6%), oxígeno (44%) y nitrógeno (0.1%). Además, está formada en general por dos grupos de sustancias, las que conforman la pared celular (celulosa, hemicelulosa (poliosas), lignina y también pequeñas cantidades de sustancias pépticas, que están presentes en todas las maderas; el otro grupo lo conforman las sustancias de baja masa molar conocidas también como sustancias extraíbles que se encuentran en menor cantidad (Trillo, 2012, p.3).

La proporción y composición química de la lignina y las poliosas difiere para las maderas coníferas y latifolias, mientras que la celulosa es uniforme en composición en todas las maderas. El aserrín de *Pinus caribae* es un subproducto forestal de desecho y barato. Las maderas duras ofrecen el mayor rendimiento potencial en la fermentación del residuo lignocelulósico para producir etanol (Trillo, 2012, p 4).

1.1.5. Etanol como biocombustible

1.1.5.1. Descripción general

“El etanol es una cadena de dos átomos de carbono unidos por un enlace simple, donde uno de éstos está enlazado a un grupo hidroxilo; producto de una fermentación anaeróbica de azúcares

por medio de microorganismos, principalmente la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.” (Escalante y Fuentes, 2013, p.6).

El etanol es utilizado en distintas empresas que se encuentran en la rama químico-industrial, médico-farmacéutico y en la producción de biocombustibles a partir de materias primas como: la caña de azúcar y maíz, las cuales compiten con la industria de producción de alimentos (Escalante y Fuentes, 2013, párr.1).

“Puede utilizarse como único combustible, realizando modificaciones a los motores; pero en la mayoría de los países se prefiere utilizar mezclas de etanol con gasolina, que van desde un 10% hasta un 85% de etanol en volumen” (Escalante y Fuentes, 2013, párr.2).

1.1.5.2. Producción de etanol a partir de material lignocelulósico

La obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica es un proceso complejo debido a la poca accesibilidad a la celulosa, pues forma parte de una matriz entremezclada con lignina y hemicelulosa; es por ello que son necesarios pretratamientos que degradan la hemicelulosa; así como procesos de deslignificación que eliminan la lignina, permitiendo una mayor accesibilidad a la celulosa, y facilitando el proceso de hidrólisis (Escalante y Fuentes, 2013, p.15).

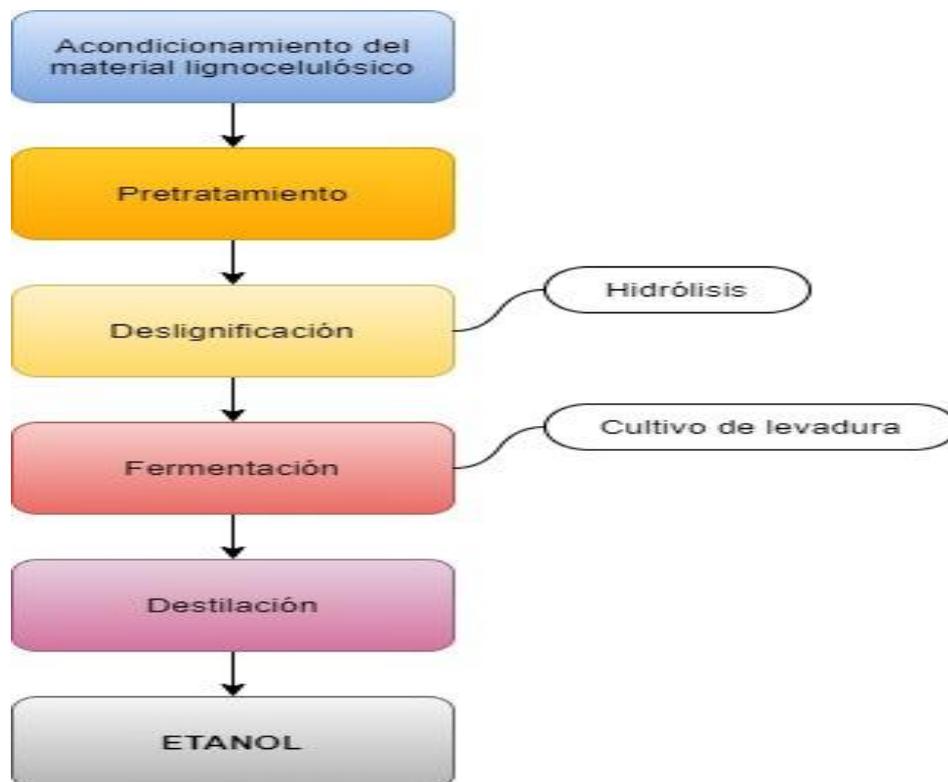


Figura 5-1: Proceso de obtención de bioetanol a partir de material lignocelulósico.

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

1.1.6. Pretatamiento

Es una etapa que complementa la hidrólisis enzimática favoreciendo a la obtención de altos rendimientos, por lo cual es una etapa precisa para el procesamiento de la materia lignocelulósica. Se realiza principalmente porque la lignina forma barreras contra el ataque enzimático en las paredes celulares de la planta.

Un pretratamiento es ideal cuando: reduce el contenido de lignina, disminuye la cristalinidad de la celulosa e incrementa el área superficial, permiten la degradación de lignina y hemicelulosa de la biomasa. Los pretratamientos se clasifican en: físicos, químicos, térmicos, biológicos (Sánchez Riaño et al., 2010, p.65).

1.1.7. Pretratamiento físico

1.1.7.1. Trituración mecánica

“El pretratamiento de trituración mecánica se utiliza para reducir el tamaño de partícula y cristalinidad de la lignocelulosa, de la madera, con el fin de aumentar el área de superficie específica reduciendo el grado de polimerización” (Escalante y Fuentes, 2013, p.16).

1.1.8. Pretratamiento Térmico

1.1.8.1. Pretratamiento con vapor de agua

El material lignocelulósico durante el pretratamiento con vapor se coloca en un recipiente grande, exponiéndose a altas temperaturas desde 160 hasta 240°C y presión, durante 1 y 10 minutos. Después de este tiempo, el vapor se libera y la biomasa se enfría rápidamente. El objetivo de un pretratamiento con vapor o de explosión con vapor es solubilizar la hemicelulosa y así tener mejor acceso para la hidrólisis enzimática de la celulosa evitando la formación de los inhibidores. La diferencia entre el pretratamiento con vapor y la explosión con vapor, es que en este último hay una despresurización rápida y refrigeración de la biomasa al final del pretratamiento, lo que hace que el agua de la biomasa explote el material (Cortes, 2014, p.41).

1.1.9. Pretratamiento químico

1.1.9.1. Hidrolisis acida

Es un proceso químico que emplea catalizadores ácidos para transformar de polisacáridos (hemicelulosa y celulosa) en sus monómeros elementales. Este tipo de hidrolisis utiliza diferentes clases de ácidos: sulfuroso, clorhídrico, sulfúrico, nítrico y fórmico. Siendo solamente usados a nivel industrial los ácidos clorhídrico y sulfúrico. Los métodos industriales de hidrolisis acida se agrupan en dos tipos: los que emplean ácidos concentrados (10-30%), trabajan a bajas temperaturas (170-190.C) y mayor tiempo de residencia; y los que utilizan ácidos diluidos (1-5%), a temperaturas más altas (160-240.C), y tiempo de reacción de 6-12 segundos (Sánchez Riaño et al., 2010, p.16).

La principal reacción que ocurre durante el pretratamiento acido es la hidrolisis de hemicelulosa, especialmente xilano como glucomanano. La hemicelulosa puede ser sometida a reacciones hidrolíticas produciendo monómeros, como furfural, HMF y otros productos. Durante el pretratamiento acido la lignina es rápidamente condensada y precipitada en ambientes ácidos (Sánchez Riaño et al., 2010, párr.2).

1.1.9.2. Hidrolisis con álcalis

Se lleva a cabo con NaOH diluido donde se sumerge el material lignocelulósico, a 60°C por 24 horas, produciendo un hinchamiento de la biomasa, teniendo lugar reacciones como solvatación y saponificación. Esto provoca un estado de inflamación de la biomasa, lo que la hace más accesible para enzimas y bacterias. Disoluciones de álcalis fuertes dan lugar a hidrolisis alcalina, degradación y descomposición de polisacáridos y rompimiento de radicales finales.

La pérdida de polisacáridos es causada principalmente por el rompimiento de radicales finales y reacciones hidrolíticas (Sánchez Riaño et al., 2010, p.17).

Este pretratamiento es efectivo en función del contenido de lignina del material lignocelulósico.

1.1.9.3. Hidrólisis enzimática

Proceso de hidrólisis que consiste en la degradación de la celulosa mediante enzimas celulasas. La hidrolisis enzimática consume menos energía dando un producto con mayor rendimiento y puro. Una buena medida de la eficacia de una enzima es el porcentaje de conversión de celulosa, que se define como la cantidad de celulosa convertida en glucosa dividida por la cantidad total de celulosa. Este proceso puede lograr grandes resultados aumentando la dosis de enzimas o el tiempo de hidrólisis (Escalante y Fuentes, 2013, p.19).

1.1.9.4. Contenido enzimático

-Endo β -glucanasas o 1,4- β -glucan glucanohidrolasas (EC 3, 2, 1,4), que rompen los enlaces β -glucosídicos en forma aleatoria en el interior de las moléculas de celulosa (Sánchez Riaño et al., 2010, p.71).

-Exo β -glucanasas o 1,4- β -glucan celobiohidrolasas (EC 3, 2, 1,91), que atacan gradualmente las moléculas de celulosa de los terminales no reductores liberando subunidades de celobiosa. B-glucosidasas o celobiosas (EC 3, 2, 1,21), la que hidroliza celobiosas y celodextrinas de bajo peso molecular (celotriosas y celotetrosas) en glucosa (Sánchez Riaño et al., 2010, p.71).

-Para el caso de la hemicelulosa esta corresponde a un heteropolisacárido, ya que sus ramificaciones están compuestas por más de un tipo de monómero o polisacáridos como es el caso de la xilosa, arabinosa, galactosa, manosa, glucosa y ácido glucoronico, a su vez unidos por un solo tipo de monosacáridos unidos por enlaces β (1-4), que forman cadena lineal ramificada. Entre los cuales destacan la glucosa, la galactosa o la fructosa (dependiendo del tipo de material a emplear). Por ello, con el fin de aprovechar la fracción hemicelulosa se suelen emplear enzimas tales como xilasas, xilanasas, β -1-arabinofuranosidasa, β -xylosidasa, entre otras (Sánchez Riaño et al., 2010, p.72).

1.1.9.5. Detoxificación

Este proceso es utilizado para eliminar todas aquellas sustancias inhibitorias que resulten tóxicas en la fermentación, durante el sometimiento del material lignocelulósico a los diferentes pretratamientos e hidrolisis. De tal modo que no afecte la producción de bioetanol.

La formación de dichas sustancias suele formarse a causa de las altas temperaturas y condiciones ácidas a las que son sometidos los pretratamientos anteriores.

Tabla 1-1: Tipos de sustancias inhibitorias

<i>Substancias Inhibitorias</i>	<i>Efectos</i>
Furfural e hidroximetilfurfural (HMF)	Los efectos que producen el furfural y HFM son la reducción de la tasa específica de crecimiento. <ul style="list-style-type: none"> • Disminuye de la producción de biomasa, productividad específica y volumétrica de etanol. • Causan daños en la membrana plasmático celular. • Inhiben la acción de enzimas.
Ácidos alifáticos	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución del rendimiento en etanol y producción de la biomasa • Muerte celular y la tasa específica de crecimiento se reduce.
Compuestos fenólicos.	<ul style="list-style-type: none"> • Daño en la membrana plasmática celular. • Disminución del rendimiento en etanol y producción de la biomasa • Muerte celular y la tasa específica de crecimiento se reduce.
Combinación de varios compuestos tóxicos	<p>Furfural y ácido acético:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descenso de la tasa de crecimiento • Disminución del rendimiento en etanol y producción de la biomasa <p>Furfural, ácido acético y derivados de lignina:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descenso del rendimiento en etanol y la tasa de crecimiento • Pérdida del rendimiento de biomasa.

Fuente: (Sánchez Riaño et al., 2010, p.75).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

1.1.10. Métodos de detoxificación

Son varios métodos empleados para la detoxificación de la biomasa, siendo los más utilizados: el método overliming, carbón activo, los tratamientos con hidróxidos, extracción con solventes y métodos biológicos. Dichos métodos han demostrado resultados exitosos en la disminución de sustancias inhibitorias tóxicas que afectan los rendimientos de la fermentación, además presenta la ventaja de su bajo costo que resulta en comparación a otros métodos existentes.

Tabla 2-1: Tipos de métodos de detoxificación

Método	Descripción
Tratamientos con hidróxidos	Emplea hidróxidos de cualquier tipo. Forma precipitados con sales de calcio, los cuales son retirados antes de la fermentación. El pH de trabajo es igual a 10. Degrada componentes tales como: Furfural, HMF, ácido acético. En baja proporción los azúcares fermentables.
Overliming	Ca(OH) ₂ , pH = 9–10,5, luego el pH es ajustado a 5,5–6,5 con H ₂ SO ₄ o HCl. Degrada componentes como: Ácido acético, furfural y compuestos fenólicos.
Carbón activo	Su efectividad depende el tipo de material a tratar. Degrada componentes como: Algunos compuestos orgánicos e iones de metales.
Extracción	Se utiliza solventes orgánicos (dietil eter, etil acetato). Degrada componentes como: Ácido acético, furfural, vanillina, ácido hidroxibenzoico, y compuestos fenólicos de bajo peso molecular, remoción de furanos
Biológicos	Uso de enzimas peroxidadas y lacasas. Las primeras, transforman primordialmente fenoles y aminas aromáticas. En cuanto a los microorganismos están los de tipo fúngico y bacteriano empleados para detoxificación. Para el caso de los fúngicos existen investigaciones como donde emplean una cepa aislada de <i>Coniochaeta ligniaria</i> NRRL30616, para tratar los inhibidores presentes en un hidrolizado de maíz después del pretratamiento ácido-diluido. En el caso del uso de bacterias, se utiliza una cepa de <i>Ureibacillus thermosphaericus</i> , para detoxificar hidrolizado de madera pretratado con ácido diluido.

Fuente: (Sánchez Riaño et al., 2010, pp.76-77-78).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

1.1.10.1. Fermentación

La fermentación consiste en la degradación anaeróbica de los compuestos orgánicos, realizada por las enzimas de ciertos microorganismos, llamados levaduras o fermentos. Se produce la transformación de una molécula glucosa en dos moléculas de etanol y en dos de dióxido de carbono (Escalante y Fuentes, 2013, p.7).



La fermentación utiliza células libres de levadura para transformar los azúcares en alcoholes. La levadura más utilizada comercialmente es la *Saccharomyces cerevisiae*. Esta levadura convierte la glucosa en etanol bajo condiciones anaeróbicas, generando dos moles de adenosín trifosfato compuesto portador de energía en los seres vivos. Este microorganismo tiene también la capacidad de convertir las hexosas en CO₂ aeróbicamente, por lo que dependiendo de las concentraciones de O₂ en el medio de cultivo y de la fuente de carbono, se puede favorecer uno

de los dos procesos. Las levaduras tienen la ventaja adicional de tolerar concentraciones relativamente altas de etanol (Escalante y Fuentes, 2013, p.7).

Para evaluar la efectividad de la fermentación se utilizan rendimientos biomasa/producto y producto/sustrato. El rendimiento teórico para la fermentación es de 0,511 g de etanol y 0,489 g de CO₂ por gramo de glucosa; sin embargo, debido a que la levadura utiliza la glucosa para producir, también, otros productos, es difícil alcanzar este rendimiento teórico. El rendimiento experimental varía entre 90 y 95% del teórico y los rendimientos industriales varían entre 87 y 93% del teórico (Escalante y Fuentes, 2013, p.8).

Los principales productos de la fermentación alcohólica son el etanol y CO₂, sin embargo, durante el proceso muchos productos intermedios quedan sin reaccionar como son el piruvato y el acetaldehído; también, se forman otros alcoholes pesados producto de la fermentación de otros azúcares como las pentosas (Escalante y Fuentes, 2013, párr.3).

1.1.10.2. Destilación

“La destilación es un proceso de separación por diferencia en los puntos de ebullición de los componentes de una mezcla, que, al ser sometidos al calor, los compuestos más volátiles como el alcohol se evaporan y se concentran en fase de vapor” (Escalante y Fuentes, 2013, p.9).

1.1.10.3. Destilación simple

En este tipo de destilación se produce la vaporización de un material por la aplicación de calor; el método es empleado en la industria de capacidad moderada y pequeña, para llevar a cabo separaciones parciales de los componentes más volátiles de mezclas de líquidos miscibles. La primera porción del destilado será la más rica en el componente más volátil y conforme continúa la destilación, el producto evaporado se va empobreciendo. Por lo tanto, el destilado puede recolectarse en varios lotes separados, llamados fracciones, obteniéndose así una serie de productos destilados de diferente grado de pureza (Escalante y Fuentes, 2013, p.9).

1.1.10.4. Destilación fraccionada

Este tipo de destilación se realiza en una columna de fraccionamiento que consta de un tubo de vidrio de gran superficie interna que facilita el intercambio de calor entre el vapor ascendente (más caliente) y el condensado descendente (más frío). Con ello, aparecen a lo largo de la columna multitud de vaporizaciones y condensaciones (equilibrios líquido-vapor), resultando que, a medida que se asciende en la columna, el vapor es cada vez más rico en uno de los componentes, mientras que el residuo se enriquece en el otro (Escalante y Fuentes, 2013, p.9).

Con una columna suficientemente larga, los productos de la destilación fraccionada (destilado y residuo) pueden ser componentes puros o un componente puro y un azeótropo, según que la mezcla sea ideal o no ideal (Escalante y Fuentes, 2013, p.10).

1.1.10.5. Deshidratación de etanol

“La deshidratación es un proceso físico que consiste en la separación del agua del destilado, para incrementar la pureza del etanol. La deshidratación produce una mezcla líquida de compuestos químicos que hierven; éstos son llamados azeótropos” (Escalante y Fuentes, 2013, p.10).

1.1.10.6. Éter

Éter Dietílico

El éter dietílico es un líquido incoloro con un olor característico. Es insoluble en agua y tiene una menor densidad. Tiende a generar peróxidos en presencia de luz y aire, por lo que puede encontrarse fijado con limadura de hierro, naftoles, polifenoles, aminas aromáticas y aminofenoles, para disminuir el riesgo de explosiones.

Su fórmula química es $CH_3CH_2-O-CH_2CH_3$ y su nombre IUPAC, etoxietano (Carletti, Pastorino y Varela, 2018, p.86).

Es muy utilizado en la extracción de principios activos de tejidos de plantas y animales debido a que es fácilmente eliminado. Además, se usa como anestésico y como disolvente de grasas, aceites, ceras, resinas, gomas, perfumes, alcaloides, acetato de celulosa, nitrato de celulosa, hidrocarburos y colorantes, principalmente (Carletti, Pastorino y Varela, 2018, p.86).

Tabla 3-1: Propiedades físicas y químicas del éter dietílico

Apariencia	Incoloro
Densidad	713,4 kg/ m ³
Masa molecular	74,12 g/mol
Punto de fusión	-116,3 °C
Punto de ebullición	34,6 °C
Índice de refracción	1,353
Presión de Vapor	440 mmHg
Viscosidad	0,224 cP
Solubilidad en agua	6,9 g/100 ml (20 °C)
Momento Dipolar	1,15 D

Fuente: (Bolívar, 2018).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

1.1.11. Procesos de producción de éter Dietílico

Se han empleado diferentes procesos de fabricación de éter dietílico los mismos que consisten en la deshidratación de alcohol etílico con distintos catalizadores ya sean con ácido sulfúrico o catalizadores sólidos como la alúmina, en fase vapor. Este último proceso es más sencillo, pero ofrece rendimientos más bajos.

1.1.12. Deshidratación catalítica sobre aluminio

La deshidratación catalítica sobre la alúmina se lleva a cabo de 180 a 230°C, siendo las temperaturas más altas requeridas hacia el final de la vida útil del catalizador.

La reacción se lleva a cabo en un horno de tubo de acero, que contiene el catalizador de alúmina. El etanol (94,5% p/p) se pasa primero a través de un vaporizador y luego sobre el catalizador.

El calor de reacción (aproximadamente 25 kJ/Kmol) se elimina bombeando agua a presión para generar vapor. La presión del tambor también se utiliza para controlar la temperatura en el reactor. La conversión de etanol por paso es del 60–80%, dependiendo de la actividad del catalizador. El vapor que sale del reactor se condensa y se lava con solución diluida de hidróxido de sodio para eliminar las trazas de ácido sulfúrico. El rendimiento máximo es del 90% debido a una reacción secundaria, que da lugar a la formación de etileno (Carletti, Pastorino y Varela, 2018, p.108).

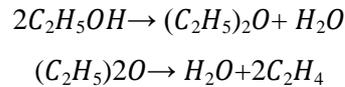
El agua se elimina del catalizador de alúmina calentando sulfato de aluminio potásico cristalino en bandejas planas de hierro hasta que se obtiene una masa fundida viscosa. Después de enfriar, la masa resultante se tritura para dar piezas con un diámetro de aprox. 0,5 - 1 cm; más agua que se elimina luego por calentamiento suave para dar un contenido de agua residual de 15–20% (p/p). Dentro de las ventajas y desventajas del proceso se menciona: El rendimiento es menor a la deshidratación de etanol con ácido sulfúrico, requiere un engorroso tratamiento del catalizador para ser reutilizado y necesita materia prima de elevada pureza (Carletti, Pastorino y Varela, 2018, p.108).

1.1.13. Deshidratación de etanol con ácido sulfúrico

El éter etílico se fabrica por deshidratación de etanol en medio sulfúrico, en el que el ácido actúa de catalizador. Cuando la fabricación se lleva a cabo a partir de etanol vaporizado en cierto grado, la reacción es prácticamente isoterma.

El mecanismo de reacción que produce el éter dietílico comprende dos etapas: en la primera etapa se solubiliza el alcohol en el ácido sulfúrico con la formación de ácido etil-sulfúrico, y en la segunda etapa, este compuesto se descompone por acción del calor, formándose el éter dietílico. La reacción principal es reversible y está limitada por el equilibrio. La única reacción secundaria que ocurre es la deshidratación de éter dietílico a etileno, la cual se controla a través de la

temperatura y la presión con la que se trabaja en el reactor. En el proceso, existe una alícuota de alcohol etílico en exceso (60%) para que la reacción no alcance los 160°C que es cuando se comienza a eliminar ácido sulfúrico y genera etileno (Carletti, Pastorino y Varela, 2018, p.110-111).



Dentro de las ventajas y desventajas del presente proceso se mencionan:

- El alcohol etílico que se utiliza para formar el éter dietílico puede obtenerse a partir de una diversidad de fuentes, incluyendo la hidrogenación de etileno, la fermentación biológica, la hidrogenación del ácido acético, la hidrogenólisis del éster y/o el pirólisis de la madera.
- El catalizador que se utiliza solo requiere un acondicionamiento en la presión y temperatura de trabajo.
- El proceso de deshidratación de alcohol etílico con ácido sulfúrico es el que mayor rendimiento presenta.
- La producción de éter dietílico puede integrarse, con procesos ascendentes, para producir etanol, y los reactivos usados en la misma (Carletti, Pastorino y Varela, 2018, p.112).

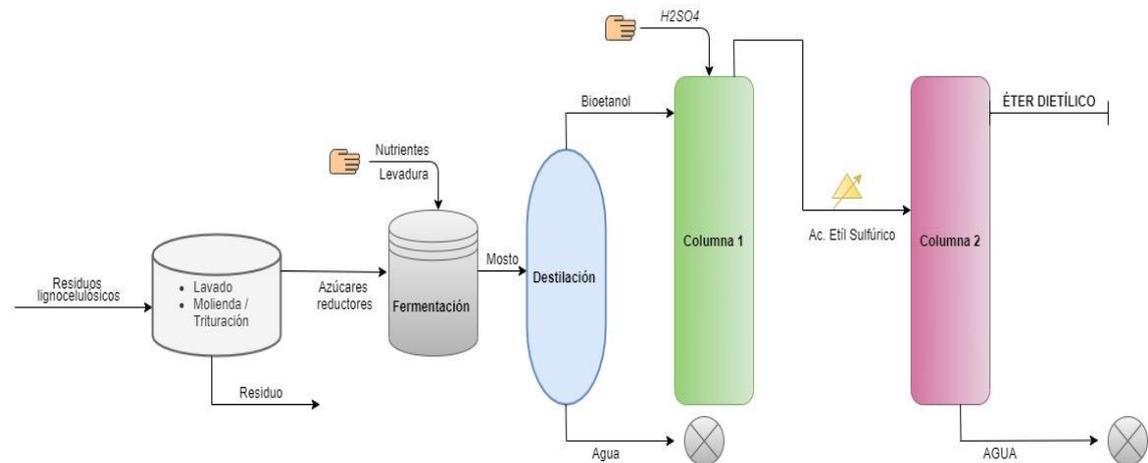


Figura 6-1: Proceso de obtención de éter dietílico, mediante deshidratación de etanol con ácido sulfúrico.

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es cuantitativa y no experimental ya que se analizan datos numéricos sin manipular deliberadamente las variables buscando así la correlación de las variables, permitiendo el análisis estadístico de los mismos. Según el objetivo y nivel de profundización nuestro proyecto es teórico y descriptivo respectivamente ya que se basa en la recopilación de datos de un determinado problema en base a la relación entre las variables explicando de forma clara los fenómenos ocurrentes sin la intervención directa del investigador. Por las condiciones de estudio la investigación se realiza a nivel de campo en un periodo de tiempo determinado con investigaciones ya comprobadas siendo esta de tipo longitudinal ya que se ha extendido a través del tiempo.

2.2. Diseño no experimental

El diseño de la investigación es un diseño no experimental de tipo transaccional correlacional entre los variables residuos y pretratamientos, basándose en una investigación de validación.

2.2.1. Operacionalización de los objetivos

Objetivo General	Objetivos Específicos	Concepto	Indicador	Instrumento
<p>Obtener éter dietílico a partir de la comparación de niveles de eficiencia de bioetanol con residuos lignocelulósicos de: maíz, banano maduro, caña de azúcar y madera mediante revisión bibliográfica.</p>	<p>-Recopilar resultados bibliográficos de obtención de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos del maíz, banano maduro, caña de azúcar y madera.</p> <p>-Describir la composición química de los diferentes residuos lignocelulósicos.</p> <p>-Comparar entre las hidrólisis empleadas en cada residuo para la obtención del bioetanol.</p> <p>-Identificar el mejor pretratamiento en cada uno de los residuos lignocelulósicos, en base a su eficiencia.</p> <p>-Establecer el método más eficaz para la obtención de éter dietílico.</p>	<p>-La obtención del éter dietílico proviene del bioetanol el cual tiene procesos específicos como son: fermentación, destilación y deshidratación.</p> <p>Los cuatro residuos lignocelulósicos poseen características químicas y organolépticas, además requieren de un tratamiento específico (hidrólisis)</p>	<p>-Grados (alcohólicos)</p> <p>-Porcentaje (%)</p> <p>-pH</p> <p>-Peso (Kg)</p> <p>-Temperatura (°C)</p>	<p>-Computador</p> <p>-Word</p> <p>- Microsoft Excel</p> <p>-Documentos Bibliográficos</p>

2.2.1.1. Técnicas de recolección de datos

La recolección de bases teóricas es en base a lecturas, documentos de la web, artículos científicos, tesis, libros, análisis de documentos.

El proceso de recolección, clasificación, registro y codificación de datos se analizará mediante tablas y gráficos según los parámetros a determinar de cada muestra.

2.2.1.2. Diseño

Se realizó una revisión bibliográfica de documentos científicos y académicos dedicados al estudio de la química y sus diversas ramas especialmente la bioquímica, química industrial e ingeniería química y química de alimentos.

El objetivo de la revisión se centró en la respuesta a la pregunta: ¿existe beneficio en el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos y sus pretratamientos químicos para la obtención de éter dietílico?

2.2.1.3. Estrategia de búsqueda

Primeramente se llevó a cabo una búsqueda en Google Scholar de documentos, artículos, de diferentes sociedades, asociaciones e instituciones profesionales tanto en Ecuador como en el contexto internacional sobre la obtención de azúcares fermentables y sus pretratamientos químicos para la producción de bioetanol, y a su vez la obtención de éter dietílico. Esta búsqueda se realizó tanto en español como en inglés.

Se realizó una búsqueda de revisiones bibliográficas en la biblioteca virtual de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO de la cual se obtuvieron artículos científicos de la revista SciELO y del sitio web Science Direct.

Se analizaron las referencias bibliográficas de los documentos seleccionados, con el fin rescatar otros estudios potencialmente incluíbles para la revisión de literatura.

Finalmente se realizó una revisión de literatura de páginas web de los ministerios del Ecuador, especialmente del Ministerio del Ambiente y Agua, Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables sobre la producción de maíz, banano maduro, arroz, caña de azúcar, naranja y pino, así como los desechos agroindustriales generados en el país por los productos mencionados.

2.2.1.4. Criterios de inclusión y exclusión

En la búsqueda de literatura gris se incluyó todo tipo de documentos aportados por las diferentes instituciones, asociaciones y sociedades profesionales que hacían recomendaciones y estudios

sobre los preparamientos químicos para la producción de bioetanol como producto intermedio para la obtención de éter dietílico mediante residuos agroindustriales lignocelulósicos.

Respecto a las revisiones bibliográficas y estudios científicos se aplicó como criterio de inclusión a estudios realizados en los últimos 7 años, a su vez que estos estudios se basen únicamente en las diferentes hidrolisis químicas como pretratamientos para la obtención de azúcares fermentables.

El principal criterio de exclusión fue que los artículos no incluyeran información completa sobre los pretratamientos químicos usados para la obtención de bioetanol, fuentes no seguras en las que no constaba autor o fecha de publicación.

2.2.1.5. Extracción de datos

Después de la búsqueda inicial se identificaron 182 bibliografías, de las cuales se excluyeron 95 que no fueron relevantes para el objetivo de esta revisión. Finalmente se seleccionaron 10 revisiones bibliográficas para cada residuo lignocelulósicos (tuza, de maíz, residuos de banano maduro, bagazo de caña de azúcar, cascarilla de arroz, cascaras de naranja, aserrín de pino) en las que incluía artículos científicos, publicaciones de revistas y sitios web, tesis de titulación, de maestría y doctorales. Mediante la revisión de resúmenes y en caso necesario los artículos completos, se procedió a la selección de bibliografía con el propósito de decidir si la información que contenían estaba o no relacionada con nuestro objetivo.

2.2.1.6. Análisis de los datos.

La información analizada se estructuró en tres grupos de los cuales se extrajo para cada grupo de población, información de diferentes variables:

Grupo 1: dedicado a la obtención de bioetanol. Se analizaron diferentes variables como son: pretratamientos químicos (hidrolisis), fermentación de azúcares, rendimientos y eficiencia de los pretratamientos.

Grupo 2: Se destinó a los productos y desechos generados de los diferentes materiales lignocelulósicos estudiados, en los cuales se analizaron ventajas y desventajas de los mismos, porcentajes en toneladas por año que generan los desechos, así como su producción a nivel nacional.

Grupo 3. Se analizaron documentos de la obtención de bioeter (éter dietílico), teniendo en cuenta variables como: métodos de obtención, país de producción y consumo, estudios previos a la obtención del bioeter a partir de residuos agroindustriales, costos, beneficios y desventajas del mismo. De la bibliografía seleccionada se extrajo información sobre el país donde se realizó el estudio autoría, revista y año de publicación, tipo de estudio, resultados, y conclusiones.

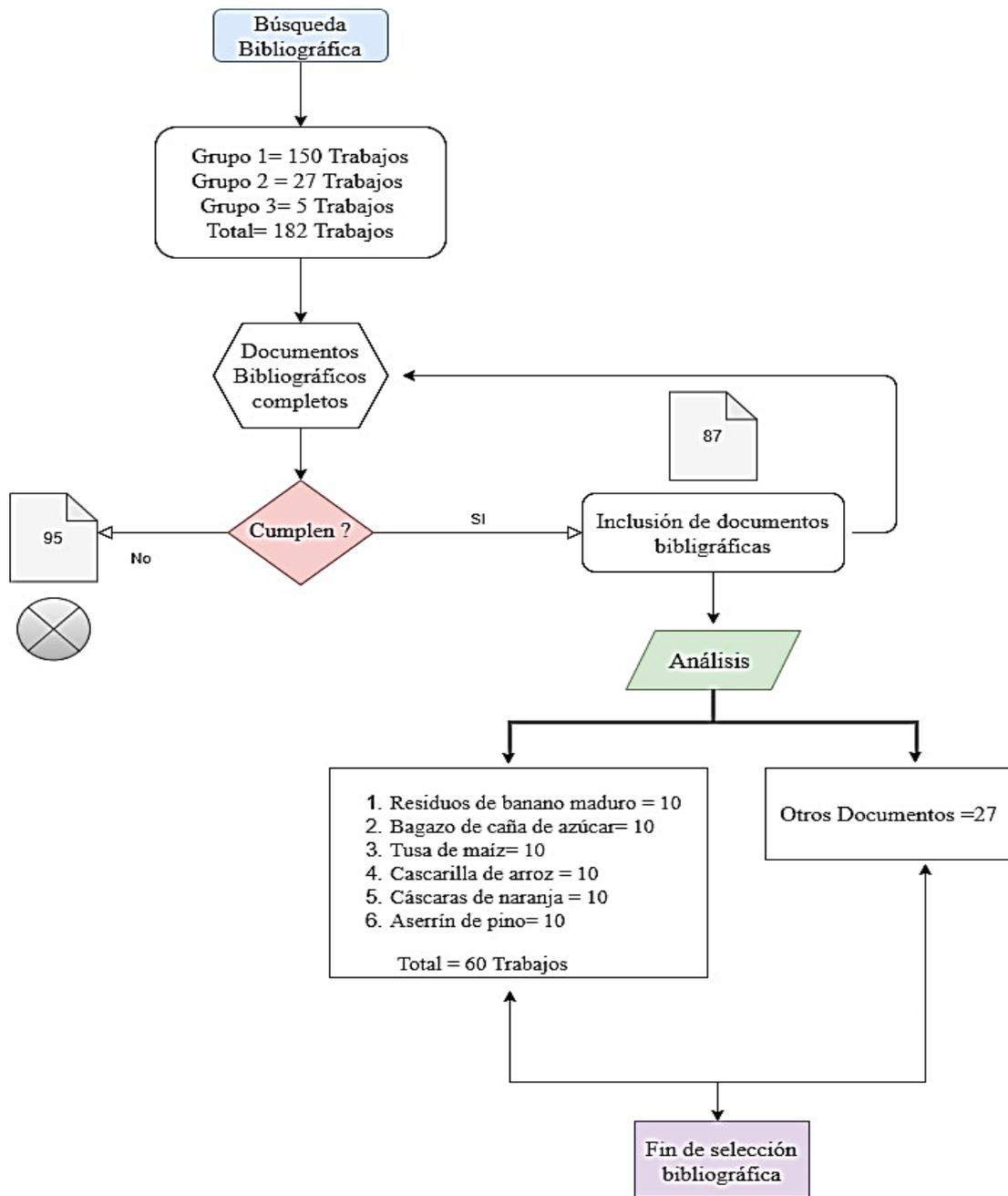


Figura 1-2: Diagrama de flujo de selección de trabajos en el diseño de Revisión Bibliográfica.

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

❖ **Descripción de la composición química de los diferentes residuos lignocelulósicos según su origen**

Los datos obtenidos para el análisis y cumplimiento del objetivo específico 1, son resultados de investigación bibliográfica y/o documental de los 60 trabajos seleccionados en base a cada uno de los residuos mencionados, con el propósito de profundizar y ampliar el conocimiento sobre el tema propuesto. En el cual se realizaron tablas describiendo los porcentajes de los componentes químicos principales y secundarios de cada uno de los residuos ya mencionados anteriormente, en los mismos que se planteó la pregunta: ¿influyen sí o no en los resultados para concluir nuestro trabajo?, por ende los que si influyen son extraídos para realizar una tabla resumen en forma descendente de los componentes principales de cada uno de los residuos siendo estos la celulosa, hemicelulosa y lignina para la obtención de azúcares reductores.

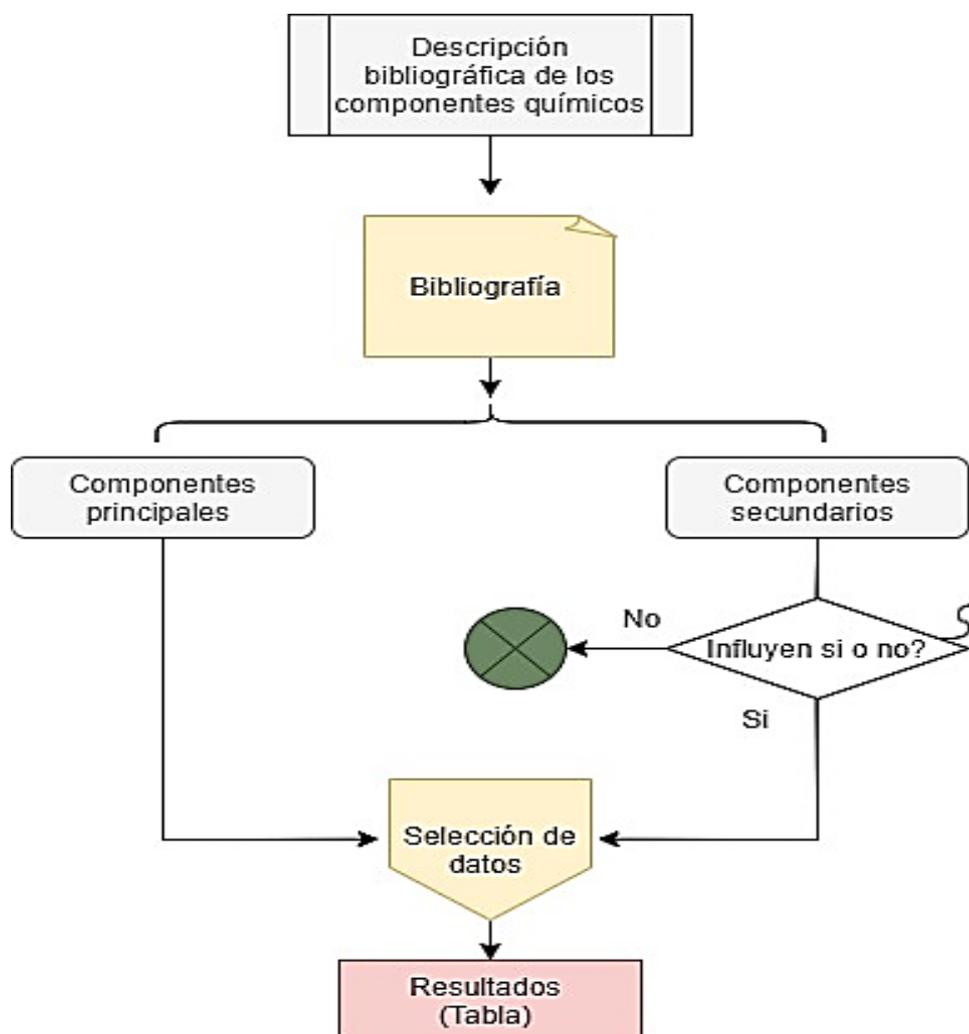


Figura 2-2: Diagrama de flujo de análisis y selección de componentes químicos de los residuos lignocelulósicos.

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

❖ **Comparación e identificación de los pretratamientos de hidrólisis empleadas en cada residuo lignocelulósico en base a su rendimiento y eficiencia, para la obtención de bioetanol**

Los datos obtenidos son resultado de investigación bibliográfica en donde se realizó tablas con los pretratamientos utilizados en cada uno de los seis residuos lignocelulósicos. Los preparamientos investigados son: mecánico, donde se realiza una molienda o trituración para la reducción de la partícula y el químico en este caso la hidrólisis alcalina, ácido diluido, ácida y enzimática, las mismas que son empleadas para los residuos de la siguiente manera:

- Hidrolisis alcalina: tusa de maíz, bagazo de caña de azúcar y cáscara de banano.
- Hidrolisis acido diluido: tusa de maíz, bagazo de caña de azúcar y cáscara de banano.
- Hidrolisis combinada: cáscaras de naranja y aserrín de pino.
- Hidrolisis acida + enzimática: cascarilla de arroz.

De las hidrolisis mencionadas se tomaron diferentes variables (reactivo/concentración, peso, temperatura y tiempo) para la obtención del porcentaje de azucares reductores, siendo este resultado final para los resultados planteados en tablas. Además, se hicieron tablas de semejanzas entre los pretratamientos que utilizan los seis residuos lignocelulósicos. De tal manera se llevó a cabo el análisis y cumplimiento del objetivo específico 2.

El objetivo específico 3 se estableció mediante una tabla comparativa de las ventajas y desventajas de cada una de las hidrolisis químicas utilizadas, las cuales se plantearon mediante revisión bibliográfica de diversos autores, identificando de esta manera la eficiencia de cada uno de los pretratamientos para establecer conclusiones de nuestro trabajo investigativo.

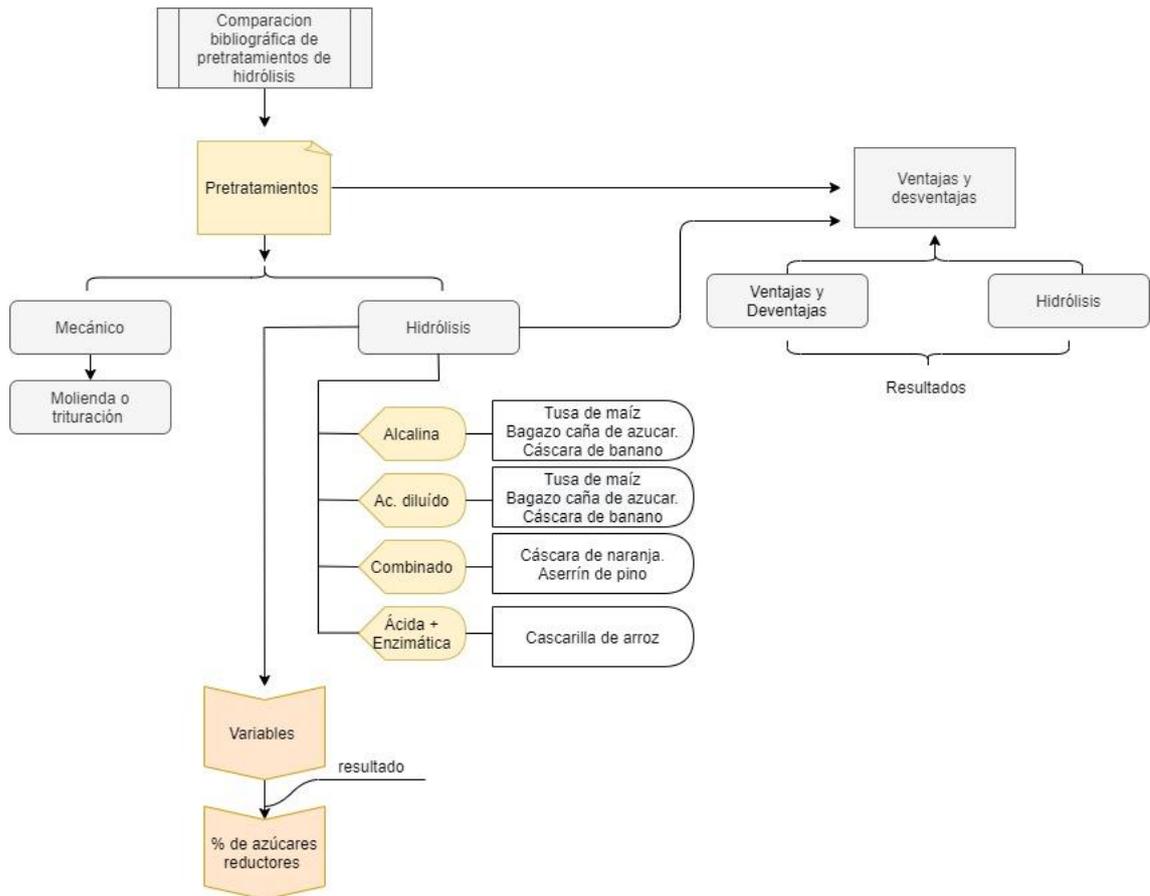


Figura 3-2: Diagrama de flujo de comparación e identificación de los pretratamientos utilizados en los residuos lignocelulósicos.

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

3.1. Composición Química de Residuos Lignocelulósicos

Tabla 1-3: Componentes químicos de la tusa de maíz

Citas Bibliográficas	Componentes (%)				
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Cenizas	Componentes extraíbles
(Montiel y Romero, 2015)	36,8	30,6	23,1	-	-
	29,9	32,7	12,7	-	-
	36,0	23,0	17,0	-	-
	45,0	35,0	15,0	-	-
	50,0	33,6	15,8	-	-
(Guzman, 2018)	43,0	25,0	29,0	-	3,0
(Córdoba, Rodríguez y Zamora, 2013)	45,0	33,6	15,8	2,0	-
	34,3	31,1	18,8	-	-
	34,3	39,0	14,4	-	-
	30,0 – 41,7	33,7 – 41,2	4,5 -15,9	-	-
(Ruiloba, Vega y Franco, 2014)	35,7	42,6	3,23	2,8	-
(Retto, 2019)	45,6	36,9	15,1	-	-

Fuente: (Montiel y Romero, 2015), (Guzman, 2018), (Córdoba, Rodríguez y Zamora, 2013), (Ruiloba, Vega y Franco, 2014), (Retto, 2019).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

La Tabla N^o 1-3, se observa varios datos de la composición química de la tusa de maíz en la cual los valores con mayor porcentaje representan a la celulosa y hemicelulosa, los cuales van de 30 a 46% en ambas, estos resultados presentan una diferencia mínima, dicha diferencia según la bibliografía se debe a la variedad de maíz, estado de madurez y labores agronómicas; por ejemplo “el contenido de la hemicelulosa disminuye a medida que la planta crece, pues parte de los glúcidos van a los granos en forma de almidón y una menor proporción pasa a constituir la pared celular” (Romero et al., 2014, p.664).

Por otro lado, se encuentra la cantidad de lignina la cual presenta valores alrededor del 15% en la mayoría de datos bibliográficos, además se han reportado datos de cenizas y compuestos extraíbles los mismos que indican porcentajes mínimos entre 2 y 3 % del residuo.

Tabla 2-3: Componentes químicos del bagazo de la caña de azúcar

Citas Bibliográficas	Componentes (%)				
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Cenizas	Componentes extraíbles
(Intriago y Sabando, 2017)	32,0	37,5	18,0	-	-
(Zumalacárregui et al., 2015)	50,0	30,0	20,0	2,4	-
(Mantilla, 2012)	32,0	37,5	18,0	-	-
(López et al., 2008)	53,7	-	26,4	-	-
(Orlandi y Cibau, 2019)	35,7	20,7	17,0	3,1	23,0
(Zola y Barranzuela, 2017)	48,8	24,4	25,8	-	-

Fuente: (Intriago y Sabando, 2017), (Zumalacárregui et al., 2015), (Mantilla, 2012), (López et al., 2008), (Orlandi y Cibau, 2019), (Zola y Barranzuela, 2017).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

Los datos representados en la tabla N°2-3, presentan mayor porcentaje de celulosa que los demás componentes químicos siendo esta de 53,7 el valor más alto y 32 el más bajo, seguidamente de hemicelulosa contenido en porcentajes de 37,5 el valor más alto y 20,7 el más bajo, luego tenemos el porcentaje de lignina que es menor que el de la celulosa y hemicelulosa, teniendo 26,3 el valor más alto y 17 el más bajo. Este residuo también contiene componentes extraíbles de 23 % y por último en porcentajes menores de cenizas en un intervalo de 2,4 – 3,1 %.

Tabla 3-3: Componentes químicos de la cascarilla de arroz

Citas Bibliográficas	Componentes (%)				
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Cenizas	Extraíbles
(Piñeros y Otálvaro, 2009)	35,0 – 40,0	15,0 – 20,0	20,0 – 25,0	3,4	-
(Vásquez, 2019)	34,0	46,7	19,3	20,0	-
(Sánchez Riaño et al., 2010)	25,9 -35,5	18,1 – 21,4	18,2 – 24,6	-	-
(Perez, 2013)	34,4	21,1	18,0	-	-
(Sánchez, 2018)	34,1	13,1	19,0	15,0	8,2

Fuente: (Piñeros y Otálvaro, 2009), (Vásquez, 2019), (Sánchez Riaño et al., 2010), (Pérez, 2013), (Sánchez, 2018).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

Los datos representados en la tabla N° 3-3, presentan mayor porcentaje de hemicelulosa frente a los demás componentes químicos teniendo 46,7% el valor más alto y 15 % el más bajo, luego el porcentaje de celulosa con un intervalo de 40 - 34%, después la lignina con un intervalo de 25-18,0 %. La cascarilla de arroz también contiene en menor porcentaje cenizas que corresponde a un intervalo de 20-3,41%.

Tabla 4-3: Componentes químicos del residuo del banano (cáscara)

Citas Bibliográficas	Componentes (%)				
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Cenizas	Extraíbles
(Monsalve, Medina y Ruiz, 2016)	13,2	14,8	14,0	11,3	-
(Zola y Barranzuela, 2017)	23,0	23,0	29,8	-	-
(Vargas, 2018)	15,5	4,3	14,7	3,4	-

Fuente: (Monsalve, Medina y Ruiz, 2016), (Zola y Barranzuela, 2017), (Vargas, 2018).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

La tabla N°4-3 de los componentes químicos representados el mayor porcentaje es de lignina con un alto valor de 29,87, y el más bajo de 14,0 seguido de la hemicelulosa con un valor de 23,0 que es el más alto y 4,33 el más bajo. Luego la celulosa con un intervalo de 23,0 -13,2%. Este residuo contiene un porcentaje de cenizas el cual es el menor de todos los componentes expuestos y corresponde a 3,4 -11,3 %.

Tabla 5-3: Componentes químicos de residuos de cáscara de naranja

Citas Bibliográficas	Componentes (%)				
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Cenizas	Humedad
(Litrán, 2017)	20,6	10,8	2,6	0,4 - 9,0	60,0 – 82,0
(Tejeda, Marimón y Medina, 2015)	20,0 – 37,0	10,0 – 20,0	7,0 – 8,5	-	-

Fuente: (Litrán, 2017), (Tejeda, Marimón y Medina, 2015).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

En la Tabla N ° 5-3, se reportan datos sobre la composición química de la cascara de naranja, donde se destacan los componentes principales: celulosa que contiene alrededor del 20 al 37% siendo la de mayor porcentaje en la cascara; hemicelulosa con datos de 10,8 a 20 %; lignina de 2,6 a 8,5%. El contenido de cenizas muestra datos entre 0.4 a 9.0% y humedad porcentajes de 60 a 82%.

Tabla 6-3: Componentes químicos de aserrín de pino (*Pinus sylvestris*)

Altura	Componentes (%)					
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Cenizas	Extraíbles	Humedad
Basal	45,0 - 55,0	2,0 – 37,0	26,0 – 30,0	0.1-0.7	7,0 – 12,0	11,0 – 13,0
Media	49,0 - 55,0	-	21,0 – 35,0	0.1-0.6	6,0 – 12,0	9,0 – 12,0
Apical	46,0- 56,0	-	25,0 – 34,0	0.1-0.4	7,0 – 11,0	9,0 – 11,0

Fuente: (Fonseca, 2006).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

En la tabla N^o 6-3 se observan datos acerca de los componentes químicos de residuos de pino, presentan valores altos en celulosa que varían de acuerdo a la altura de la planta los mismos que están entre 45 a 56%, el porcentaje de hemicelulosa para una planta de altura basa según la bibliografía reporta de 21 a 37%; el contenido de lignina se encuentra en valores de 21 a 35% siendo este componente mayor que en otros residuos lignocelulósicos. Así también se reporta datos de cenizas de 0.1 a 0.7%, compuestos extraíbles entre 7 y 12% y porcentajes de humedad que van de 9 a 13% los cuales indican porcentajes mínimos sobre el material lignocelulósico. Estableciendo que tal composición química concuerda con datos de plantas coníferas citadas en la literatura.

Tabla 7-3: Componentes químicos principales de los residuos lignocelulósicos.

Residuo	Componentes		
	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)
Tusa de maíz	30 – 50	23 – 45	3 – 23
Bagazo de caña de azúcar	32 – 54	20 – 38	17 – 27
Cascarilla de arroz	25 – 40	20 – 46	18 – 25
Cáscaras de banano	13 – 24	4 – 23	14 – 30
Cáscaras de naranja	20 – 37	10 – 20	2 – 9
Aserrín de pino	45 – 56	21 – 37	20 – 35

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

En la presente tabla se observa datos de la composición química de varios residuos lignocelulósicos (tuza de maíz, bagazo de caña de azúcar, cascarilla de arroz, cáscaras de banano, cáscaras de naranja y aserrín de pino), en la cual los valores con mayor porcentaje representan a la celulosa con porcentajes que alcanzan hasta el 56%, seguida de la hemicelulosa con valores que van de 20 a 46% en la mayoría de residuos. Por otro lado, se encuentra la cantidad de lignina la cual presenta valores alrededor del 15 al 30% en la mayoría de datos, indicando que es el componente minoritario de los residuos mencionados.

La diferencia mínima que presentan los valores, según la bibliografía se debe a la variedad, estado de madurez y labores agronómicas de cada residuo.

3.2. Hidrólisis empleadas en cada residuo lignocelulósico para la obtención de azúcares fermentables

Tabla 8-3: Parámetros óptimos para los pretratamientos mecánico e hidrólisis de tusa de maíz

Pretratamientos					
Mecánico	Molino de bolas y/o martillo (tamaño de partícula 0,2-6mm)				
Hidrolisis	Parámetros				
	Reactivo/ concentración (%)	Peso de residuo (g)	Temperatura (°C)	Tiempo	Rendimiento de azucares reductores
- Acido diluido	HCl, HNO ₃ , H ₂ SO ₄ / 0,1-8%	10-60	100-250	30-60 mint	18-60% de celulosa
- Alcalina	NaOH /2-15%	10-60	60-125	24horas	≥ 50 % hemicelulosa

Fuente: (Montiel y Romero, 2015).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

En la tabla N°7-3, se muestra las condiciones óptimas para la obtención de azucares reductores a partir de la tuza de maíz. En el pretratamiento mecánico el residuo lignocelulósico se redujo a un tamaño de partícula 0.2 a 6 mm.

El pretratamiento para el residuo se lleva a cabo de dos maneras, la primera es por hidrolisis acida utilizando mayormente H₂SO₄ con concentraciones del 0.1 al 8% para evitar producir inhibidores durante el proceso. La carga de solido entre 10 y 60%, la misma que es directamente proporcional a la cantidad de azúcares reductores, dado que el ácido tiene la posibilidad de romper mayor número de enlaces debido a una mayor cercanía entre el ácido y el material lignocelulósico.

La temperatura óptima oscila entre 100 y 250 °C, con un tiempo de residencia de 30 a 60 minutos, mismas que están dentro del rango menor a 1 hora, establecido en investigaciones previas de hidrólisis ácidas diluidas. Por tanto, bajo estas condiciones el mayor aporte de azúcares reductores lo hizo la celulosa, con el 60% de presencia en el material lignocelulósico.

Así también se observa los datos de las condiciones óptimas mediante hidrolisis alcalina la cual se lleva a cabo con NaOH al 2-15%, con un tiempo de 24 horas y temperaturas dentro del rango de 60 a 125 °C. Bajo estas condiciones el mayor aporte de azúcares reductores es de la hemicelulosa con el 50% de presencia en el residuo.

Tabla 9-3: Parámetros óptimos para los pretratamientos mecánico e hidrolisis del bagazo de la caña de azúcar

Pretratamientos					
Mecánico	Molino de martillos (tamaño de partícula menor a 2 mm)				
Hidrolisis	Parámetros				
	Reactivo/ concentración (%)	Peso de residuo (g)	Temperatura (°C)	Tiempo	Rendimiento de azúcares
- Acido diluido	HCl, HNO ₃ , H ₂ SO ₄ / 4-2%	10	55 - 75	0-180 min	0,307-0,767
- Alcalina	NaOH / 1-1,5%	20	75	30-60 min	52,65 -58,31% de celulosa

Fuente:(Mantilla, 2012).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

La tabla N°8-3, presenta los pretratamientos más empleados, los cuales son el mecánico y las hidrólisis con ácido y con base. Para el pretratamiento mecánico con el molino de martillos el tamaño de partícula se reduce a 2 mm.

La hidrólisis alcalina es necesaria para la solubilidad de la lignina, se utiliza 20 gramos de residuo y se realiza con hidróxido de sodio del 1 al 1,5 % p/v a una temperatura de 75°C, en un intervalo de tiempo de 30 a 60 minutos obteniendo de 52,65-58,31% de rendimiento de azúcares es decir de celulosa.

La hidrólisis ácida es imprescindible para la conversión de hemicelulosa en xilosa, se utiliza 10 gramos de bagazo de caña de azúcar con ácido clorhídrico, ácido nítrico o ácido sulfúrico con una concentración de 2-4 %, la temperatura oscila de 55-75 °C en un tiempo de 0-180 por lo que se obtiene del 0,307-0,767 % en rendimiento de azúcares.

Tabla 10-3: Parámetros óptimos para los pretratamientos mecánico e hidrolisis de la cascarilla de arroz.

Pretratamientos					
Mecánico	Molinillo de discos				
Hidrolisis	Parámetros				
	Sustancia	Peso de residuo (g)	Temperatura (C°)	Tiempo	Rendimiento de azúcares%
- Acida	H ₂ SO ₄ /2%	10	125	3 horas	0,07-0,56
- Enzimática	Buffer, 0,25g enzima	5 celulosa	50	6 días	0,371-0,597

Fuente: (Vásquez, 2019).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

La tabla N° 9-3, presenta valores de los pretratamientos para la cascarilla de arroz los cuales son el mecánico y las hidrólisis tanto ácida como enzimática. Para el pretratamiento mecánico se emplea el molinillo de discos para reducir las partículas, las cuales son casi pulverizadas.

En la hidrólisis ácida se utiliza 10 gramos de residuo con ácido sulfúrico con una concentración de 2% a temperatura de 125 °C en un tiempo de 3 horas, por lo que se obtiene en rendimiento de azúcares un intervalo de 0,07-0,56 %. Mientras que en la hidrólisis enzimática se utiliza un buffer con un pH de 4 con 5 gramos de celulosa a una temperatura de 50 ° C durante 6 días, el rendimiento de azúcares oscila entre 0,371% y 0,597 %.

Tabla 11-3: Parámetros óptimos para los pretratamientos mecánico e hidrólisis de las cáscaras del banano maduro

Pretratamientos					
Mecánico	Molino tamaño de partícula (0,3-0,5cm)				
Hidrólisis	Parámetros				
	Reactivo/ concentración (%)	Peso de residuo (g)	Temperatura (°C)	Tiempo	Rendimiento de azúcares %
- Acido diluido	H ₂ SO ₄ / 0,04%	50	26-68	30 min	2,523 -5,988
- Alcalina	Na(OH)/ 10%	50	26	24 horas	

Fuente: (Cortes et al., 2013).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

Los pretratamientos más importantes para las cáscaras del banano maduro son el mecánico y las hidrólisis básica y ácida. Con un molino manual se reduce la partícula entre 0,3-0,5 mm.

En la hidrólisis alcalina se utiliza 50 gramos de residuo se la realiza con hidróxido de sodio al 10% a temperatura ambiente durante 24 horas, obteniendo un porcentaje de azúcares reductores (glucosa) en un intervalo de 2,523-5,988 %. Para la hidrólisis ácida se utiliza 50 gramos de residuo, con ácido sulfúrico al 0,04 % a una temperatura de 26-68°C en el período de 30 minutos y se obtiene 2,523-5,988 % de rendimiento de azúcares reductores.

Tabla 12-3: Parámetros óptimos para los pretratamientos físicos e hidrolisis de cascara de naranja

Pretratamientos					
Lavado	Agua destilada a temperatura ambiente				
Secado	Estufas, hornos	Temperatura: 40-70 °C		Tiempo: 90 minutos a 1 día	
Mecánico	Molienda (tamaño de partícula 0,2mm – 1cm)				
Hidrolisis Combinada	Parámetros				
	Reactivo/ concentración (%)	Peso de residuo (g)	Temperatura (°C)	Tiempo	Rendimiento de azúcares reductores
	- Alcalina NaOH /0.1 N + CaSO ₄	-	-	15 mint 3 horas	35 %
	- Acido diluido H ₂ SO ₄ / 2-5%	100	121-125	15-90 minut	

Fuente: (Litrán, 2017), (Tejeda et al., 2010), (Gutiérrez, 2016).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

La tabla N°11-3 muestra datos donde se describe las condiciones óptimas para la obtención de azúcares reductores, los mismos que consisten en un pretratamiento mecánico en el cual las cáscaras de naranja son sometidas a un lavado y secado (se lleva a cabo en hornos o estafas a temperaturas que van de 40 a 70 °C, con un tiempo de 90 minutos a un día).

Las cascarras de naranja se redujeron a un tamaño de partícula 0.2mm a 1 cm

El tratamiento químico consiste de dos etapas, primero se realiza la eliminación de lignina, sumergiendo las muestras en una solución de NaOH 0.1N durante 15 minutos. Posteriormente se adiciona CaSO₄ dejando en reposo por 3 horas.

A continuación, se lleva a cabo la hidrólisis ácida con ácido sulfúrico al 2 o 5% por cada 100 gramos de cáscara, a una temperatura de 121 a 125°C y 15 psi, durante un tiempo que oscila dentro del rango de 15 a 90 minutos, como lo reportan varios autores. Obteniendo azúcares con un porcentaje menor o igual al 35%, el mismo siendo bajo con respecto a otros residuos, esto se debe al contenido de aceites esenciales y flavonoides en el material.

Tabla 13-3: Parámetros óptimos para los pretratamientos físicos e hidrolisis de aserrín de pino (*Pinus sylvestris*)

Pretratamientos					
Mecánico	Molienda: molino de bolas y/o martillo (tamaño de partícula 0,5-3mm)				
Hidrolisis Combinada	Parámetros				
	Reactivo/ concentración (%)	Peso de residuo (g)	Temperatura (°C)	Tiempo	Rendimiento de azúcares reductores
	- Acido diluido	HCl, HNO ₃ , H ₂ SO ₄ / 1-10%	-	120-200	15-60 minut
- Alcalina	NaOH /1-12%	-	90-130	60-90minut	

Fuente: (Trillo, 2012), (Rodríguez et al., 2017).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

Los datos de parámetros óptimos observados en la tabla N° 12-3 muestra que el material lignocelulósico se pretrató en dos etapas: la primera, se realizó con ácido sulfúrico a concentraciones que oscilan entre 1 a 10 % con un tiempo de reacción de 15 a 60 minutos y temperatura dentro del rango de 120 a 200 °C. La segunda etapa con hidróxido de sodio al 1-12% (rango óptimo). El tiempo de reacción empleado va de 60 a 90 minutos con temperaturas de 90 a 130 °C, alcanzando las mejores condiciones de deslignificación con porcentajes alrededor del 35% de azúcares reductores. La cantidad requerida para efectuar una buena deslignificación depende de la especie de la madera y de otros factores tales como la dimensión de la madera. (Sarria, y otros, 2018)

- Semejanzas Entre Residuos Lignocelulósicos Con Respecto A Las Hidrolisis Empleadas

Tabla 14-3: Tusa de maíz y bagazo de caña

Residuos	Hidrólisis	Ácido	Concentración (%)	Temperatura (°C)	Tiempo mint- horas
- Tusa de maíz	Ácido diluido	H ₂ SO ₄	0,1 – 10	60 – 250	30 mint – 3 horas
-Bagazo de caña					

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

En la presente tabla se muestra una semejanza entre los residuos lignocelulósicos de: tusa de maíz y bagazo de caña, en los cuales se realizan pretratamientos químicos ya sea con ácido diluido utilizando ácido sulfúrico H₂SO₄ a concentraciones que van de 0,1 a 10%, a una temperatura que

oscila de 60 a 250 °C, en un intervalo de tiempo de 30 minutos a 3 horas. Así mismo se utiliza la hidrólisis alcalina para dichos residuos, en la cual el reactivo con mayor uso es el hidróxido de sodio NaOH a una concentración de 0,5 a 15 % a temperaturas de 60 a 125 °C durante 24 horas.

Tabla 15-3: Cáscaras de naranja, aserrín de pino y cáscaras de banano maduro.

Residuos	Hidrólisis	Ácido	Concentración (%)	Temperatura (°C)	Tiempo mint- horas
Cáscaras de naranja Aserrín de pino Cáscaras de banano maduro	Combinada Ácido diluido – Alcalina	H ₂ SO ₄ - NaOH	H ₂ SO ₄ (0.1- 10) - NaOH (1- 12)	H ₂ SO ₄ (120- 200) - NaOH (90- 130)	H ₂ SO ₄ (15mint- 3 horas) - NaOH (15-90 mint)

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

Los residuos de cáscara de naranja y aserrín de pino muestran semejanzas en sus pretratamientos químicos como se observa en la tabla, estos residuos son pre tratados mediante una hidrólisis combinada es decir se realiza en dos etapas, en la primera etapa se realiza una hidrólisis con ácido diluido usando ácido sulfúrico H₂SO₄ a concentraciones que van de 0.1- 10%, con temperaturas entre 120 y 200 °C, durante un tiempo de 15 minutos a 3 horas. Seguidamente se continúa con la hidrólisis alcalina la cual se trabaja con hidróxido de sodio NaOH al 1 hasta 12 % de concentración, a temperaturas que oscilan en un rango de 90 a 130 C durante 15 a 90 minutos. Cabe mencionar que para los residuos de naranja la hidrólisis alcalina que se realiza es con NaOH más sulfato de calcio CaSO₄ a temperatura ambiente,

Los residuos lignocelulósicos mencionados presentan este tipo de pretratamiento debido a los componentes químicos que posee cada uno. En el caso del pino al ser una planta conífera el contenido de lignina es mayor en comparación al resto de residuos analizados, por tanto, es recalcitrante hacia un solo tipo de hidrólisis. Mientras que para las cáscaras de naranja resulta adecuado la hidrólisis combinado ácido- base ya que presenta componentes químicos como: flavonoides, aceites esenciales, compuestos inhibidores propios de los cítricos.

Tabla 16-3: Hidrolisis de la cascarilla de arroz

Residuos	Hidrólisis	Sustancia	Concentración	Temperatura (°C)	Tiempo mint- horas
Cascarilla de arroz	Ácido diluido	H ₂ SO ₄	2%	125	3 horas
	Enzimática	Celulasa	0,25 g	50	6 días

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

La cascarilla de arroz es un residuo que necesita tratamiento distinto a todos los residuos mencionados anteriormente, ya que se realiza hidrólisis ácida con ácido sulfúrico al 2 % a temperatura de 125 °C durante 3 horas y la hidrólisis enzimática que es un proceso biotecnológico con la finalidad de obtener glucosa y se utiliza 0,25 gramos de enzima a 50 °C durante 6 días.

Tabla 17-3: Condiciones óptimas de cada residuo lignocelulósico, con respecto a sus ventajas y desventajas de los pretratamientos de hidrólisis.

Residuo Lignocelulósico	Pretratamiento	Parámetros			Ventajas	Desventajas
		Reactivo/%	Temperatura °C	Tiempo minut-horas		
Tusa de maíz	Hidrolisis diluida	H ₂ SO ₄ / 0,1-8%	> 100 < 250	30 – 60 minut	- Consumo bajo de ácido. - Aporte de celulosa, con el 60% - Altas trmperaturas favorecen la hidrolisis de celulosa. - Cerca del 80% de la hemicelulosa es hidrolizada.	- Mayor corrosión en equipos debido al requerimientos de altas temperaturas - Azucares hemicelulósicos se degradan mayormente. - Riesgo de formación de inhibidores
	Hidrolisis alcalina	NaOH /2-15%	> 60 < 125	24 horas	- presencia del 50% de hemicelulosa. - Disminución del nivel de cristalización y aumento del área superficial interna. - Disminuye el grado de polimerización - Ruptura de la estructura de la lignina.	- Causa la solubilizacion de hemicelulosa y lignina. - Pérdida de productos en la degradación de hemicelulosa y la solubilización de lignina, con un efecto inhibitor. - Método no efectivo para maderas blandas.
Cáscaras de naranja	Hidrolisis Combinada				- Baja cantidad de reactivos - Mayor remoción de lignina - Ideal para plantas coníferas, debido a su alto contenido de lignina. - Tratamiento adecuado para cáscaras de naranja y residuos cítricos debido a la composición química que presentan. -Mejora la hidrólisis enzimática. - Mejor acción de las enzimas en la sacarificación.	- Bajos contenidos de azucares reductores en residuos de cáscaras de naranja debido a su composición química. - Las altas temperaturas provocan corrosión en los equipos.
	Hidrolisis alcalina	NaOH /0.1 N + CaSO ₄	ambiente	15 mint 3 horas		
	Hidrolisis diluida	H ₂ SO ₄ / 2-5%	121 – 125	15-90 minut		
Aserrín de pino	Hidrolisis Combinada				- Baja cantidad de reactivos - Mayor remoción de lignina - Ideal para plantas coníferas, debido a su alto contenido de lignina. - Tratamiento adecuado para cáscaras de naranja y residuos cítricos debido a la composición química que presentan. -Mejora la hidrólisis enzimática. - Mejor acción de las enzimas en la sacarificación.	- Bajos contenidos de azucares reductores en residuos de cáscaras de naranja debido a su composición química. - Las altas temperaturas provocan corrosión en los equipos.
	Hidrolisis alcalina	H ₂ SO ₄ / 1-10%	>120 < 200	15-60 minut		
	Hidrolisis diluida	NaOH /1-12%	> 90 < 130	60-90minut		

Bagazo de la caña de azúcar	Hidrolisis ácida	HCl, HNO ₃ , H ₂ SO ₄ / 2-4%	55-75	0-180 min	- Se consiguen los valores de azúcares reductores necesarios para la producción de alcohol.	-El uso de ácidos concentrados no es rentable económicamente debido a que conlleva problemas de corrosión y exigen procesos de recuperación y neutralización. -Puede generar productos tóxicos que afectan a la siguiente hidrólisis y a la fermentación
	Hidrolisis alcalina	NaOH / 1-1,5%	75	30-60 min	-Existe una solubilización del 70 al 80% de la lignina, se puede dar degradación de la celulosa.	-Se genera compuestos fenólicos que pueden afectar en la fermentación.
Cáscaras de plátano maduro	Hidrólisis Combianda				-La cantidad de azúcares son significativamente altas. -La hidrólisis se llevó a cabo a temperatura ambiente y sin agitación, evitando dicho sobrecosto en términos de energía. -Se obtiene una eliminación efectiva de la lignina	-Existe la posibilidad de que se formen sales no recuperables
	Hidrolisis ácida	H ₂ SO ₄ / 0,04%	26-68	30 min		
	Hidrolisis alcalina	Na(OH)/ 10%	26	24 horas		
Cascarilla de arroz	Hidrolisis Combinada				-Los parámetros de la hidrólisis ácida son los correctos para La hidrólisis enzimática. -La hidrólisis enzimática es más efectiva ya que se obtiene porcentaje de azúcares requeridos.	-Altos costos -Existe la posibilidad de la inactivación de la enzima, si no existe el control adecuado.
	Hidrolisis alcalina	H ₂ SO ₄ / 2%	125	3 horas		
	Hidrolisis enzimática	Buffer, 0,25g enzima	50	6 días		
Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.						

En la presente tabla se hace un análisis comparativo entre las ventajas y las desventajas de las hidrólisis catalizada con ácidos y la hidrólisis catalizada con enzimas de los diferentes residuos lignocelulósicos, observando que las mejores condiciones para los residuos de tusa de maíz, cáscaras de naranja y aserrín de pino son los pretratamientos químicos en base a una hidrólisis con ácido diluido, hidrólisis alcalina o hidrólisis combinada, en las cuales los parámetros óptimos se basan en la utilización de ácido sulfúrico H_2SO_4 con concentraciones que oscilan del 0.1 al 12% como máximo para de esta manera no emplear una gran cantidad de reactivo, los costos de su recuperación sean bajos, provocando bajos efectos corrosivos de los ácidos. Además entre los parámetros favorables para los mencionados pretratamientos esta las altas temperaturas y tiempos de retención cortos para lograr un mayor contenido de azúcares reductores y poca degradación de las mismas.

De los residuos de la caña de azúcar, plátano maduro y arroz. Se observa que el bagazo de la caña de azúcar en el tratamiento de la hidrólisis ácida, la concentración de ácido sulfúrico es mayor comparada con los otros residuos, por lo que es una desventaja ya que existe un mayor costo de reactivo, se encuentra el problema para la neutralización y esto afecta en el siguiente paso que es la fermentación, pero tiene la ventaja de que se obtiene la cantidad de azúcares necesarias. Con respecto a las cáscaras de banano maduro donde se realiza la hidrólisis ácida, posteriormente la alcalina, existe desventaja en la posibilidad de que se formen sales no deseadas, pero hay grandes ventajas ya que no existe costo energético y las cantidades de azúcares reductores son las necesarias para la fermentación. Finalmente, con la cascarilla de arroz en la que se realiza la hidrólisis combinada, primero la ácida y luego la enzimática, en estos tratamientos existen ventajas con respecto a los resultados de los azúcares obtenidos, mientras que tiene de desventaja los elevados costos de las sustancias empleadas.

3.3. Rendimiento y eficiencia de los diferentes residuos lignocelulósicos en base a la obtención de bioetanol para la obtención de éter dietílico

Tabla 18-3: Datos volumétricos del Rendimiento de alcohol etílico en los residuos lignocelulósicos.

Residuo	% Azúcares fermentables	Vol. Alcohol (ml)	% Rendimiento del alcohol	Cita bibliográfica
Bagazo de la caña de azúcar	52,65 - 58,31	162, 00 – 199,00	13,17 - 17,34	(Mantilla, 2012)
Cáscaras del banano maduro	25, 00	205,00	33,70	(Decheco, 2019)
Cascarilla de arroz	42,20	2,99	19,94	(Sánchez, 2018)
Aserrín de pino	35,0	0.01 – 27,39	73,61- 85,00	(Puc, 2017) (Farías, 2014) (Franco, 2016)
Tusa de maíz	39,93	24,00 – 61,00	78,14 – 85	(Puertas, 2018)
Cáscaras de naranja	35,00	0,68	0,03 - 12,97	(Litrán, 2017)

Fuente: (Mantilla, 2012), (Decheco, 2019), (Sánchez, 2018), (Puc, 2017), (Farías, 2014), (Franco, 2016), (Puertas, 2018), (Litrán, 2017).

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

La presente tabla muestra un porcentaje de 52,65 a 58,31 de azúcares fermentables de sustrato del bagazo de la caña de azúcar para la obtención de alcohol en un rango de volumen de 162 – 199 mililitros, con un porcentaje de rendimiento de 13,17 hasta 17,34 por ciento. Para las cáscaras de banano maduro obtiene 205 mililitros de alcohol con un porcentaje de rendimiento de 33,7 por ciento. En la cascarilla de arroz se obtiene 2, 99 mililitros de alcohol con un rendimiento de 19,94 por ciento.

Además, se observa datos volumétricos de rendimiento obtenidos a partir del residuo lignocelulósico aserrín de pino y tusa de maíz, los mismos que son rendimientos alcohólicos de intervalos entre 73,61 – 85 % y 78,14 – 85 respectivamente. Demostrando resultados satisfactorios en ambos casos.

Por último, se observa los datos volumétricos de rendimiento obtenidos a partir de residuos de cascaras de naranja, en la cual se muestra el rendimiento de azúcares fermentables de un 35 %, de tal modo obteniendo rendimientos alcohólicos de 0, 034 hasta 12,97ml. Demostrando resultados moderadamente satisfactorios.

Tabla 19-3: Azúcares fermentables vs Rendimiento alcohólico de los seis residuos lignocelulósicos

Residuo	% Azúcares fermentables	Vol. Alcohol (ml)	% Rendimiento del alcohol
- Bagazo de la caña de azúcar - Cascarilla de arroz - Tusa de maíz	58,31 - 39,93	2,99 – 199,00	13,17 – 85,00
- Aserrín de pino - Cáscaras de naranja	35	0.01 – 27,39	0,034 -85,00
- Cáscaras del banano maduro	29,50	205,00	33,70

Realizado por: Chandi Evelin; Estrella Estefany, 2021.

En la tabla N°18-3 se presentan los datos de rendimiento de los residuos lignocelulósicos (tusa de maíz, bagazo de caña de azúcar, cascarilla de arroz, cáscaras de banano, cáscaras de naranja y aserrín de pino), en la cual los valores con mayor porcentaje que representan a los azúcares reductores son los del bagazo de la caña de azúcar, cascarilla de arroz y tusa de maíz ya que sus valores se encuentran desde 39,93 hasta 58,31 %. En el volumen de alcohol presentan un rango de 2,99 hasta 199 mililitros con un porcentaje de rendimiento en un intervalo de 13,17 hasta 85 %. Los residuos de aserrín de pino y tusa de maíz corresponden al mismo porcentaje de azúcares fermentables que es 35 %, el volumen de alcohol oscila entre 0,015 hasta 27,39 mililitros y su rendimiento desde 0,034 hasta 85 %. Finalmente, para las cáscaras de maduro el porcentaje de azúcares fermentables es de 29,5 por ciento con un volumen de 205,0 y un rendimiento de 33,70 %.

CONCLUSIONES

A partir de la comparación de niveles de eficiencia en la producción de bioetanol con residuos lignocelulósicos de: maíz, banano maduro, caña de azúcar, arroz con cáscara, naranja y madera mediante revisión bibliográfica, se determinó que es factible obtener éter dietílico cuya eficiencia depende de la cantidad de azúcares fermentables en cada residuo.

Los residuos lignocelulósicos estudiados están constituidos por: celulosa que corresponde del 13 al 56%, el valor más bajo concierne a las cáscaras de banano y el valor más alto al aserrín de pino. Seguida de la hemicelulosa con valores que van de 4 a 46%, el menor valor corresponde a las cáscaras de banano y el mayor a la cascarilla de arroz. Posteriormente se presentan datos del contenido de lignina la cual corresponde a valores alrededor del 2 al 35%, los mismos que pertenecen a las cáscaras de naranja y al aserrín de pino respectivamente. El porcentaje de ceniza de los residuos mencionados se encuentra entre el 0,44 y 20 % , estos valores incumben a las cáscaras de naranja y cascarilla de arroz respectivamente y por último los componentes extraíbles con un porcentaje menor del 3% en la tusa de maíz y el mayor de 23 % en el bagazo de caña de azúcar.

Se comparó las hidrólisis empleadas en cada residuo lignocelulósico las cuales son: ácida, alcalina y enzimática. Para la tusa de maíz y el bagazo de caña de azúcar se aplica bien hidrólisis con ácido diluido utilizando ácido sulfúrico H_2SO_4 a concentraciones que van de 0,1 a 10% o hidrólisis alcalina con hidróxido de sodio NaOH a una concentración de 0,5 a 15 %. Mientras que para las cáscaras de naranja, cáscaras de banano maduro y aserrín de pino se realiza hidrólisis combinada es decir se realiza en dos etapas, en la primera etapa se realiza una hidrólisis con ácido diluido usando ácido sulfúrico H_2SO_4 a concentraciones que van de 0.1- 10%. Seguidamente se continúa con la hidrólisis alcalina la cual se trabaja con hidróxido de sodio NaOH al 1 hasta 12 % de concentración. La cascarilla de arroz es un residuo que necesita tratamiento distinto a todos los residuos mencionados anteriormente por su alto contenido de hemicelulosa, también porque su tamaño de partícula es pulverizado, entonces se realiza hidrólisis ácida con ácido sulfúrico al 2 % y la hidrólisis enzimática que es un proceso biotecnológico con la finalidad de obtener azúcares fermentables.

Se identificó el mejor pretratamiento en base a su rendimiento y eficiencia. Para la tusa de maíz el mejor pretratamiento es la hidrólisis con ácido ya que se utiliza cantidades mínimas de ácido sulfúrico, favorece la hidrólisis de la celulosa, por lo que se obtienen 39,9% de azúcares fermentables. Para el bagazo de la caña de azúcar el pretratamiento ideal es la hidrólisis alcalina donde se emplea bajas cantidades de hidróxido de sodio y se obtiene hasta el 58,31% de azúcares fermentables. Para las cáscaras de banano maduro, cáscaras de naranja y aserrín de pino el pretratamiento óptimo es la hidrólisis combinada es decir la hidrólisis ácida y alcalina, obteniendo de los 3 residuos un porcentaje de azúcares fermentables 25 %, 35% y 35% respectivamente. En

la cascarilla de arroz el pretratamiento más adecuado es la hidrólisis combinada: ácida y enzimática, ya que se obtiene el porcentaje de azúcares fermentables del 42,2 %. Todos los valores mencionados son óptimos para la obtención de alcohol.

Se estableció a la deshidratación de bioetanol como el método más factible para la obtención de éter dietílico utilizando como catalizador ácido sulfúrico. De los 6 residuos mencionados, la tusa de maíz es el residuo que presenta mejor rendimiento de alcohol el cual es de 85% por lo tanto es el más adecuado para su obtención.

RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar este método de deshidratación de bioetanol para la obtención de éter dietílico a partir de los residuos lignocelulósicos estudiados, especialmente de la tusa de maíz el cual presentó mayor rendimiento.

Se recomienda la utilización de los residuos de aserrín de pino con previa indagación del volumen de los mismos, ya que en Ecuador existe una escasa información de la cantidad de residuos que generan en los aserraderos y eso ocasiona que no sean aprovechados en su totalidad

Para el aprovechamiento de estos seis residuos lignocelulósicos se recomienda investigar sobre los costos de producción para aplicarlos en gran escala y así contribuir con la sostenibilidad de nuestro país.

Para analizar la posible inclusión del producto en estudio se recomienda analizar la producción y desechos generados a nivel nacional de los distintos productos mencionados en el presente trabajo, los mismos que son fuente de materia prima destinados a bioetanol y biodiesel; de tal manera los productos finales ser generados y utilizados a nivel industrial.

GLOSARIO

Azeótropo: Es una **mezcla** de compuestos químicos diferentes en estado líquido, los cuales ebullicionan a constante temperatura, y actúan como si fuesen un solo compuesto químico (Méndez, 2013, p.2).

Azúcar reductor: Aquel que actúa como un agente reductor y puede donar electrones a otra molécula y contiene un grupo aldehído o cetona libre (Pérez et al., 2017, p.3).

Glicosídico: Enlace para formar glicósidos a partir de compuestos con grupos OH, NH₂ y SH que reaccionan con el OH hemiacetálico. En esta reacción se pierde una molécula de agua (Romero, Arias y Marco, 2009, p.302).

Lignocelulósicos: Consiste en tres tipos diferentes de polímeros, celulosa, hemicelulosa y lignina fortalece las células de determinadas especies vegetales, en especial las forestales (Cortés, 2011, p.3).

Pectinas: Son un tipo de heteropolisacárido, que se obtienen a partir de materias primas vegetales, su fuente primara son las frutas (Trillo, 2012, p.5).

Pinzote: Es el centro leñoso del racimo del banano (Turrado et al., 2009, p.3).

Poliosas: O hemicelulosas que se presentan en forma de polímeros ramificados. Están compuestos por monosacáridos diferentes como pentosas, hexosas y ácidos urónicos (Costa, Tuesta y Costa, 2016, p.1).

Sacarificación: Transformación de los polisacáridos en azúcares fermentables (Franco et al., 2009, p.5).

BIBLIOGRAFÍA

AGROINFORMACION, *Balance en el Ecuador de la campaña de la naranja: menos producción, pero más calidad y mejores precios.* [en línea], vol. I, p. 2. Disponible en: <https://agroinformacion.com/balance-ecuador-la-campana-la-naranja-menos-produccion-mas-calidad-mejores-precios/?cn-reloaded=1>.

BCE/DNSM/PEIC, *Reporte de coyuntura sector agropecuario.* [en línea], vol. II, no. N° 139 0-0579, p. 36. Disponible en: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Encuestas/Coyuntura/Integradas/etc201902.pdf>

BENITEZ, R., *Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe.* [en línea]. S.l.: Disponible en: <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/239393/>

BOLÍVAR, G., *Éter etílico: propiedades, estructura, obtención, usos.* 14 de Diciembre [en línea]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/eter-etilico/>.

CALVA, MAG, HARO, SCR, CÓRDOVA, GBM & GUAMÁN, D., *Estimación De Los Residuos Forestales En Los Aserraderos De Tres Cantones, Zona 3 Interandina, Ecuador.* [en línea], vol. 14, no. 30, pp. 228-239. DOI 10.19044/esj.2018.v14n30p228. Disponible en: <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n30p228%0A>.

CARLETTI, O., PASTORINO, A. & VARELA, E., *Producción de éter etílico a partir de bioetanol [en línea]. S.l.: Universidad Tecnológica Nacional.* Disponible en: https://repositoriosdigitales.mincyt.gov.ar/vufind/Record/RIAUTN_92543aa8953d8bfc4d591264c2fe064f.

CÓRDOBA, A., RODRÍGUEZ, R. & ZAMORA, J.F., *Caracterización y valoración química del olote: degradación hidrotérmica bajo condiciones subcríticas.* [en línea], vol. 044, no. 33, pp. 171-184. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rlq/v41n3/v41n3a4.pdf>.

CORTES, O.W., *Tratamientos Aplicables a Materiales Lignocelulósicos para la Obtención de Etanol y Productos Químicos Applicable to Treatment Materials for Obtaining Lignocellulosic Ethanol and Chemicals. Artículo de investigación científica y tecnológica* [en línea], pp. 1-6. Disponible en: [file:///C:/Users/WILSON ESTRELLA/Downloads/Dialnet-TratamientosAplicablesAMaterialesLignocelulosicosP-6041572 \(1\).pdf](file:///C:/Users/WILSON ESTRELLA/Downloads/Dialnet-TratamientosAplicablesAMaterialesLignocelulosicosP-6041572 (1).pdf).

CORTES, W., IBLA, J., CALDERÓN, L. & HERRERA, A., *Cuantificación de azúcares reductores en las cáscaras de naranja y banana.* [en línea], vol. 12, no. 2, pp. 72-76. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6041504>.

DCOELLAR, *Biomasa en el Ecuador.* 12 de Marzo de 2017 [en línea]. Disponible en: <https://www.eoi.es/blogs/merme/biomasa-en-el-ecuador/>.

DECHECO, A., *Obtención de etanol por vía fermentativa de Saccharomyces cerevisiae A partir de cáscaras de plátano de seda_ (Musa paradisiaca L.)* [en línea]. S.l.: Universidad Nacional del Callao. Disponible en: [http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/5152/DECHECO_EGUSQUIZA - FIPA - 2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/5152/DECHECO_EGUSQUIZA_-_FIPA_-_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

ECUADOR, B.C. *Reporte del sector petrolero.* [en línea], pp. 1. Disponible en: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ASP201905.pdf>.

ECUADOR, M. del A. *Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS)* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/5.PROYECTO-PNGIDS.pdf>.

EL COMERCIO, *Producción de maíz en el 2019 será de 1,3 millones de toneladas* Este contenido ha sido publicado originalmente por Diario EL COMERCIO en la siguiente dirección: <https://www.elcomercio.com/actualidad/produccion-maiz-agricultores-ministerio-guayas.html>. Si. [en línea]. Guayaquil, 9 noviembre 2018. pp. 3. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/produccion-maiz-agricultores-ministerio-guayas.html>.

EL COMERCIO, *Unidad Nacional de Almacenamiento absorberá arroz de los productores desde el 5 de septiembre del 2020;* Ministerio hará controles de precios Este contenido ha sido publicado originalmente por Diario EL COMERCIO en la siguiente dirección: <https://www.elcom.> [en línea]. 3 septiembre 2020. pp. 3. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/almacenamiento-arroz-graminea-produccion-exportacion.html>.

ESCALANTE, J. & FUENTES, H., *Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banana orgánico en Piura* [en línea]. S.l.: Universidad de Piura. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1744/ING_531.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

FAO, *Análisis del mercado del banano: resultados preliminares 2019*. Roma. [en línea], pp. 4. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ca7567es/CA7567ES.pdf>.

FARÍAS, J.C., *Evaluación y optimización de pretratamientos para obtención de bioetanol a partir de aserrín de pino*. [en línea]. S.l.: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Disponible en: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/193/FITECMA-M-2014-1366.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

FONSECA, M., *Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (Pinus maximinoi H. E. Moore) procedente de la finca río frío, tactic, alta verapaz*. [en línea]. S.l.: Universidad de San Carlos de Guatemala. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0992_Q.pdf.

FRANCO, H., *Pretratamiento de maderas de Pinus radiata y Pinus caribaea por hidrólisis con ácido diluido y por deslignificación sulfito alcalino / antraquinona para la producción de bioetanol*. [en línea]. S.l.: Universidad de Concepción- Chile. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/306033049_Pretratamiento_de_maderas_de_Pinus_radiata_y_Pinus_caribaea_por_hidrolisis_con_acido_diluido_y_por_deslignificacion_sulfito_alcalinoantraquinona_para_la_produccion_de_bioetanol.

GUTIÉRREZ, J.G., *Comparación de la cantidad de bioetanol obtenido a partir de la hidrólisis ácida de la cáscara de naranja (Citrus sinensis L.) Y la cáscara de plátano (Musa paradisiaca), al realizar la variación del tamaño de partícula y el porcentaje de ácido sulfúrico* [en línea]. S.l.: Universidad de San Carlos de Guatemala. Disponible en: [http://www.repositorio.usac.edu.gt/4859/1/Jim Jossel Girón Gutiérrez.pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/4859/1/Jim%20Jossel%20Gir%C3%B3n%20Guti%C3%A9rrez.pdf).

GUZMAN, G., *Remoción de molibdeno del agua del río challhuahuacho de cotabambas-apurimac con carbon activado de tusa de maíz (zea mays)* [en línea]. S.l.: Universidad Nacional del Altiplano. Disponible en: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/8532/Gustavo_Janqui_Guzman.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

INEC - ESPAC, *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2019*. Mayo.

INTRIAGO, G. & SABANDO, T., *Ingeniero en medio ambiente tema : Obtención de alcohol* ,

sitio agua fría , junín [en línea]. S.l.: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí
Manuel Félix López. Disponible en:
<http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/674/1/TMA153.pdf>.

KAZA, Y.L., PERINAZ, B.-T. & VAN WOERDEN, F. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Octubre 2018* [en línea]. Disponible en:
<https://elibrary.worldbank.org/doi/pdf/10.1596/978-1-4648-1329-0>.

LAGOS-BURBANO, E. & CASTRO-RINCÓN, E., *Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes.* [en línea], vol. 3, no. 3, pp. 18.
Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43760145020>.

LITRÁN, G., *Obtención de bioetanol de segunda generación a partir de cáscara de naranja* [en línea]. S.l.: Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar. Disponible en:
<http://calderon.cud.uvigo.es/bitstream/handle/123456789/178/LitranRodriguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

LÓPEZ, F., ALFARO, A., CAPARRÓS, S., GARCÍA, M. & PÉREZ, A *Aprovechamiento energético e integrado por fraccionamiento de biomasa lignocelulósica forestal y agroindustrial, Caracterización de hemicelulosa, celulosa y otros productos de fraccionamiento.* [en línea], vol. 5, no. 1885-5237, pp. 7-19. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2718824.pdf>.

MANTILLA, M., *Hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar y paja de trigo con una posterior fermentación alcohólica para obtención de etanol* [en línea]. S.l.: Universidad Central del Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/473/3/T-UCE-0017-6.pdf>.

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA, *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales.* [en línea], pp. 1-79. Disponible en: www.ambiente.gob.ec.

MONSALVE, J.F., MEDINA, V. & RUIZ, A *Producción de etanol a partir de la cáscara de banana y de almidón de yuca.* [en línea], pp. 21-27. Disponible en:
<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v73n150/a02v73n150.pdf>.

MONTIEL, K. & ROMERO, L., *Obtención de bioetanol a partir de la cornota de maíz, variedad hs-5, por el método de hidrólisis ácida diluida y fermentación separada* [en línea]. S.l.:

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Disponible en: [https://repositorio.unan.edu.ni/1357/1/Monografía KiaraLeticia.pdf](https://repositorio.unan.edu.ni/1357/1/Monografía%20KiaraLeticia.pdf).

MOREIRA, C.K., . *Reutilización de residuos de la cáscara de bananos (musaparadisiaca) y plátanos (musa sapientum) para la producción de alimentos destinados al consumo humano.* [en línea]. S.l.: Universidad de Guayaquil. Disponible en: [https://www.academia.edu/20435157/REUTILIZACIÓN_DE_RESIDUOS_DE_LA_CÁSCAR A_DE_BANANOS](https://www.academia.edu/20435157/REUTILIZACIÓN_DE_RESIDUOS_DE_LA_CÁSCAR_A_DE_BANANOS).

MOREIRAS, O., CARBAJAL, Á., CABRERA, L. & CUADRADO, C., *Tablas de Composición de Alimentos. Pirámide* [en línea]. Madrid: s.n., pp. 269-270. Disponible en: https://catedraalimentacioninstitucional.files.wordpress.com/2014/09/3-1-tablas_de_composicion_de_alimentos.pdf.

ORLANDI, L.A. & CIBAU, M., *Geoposicionamiento estadístico- bioetanol lignocelulósico en argentina.* [en línea], vol. IV, no. 7, pp. 14. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/344967965_Geoposicionamiento_Estadistico-Sinergico_de_una_Planta_Industrial_de_Bioetanol_Lignocelulosico_en_Argentina.

PARADA PUIG, R., *Hemicelulosa: clasificación, estructura, biosíntesis, funciones.* [en línea], pp. 4. Disponible en: <https://www.lifeder.com/hemicelulosa/>.

PEREZ, M., *Diseño de un proceso para la obtención de etanol a partir de la cáscara de arroz.* [en línea]. S.l.: Universidad Nacional de Trujillo. Disponible en: https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3538/PerezMolleda_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

PIÑEROS, Y. & OTÁLVARO, Á., *Evaluación de la producción de etanol a partir de cascarilla de arroz pretratada con NAOCL, mediante hidrólisis y fermentación simultáneas.* [en línea], vol. 2, no. 22, pp. 1. Disponible en: https://smbb.mx/congresos/smbb/acapulco09/TRABAJOS/AREA_V/CV-51.pdf.

PUC, N., *Evaluación de la producción de bioetanol a partir de desechos lignocelulósicos de madera Tzalam (Lysiloma latisiliquum)* [en línea]. S.l.: Universidad de Quintana Roo. Disponible en: <http://risisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/1929/TP339.2017-1929.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

PUERTAS, M., “efecto de la cinética de hidrólisis ácida de almidón de maíz (*Zea mays L.*) En

el rendimiento para la obtención de etanol [en línea]. S.l.: Universidad Nacional de Piura. Disponible en: UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA.

RETTO, P., *Potencial energético de la producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales* [en línea]. S.l.: Universidad Nacional de Trujillo. Disponible en: [https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12153/Retto Hernández, Patricia Isabel.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12153/Retto_Hernández_Patricia_Isabel.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

REYES, T., *En riesgo la producción de arroz en Ecuador. II* [en línea], pp. 5. Disponible en: <https://elproductor.com/wp-content/uploads/2019/02/revista-febrero.pdf>.

RODRÍGUEZ, M.D., CASTRILLO, M.L., VELÁZQUEZ, J.E., KRAMER, G.R., SEDLER, C., DARÍO, P. & VILLALBA, L., *Obtención de azúcares fermentables a partir de aserrín de pino pretratado secuencialmente con ácido-base*. [en línea], vol. 33, no. 2, pp. 317-324. DOI 10.20937/RICA.2017.33.02.12. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v33n2/0188-4999-rica-33-02-00317.pdf>.

ROMERO, A., HERNÁNDEZ, M., ARANA, A., GARCÍA, C. & SEGARRA, E., *Impacto de la producción de biocombustibles en estados unidos en el mercado de maíz (Zea mays L.) EN MÉXICO*. [en línea], vol. vol.48 no., no. 2521-9766, pp. 653-665. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952014000600007.

RUILOBA, M.H., VEGA, A. & FRANCO, H., *Efecto de la bio-degradación con cepas nativas de pleurotus djamor , rn81 y rn82 , sobre parámetros químicos y degradabilidad in situ de sustratos lignocelulósicos. Universidad del Zulia Venezuela* [en línea], vol. XXIV, pp. 443-453. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/959/95932260009.pdf>.

SÁNCHEZ, N., *Obtención de bioetanol de segunda generación (2g) a partir de cáscara de arroz. Una propuesta pro ambiental* [en línea]. S.l.: Universidad de Guayaquil. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/33223/1/401-1328> - Obtenc bioetanol segund generac partir cascara arroz.pdf.

SÁNCHEZ RIAÑO, A.M., GUTIÉRREZ MORALES, et. al. *Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos Bioethanol Production from agroindustrial lignocellulosic byproducts*. [en línea], pp. 61-91. Disponible en: [file:///C:/Users/WILSON ESTRELLA/Downloads/Dialnet-ProduccionDeBioetanolAPartirDeSubproductosAgroindu-3628225 \(2\).pdf](file:///C:/Users/WILSON ESTRELLA/Downloads/Dialnet-ProduccionDeBioetanolAPartirDeSubproductosAgroindu-3628225%20(2).pdf).

SOLANO, H., “*Cadena comercial de naranja (Citrus sinensis L.) en el cantón ventanas, provincia de los ríos*” [en línea]. S.l.: Universidad de Guayaquil. Disponible en: [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/36382/1/Solano Robinzon Hugo Roberto.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/36382/1/Solano%20Robinzon%20Hugo%20Roberto.pdf).

TEJEDA, L., MARIMÓN, W. & MEDINA, M., *Evaluación del potencial de las cáscaras de frutas en la obtención de bioetanol*. [en línea], vol. 5, no. 1, pp. 4-9. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/hm/article/view/323244>.

TEJEDA, L.P., TEJADA, C., ALVEAR, M.R., et, al., *Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña*. [en línea], vol. 10, pp. 120-125. Disponible en: <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/104/91>.

TRILLO, C.I. *Obtención de etanol a partir de aserrín de Pinus caribae utilizando la simulación del proceso en Aspen Plus* [en línea]. S.l.: Universidad Central Marta Abreli de las Villas. Disponible en: [https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1993/Tesis Ignacio final 2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1993/Tesis%20Ignacio%20final%202012.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

VARGAS, G. *Obtención de productos con valor agregado a partir de banano de rechazo en el contexto ecuatoriano* [en línea]. S.l.: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/2807>.

VÁSQUEZ, S., *Obtención de bioetanol a partir de biomasa lignocelulosica presente en la cascarilla del arroz para ser utilizados en equipos motorizados* [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica Salesiana- Sede Cuenca. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17633/4/UPS-CT008382.pdf>.

VIRREIRA, F.J. & GÓNGORA PEREIRA, O., *Caracterización fisicoquímica de las cascaras de naranja (Citrus sinensis L.) y pomelo (Citrus grandis), para obtener bioetanol - IQUITOS* [en línea]. S.l.: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Disponible en: <http://repositorio.unapikitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4258>.

ZOLA, M. & BARRANZUELA, M., *Estudio experimental de la obtención de bioetanol a partir de cáscara de plátano en piura, Perú* [en línea]. S.l.: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3305/ING_592.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ZUMALACÁRREGUI, M., PÉREZ, O., LOMBARDI, G. & RODRÍGUEZ, P.,
Potencialidades del bagazo para la obtención de etanol frente a la generación de electricidad.
[en línea], vol. volumen XV, no. número 3, pp. 407-418. Disponible en:
<https://www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/v16n3-08.php>.

ANEXOS

ANEXO A: Superficie plantada de maíz duro seco en Ecuador.

La producción de maíz duro se siembra en diversas zonas hasta dos veces al año, en la provincia de los Ríos se centra el 43,81% de la producción nacional.

NACIONAL				
Año	Superficie (Ha)		Producción (Tm)	Ventas (Tm)
	Sembrada	Cosechada		
2017	388.534	358.822	1.436.106	1.386.592
2018	383.399	365.334	1.324.147	1.232.670
2019	334.767	322.846	1.479.770	1.427.929

Fuente: (INEC - ESPAC, 2020). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua

ANEXO B: Superficie plantada de caña de azúcar en Ecuador.

En el año 2019, la superficie plantada de caña de azúcar para azúcar a nivel nacional fue de 126.246 hectáreas, mientras que para otros usos fue de 17.870 hectáreas.

NACIONAL				
Año	Superficie (Ha)		Producción (Tm)	Ventas (Tm)
	Sembrada	Cosechada		
2017	134.950	127.081	9.344.983	8.751.116
2018	132.771	115.321	7.840.635	6.382.088
2019	144.116	137.337	10.088.870	6.372.328

Fuente: (INEC - ESPAC, 2020). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua

ANEXO C: Superficie plantada de arroz en cáscara en Ecuador.

La producción de arroz se realiza durante todo el año en forma escalonada, en el año 2019 la superficie sembrada a nivel nacional fue de 261.770 hectáreas. La producción se concentra en la provincia del Guayas con el 71.82%.

NACIONAL				
Año	Superficie (Ha)		Producción (Tm)	Ventas (Tm)
	Sembrada	Cosechada		
2017	370.406	358.100	1.066.614	1.017.087
2018	301.853	298.298	1.350.093	1.251.638
2019	261.770	257.273	1.099.686	1.054.862

Fuente: (INEC - ESPAC, 2020). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua

ANEXO D: Superficie plantada de banano maduro en Ecuador.

En el 2019, la superficie plantada de banano a nivel nacional fue de 190.381 hectáreas. La producción se concentra en la provincia de Los Ríos con el 36.05%.

NACIONAL				
Año	Superficie (Ha)		Producción (Tm)	Ventas (Tm)
	Sembrada	Cosechada		
2017	166.972	158.057	6.282.105	6.056.309
2018	173.706	161.583	6.505.635	6.413.259
2019	190.381	183.347	6.583.477	6.513.549

Fuente: (INEC - ESPAC, 2020). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua

ANEXO E: Superficie plantada, producción y rendimiento de cáscara de naranja en Ecuador desde el año 2013 al año 2017.

NACIONAL			
Año	Superficie sembrada / Has	Producción / Tm	Rendimiento Tm/Has
2013	19.485	42.050	2.42
2014	19.320	114.308	6.70
2015	26.143	116.809	5.24
2016	16.578	75.333	5.68
2017	19.780	142.546	8.96

Fuente: (Solano, 2018). Cadena comercial de naranja (*citrus sinensis L.*) en el cantón Ventanas, provincia de los Ríos.

ANEXO F: Caracterización química elemental de la tusa de maíz

Análisis Ultimo (% en vol.) en base seca, libre de ceniza (daf)		
Carbón	48.40-49.00	ASTM D 5373-08
Hidrogeno	5.40 - 5.87	
Oxigeno	44.30 - 45.46	
Nitrógeno	0.30 - 0.47	
Sulfuro	1. 0.01	
Análisis aproximado (peso%) en base seca		
Ceniza	1.73	ASTM D 3175
Material volátil	79.36	ASTM D 3174
Carbono fijo	17.14	ASTM D 3172
Poder calorífico (MJ / kg) en base seca		
Poder calorífico inferior	17.0 - 18.8	

Fuente: (Ruiloba, Vega y Franco, 2014). Efecto de la biodegradación con cepas nativas de *Pleurotus djamor*, m81 y m82, sobre parámetros químicos y degradabilidad *in situ* de sustratos lignocelulósicos

ANEXO G: Caracterización química elemental del pino

Componentes	%
Celulosa	37.57
Hemicelulosa convertible a azúcares:	35.52
- <i>Xilano</i>	12.98
- <i>Galactano</i>	11.84
- <i>Manano</i>	10.40
Lignina	24.22
Cenizas ácida insoluble	0.10
Extractivos	8.87
Acuosos	6.19
Etanólicos	2.68
Total	100
Humedad	14.15
Cenizas totales	0.46

Fuente: (Trillo, 2012). (Obtención de etanol a partir de aserrín de *Pinus caribaea* utilizando la simulación del proceso en *Aspen Plus*)

ANEXO H: Caracterización química elemental y valor nutricional de la cáscara de naranja.

	Por 100 g de porción comestible	Por unidad mediana (225 g)	Recomendaciones día-hombres	Recomendaciones día-mujeres
Energía (Kcal)	42	69	3.000	2.300
Proteínas (g)	0,8	1,3	54	41
Lípidos totales (g)	Tr	Tr	100-117	77-89
AG saturados (g)	—	—	23-27	18-20
AG monoinsaturados (g)	—	—	67	51
AG poliinsaturados (g)	—	—	17	13
ω -3 (g)*	0	0	3,3-6,6	2,6-5,1
C18:2 Linoleico (ω -6) (g)	—	—	10	8
Colesterol (mg/1000 kcal)	0	0	<300	<230
Hidratos de carbono (g)	8,6	14,1	375-413	288-316
Fibra (g)	2	3,3	>35	>25
Agua (g)	88,6	146	2.500	2.000
Calcio (mg)	36	59,1	1.000	1.000
Hierro (mg)	0,3	0,5	10	18
Yodo (μg)	2	3,3	140	110
Magnesio (mg)	12	19,7	350	330
Zinc (mg)	0,18	0,3	15	15
Sodio (mg)	3	4,9	<2.000	<2.000
Potasio (mg)	200	329	3.500	3.500
Fósforo (mg)	28	46,0	700	700
Selenio (μg)	1	1,6	70	55
Tiamina (mg)	0,1	0,16	1,2	0,9
Riboflavina (mg)	0,03	0,05	1,8	1,4
Equivalentes niacina (mg)	0,3	0,5	20	15
Vitamina B₆ (mg)	0,06	0,10	1,8	1,6
Folatos (μg)	37	60,8	400	400
Vitamina B₁₂ (μg)	0	0	2	2
Vitamina C (mg)	50	82,1	60	60
Vitamina A: Eq. Retinol (μg)	40	65,7	1.000	800
Vitamina D (μg)	0	0	15	15
Vitamina E (mg)	0,2	0,3	12	12

Fuente: (Moreiras et al., 2013). Tablas de Composición de Alimentos. Moreiras y col., 2013. (NARANJA).

ANEXO I: Caracterización química elemental y valor nutricional de banano maduro.

	Por 100 g de porción comestible	Por ración (160 g)	Recomendaciones día-hombres	Recomendaciones día-mujeres
Energía (Kcal)	94	99	3.000	2.300
Proteínas (g)	1,2	1,3	54	41
Lípidos totales (g)	0,3	0,3	100-117	77-89
AG saturados (g)	0,11	0,12	23-27	18-20
AG monoinsaturados (g)	0,04	0,04	67	51
AG poliinsaturados (g)	0,09	0,10	17	13
ω -3 (g)*	0,052	0,055	3,3-6,6	2,6-5,1
C18:2 Linoleico (ω -6) (g)	0,039	0,041	10	8
Colesterol (mg/1000 kcal)	0	0	<300	<230
Hidratos de carbono (g)	20	21,1	375-413	288-316
Fibra (g)	3,4	3,6	>35	>25
Agua (g)	75,1	79,3	2.500	2.000
Calcio (mg)	9	9,5	1.000	1.000
Hierro (mg)	0,6	0,6	10	18
Yodo (μg)	2	2,1	140	110
Magnesio (mg)	38	40,1	350	330
Zinc (mg)	0,23	0,2	15	15
Sodio (mg)	1	1,1	<2.000	<2.000
Potasio (mg)	350	370	3.500	3.500
Fósforo (mg)	28	29,6	700	700
Selenio (μg)	1	1,1	70	55
Tiamina (mg)	0,06	0,06	1,2	0,9
Riboflavina (mg)	0,07	0,07	1,8	1,4
Equivalentes niacina (mg)	0,8	0,8	20	15
Vitamina B₆ (mg)	0,51	0,54	1,8	1,6
Folatos (μg)	22	23,2	400	400
Vitamina B₁₂ (μg)	0	0	2	2
Vitamina C (mg)	10	10,6	60	60
Vitamina A: Eq. Retinol (μg)	18	19,0	1.000	800
Vitamina D (μg)	0	0	15	15
Vitamina E (mg)	0,2	0,2	12	12

Fuente: (Moreiras et al., 2013). Tablas de Composición de Alimentos. Moreiras y col., 2013. (BANANO MADURO).

ANEXO J: Caracterización química elemental y valor nutricional del arroz.

	Por 100 g de porción comestible	Por ración (70 g)	Recomendaciones día-hombres	Recomendaciones día-mujeres
Energía (Kcal)	381	267	3.000	2.300
Proteínas (g)	7	4,9	54	41
Lípidos totales (g)	0,9	0,6	100-117	77-89
AG saturados (g)	0,21	0,15	23-27	18-20
AG monoinsaturados (g)	0,23	0,16	67	51
AG poliinsaturados (g)	0,32	0,22	17	13
ω -3 (g)	0,008	0,006	3,3-6,6	2,6-5,1
C18:2 Linoleico (ω -6) (g)	0,315	0,221	10	8
Colesterol (mg/1000 kcal)	0	0	<300	<230
Hidratos de carbono (g)	86	60,2	375-413	288-316
Fibra (g)	0,2	0,1	>35	>25
Agua (g)	5,9	4,1	2.500	2.000
Calcio (mg)	10	7,0	1.000	1.000
Hierro (mg)	0,5	0,4	10	18
Yodo (μg)	2	1,4	140	110
Magnesio (mg)	13	9,1	350	330
Zinc (mg)	0,2	0,1	15	15
Sodio (mg)	6	4,2	<2.000	<2.000
Potasio (mg)	110	77,0	3.500	3.500
Fósforo (mg)	100	70,0	700	700
Selenio (μg)	7	4,9	70	55
Tiamina (mg)	0,05	0,04	1,2	0,9
Riboflavina (mg)	0,03	0,02	1,8	1,4
Equivalentes niacina (mg)	3,1	2,2	20	15
Vitamina B₆ (mg)	0,30	0,21	1,8	1,6
Folatos (μg)	20	14,0	400	400
Vitamina B₁₂ (μg)	0	0	2	2
Vitamina C (mg)	0	0	60	60
Vitamina A: Eq. Retinol (μg)	0	0	1.000	800
Vitamina D (μg)	0	0	15	15
Vitamina E (mg)	0,3	0,2	12	12

Fuente: (Moreiras et al., 2013). Tablas de Composición de Alimentos. Moreiras y col., 2013. (ARROZ).

ANEXO K: Caracterización química elemental y valor nutricional de la caña de azúcar.

Componente	Cogollo	Bagazo	Cachaza	Melote
MS (%)	25,0	44,6	25,5	44,8
H (%)	75,0	55,4	74,5	55,2
CEN (%)	6,4	2,3	3,4	10,7
MO (%)	93,6	97,7	96,6	89,4
PC (%)	4,9	2,2	9,9	11,1
EE (%)	0,7	0,4	7,6	4,9
FC (%)	28,3	33,3	0,5	0,2
FDN (%)	68,2	71,8	-	-
FDA (%)	44,5	40,7	-	-
HEMICEL (%)	23,7	31,1	-	-
CEL (%)	40,3	34,1	-	-
LIG (%)	4,2	6,6	-	-
N (%)	0,7	0,5	1,8	1,1
P (%)	0,2	0,1	0,2	0,1
K (%)	2,1	1,9	1,8	0,5
Ca (%)	0,3	0,1	0,2	0,1
Mg (%)	0,2	0,1	0,1	0,1
S (%)	0,2	0,1	0,2	0,1
Fe (mg/kg)	78,2	1241,3	1330,0	1078,9
Cu (mg/kg)	<3	4,1	28,6	32,4
Mn (mg/kg)	34,1	36,1	45,2	45,1
Zn (mg/kg)	26,0	11,0	93,5	59,0
B (mg/kg)	1,6	1,9	2,1	4,5
C (mg/kg)	45,6	47,8	56,7	58,3

MO: materia orgánica; HEMICEL: hemicelulosa; CEL: celulosa; LIG: lignina; N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; S: azufre; Fe: hierro; Cu: cobre; Mn: manganeso; Zn: zinc; B: boro; C: carbono / MO: organic matter; HEMICEL: hemicellulose; CEL: cellulose; LIG: lignin N: nitrogen; P: phosphorus; K: potassium; Ca: calcium; Mg: magnesium; S: sulfur; Fe: iron; Cu: copper; Mn: manganese; Zn: zinc; B: boron; C: carbon.

Fuente: (Lagos-Burbano y Castro-Rincón, 2019). (Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes)