



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y
QUÍMICAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERAS QUÍMICAS
MODALIDAD INVESTIGATIVA

TEMA:

“OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS (*Saccharum officinarum L.*; *Manihot esculenta*; *Musa paradisiaca*) Y SU CARACTERIZACIÓN QUÍMICA.”

AUTORES:

CANDO PALMA ALEXA DENISSE
VERA CHÁVEZ MARÍA JOSÉ

TUTOR:

ING CARLOS MOREIRA MENDOZA Mg. Sc.

REVISOR:

ING. ULBIO E. ALCIVAR CEDEÑO PhD., Mg.,

PORTOVIEJO – MANABÍ – ECUADOR
2017

DEDICATORIA

Dedico esta Tesis principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, enseñándome a encarar las adversidades. A mis padres Iván Vera Guerrero y Lupe Chávez Alcívar los pilares más importantes, el haberme demostrado su cariño y su apoyo incondicional.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

A mis hermanos Carlos y Marielen por estar siempre presentes, acompañándome en las buenas y en las malas, con sus consejos para poderme realizar siendo mi motivación, inspiración y felicidad.

A mis amigos, Jaime y Alexa quienes me apoyaron durante todos mis años de estudio, sin ellos no lo hubiese logrado.

Este trabajo se los dedico, porque con su amor y su apoyo pude llegar a concluir esta meta.

María José Vera

DEDICATORIA

Con mucho afecto dedico este trabajo principalmente a Dios por haberme concedido la vida, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecerme e iluminarme para seguir adelante durante el trayecto de mi carrera y sobre todo por permitirme llegar hasta este momento tan importante en mi formación profesional.

A mi madre Carmen Palma, por haberme dado la vida, por creer en mi y por nunca dejarme desmayar en cada decisión que tuviera que tomar. A mi padre Orlando Cando, por siempre apoyarme, por infundir los valores de perseverancia y constancia; y por enseñarme la importancia del análisis en una decisión. Gracias por ser esos pilares fundamentales que en cada momento de mi vida me apoyaran, todo esto se lo debo a ustedes.

A mi hermano Alex por ser ese ejemplo de hermano mayor, por ser modelo a seguir, ser mi compañero de cuarto, ser mi soporte en los momentos de desesperación, ser mi mejor amigo, y por ser mi motivación. A mi hermano menor Alexis por estar siempre conmigo, por querer ser su ejemplo a seguir y por haberme entendido tantas veces. Los quiero tanto.

A mis amigas incondicionales María José y Mercedes por compartir momentos difíciles conmigo y por nunca abandonarme.

Finalmente a mis docentes, compañeros, familiares, y a todas esas personas importantes en mi vida que en algún momento estuvieron prestos a brindarme su ayuda de la mejor manera posible sin interés alguno. Con todo mi amor y cariño este trabajo se lo dedico a ustedes.

Alexa Cando Palma

AGRADECIMIENTO

Agradecemos el presente trabajo de titulación a nuestro tutor de tesis el Ing. Carlos Moreira Mendoza por compartir sus conocimientos haciendo que el desarrollo de la presente investigación se torne viable.

Un agradecimiento especial al Ing. Ulbio Alcívar C. por su apoyo y guía en el desarrollo de este trabajo de titulación.

A su vez agradecemos al cuerpo de docentes de la Escuela de Ingeniería Química por la preparación universitaria que nos brindaron en los años de estudio en esta alma Mater de la educación superior en la provincia Manabí. Por ser más que docentes, amigos y compartir con nosotras momentos gratos dentro y fuera del aula de clase.

Las autoras

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICACIÓN

Quien suscribe el presente señor **Ing. Carlos Moreira Mendoza**, docente de la Universidad Técnica de Manabí, de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas; en calidad de tutor del trabajo de titulación **“OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULOSICOS (*Saccharum officinarum L.; Manihot esculenta; Musa paradisiaca*) Y SU CARACTERIZACIÓN QUÍMICA”** desarrollado por los profesionistas **CANDO PALMA ALEXA DENISSE** y **VERA CHÁVEZ MARÍA JOSÉ** en este contexto, tengo a bien extender la presente certificación en base a lo determinado en el Art. 8 del reglamento de titulación en vigencia, habiendo cumplido con los siguientes procesos:

- Se verificó que el trabajo de titulación desarrollado por los profesionistas cumple con el diseño metodológico y rigor científico según la modalidad de titulación aprobada.
- Se asesoró oportunamente a los estudiantes en el desarrollo del trabajo de titulación.
- Presentaron el informe del avance del trabajo de titulación a la Comisión de Titulación Especial de la Facultad.
- Se confirmó la originalidad del trabajo de titulación.
- Se entregó al revisor una certificación de haber concluido el trabajo de titulación.
- Cabe mencionar que los autores durante el desarrollo del trabajo de titulación pusieron mucho interés en el desarrollo de cada una de las actividades de acuerdo al cronograma trazado.
- Particular que certifico para los fines pertinentes.

Ing. Carlos Moreira Mendoza Mg. Sc.

TUTOR

INFORME DE REVISOR TRABAJO DE TITULACIÓN

INFORME DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Luego de haber realizado el trabajo de titulación, en la modalidad investigativa y que lleva por el tema: **"OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULOSICOS (*Saccharum officinarum L.; Manihot esculenta; Musa paradisiaca*) Y SU CARACTERIZACIÓN QUÍMICA"** desarrollado por las señoritas **CANDO PALMA ALEXA DENISSE** y **VERA CHAVEZ MARÍA JOSÉ** con cédulas de ciudadanía N° 120686933-9 y 131476984-3 respectivamente, previo a la obtención del título de Ingenieras Químicas, bajo la tutoría y control del señor Ing. Carlos Moreira M. Mg., GA., docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas y cumpliendo con todos los requerimientos del nuevo reglamento de la Unidad de Titulación Especial de la Universidad Técnica de Manabí, aprobado por el H. Consejo Universitario, cumpla con informar que en la ejecución del mencionado trabajo de titulación, el autor:

- Han respetado los derechos de autor correspondiente a tener menos del 10% de similitud con otros documentos existentes en el repositorio.
- He aplicado correctamente el Reglamento General de Titulación de la Universidad Técnica de Manabí del Ecuador.
- Las conclusiones guardan estrecha relación con los objetivos planteados.
- El trabajo posee suficiente argumento técnico científico, evidencia en el contenido bibliográfico consultado.
- Mantiene rigor científico en las diferentes etapas de su desarrollo.
- Sin más que informar suscribo que este documento NO VINCULANTE para los fines legales pertinentes.


Ing. Ulbio E. Alcívar Cedeño, PhD., Mg.

REVISOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quienes firman la presente, profesionistas; CANDO PALMA ALEXA DENISSE y VERA CHÁVEZ MARIA JOSE, en calidad de autores del trabajo de titulación realizado sobre: **“OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULOSICOS (*Saccharum officinarum L.; Manihot esculenta; Musa paradisiaca*) Y SU CARACTERIZACIÓN QUÍMICA”** hacer uso de todos los contenidos que nos pertenecen con fines estrictamente académicos o de investigación. Los derechos que como autores nos corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirá vigente a nuestro favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5,6,8,19 y demás pertinentemente de la Ley de Propiedad de Intelectual y su Reglamento. Así mismo las conclusiones y recomendaciones constantes en este texto, son criterios netamente personales y asumimos con responsabilidad la descripción de las mismas.



Cando Palma Alexa Denisse

AUTORA



Vera Chávez María José

AUTORA

INDICE DE CONTENIDO PRELIMINAR

PORTADA	
DEDICATORIA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	V
INFORME DE REVISOR TRABAJO DE TITULACIÓN	VI
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	VI
RESUMEN	XV
SUMMARY	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
CAPITULO I	1
1. TEMA	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2.1. Descripción del Problema	2
2.2. Delimitación del problema	3
2.2.1. Delimitación Espacial	3
2.2.2. Delimitación Temporal	3
2.2.3. Formulación del Problema.....	3
3. DESARROLLO DE LA LITERATURA Y MARCO TEÓRICO	4
3.1. ANTECEDENTES	4
3.2. JUSTIFICACIÓN	6
CAPITULO II	7
3.3. MARCO TEÓRICO	7

3.3.1.	Residuos lignocelulósicos.....	7
3.3.1.1.	Materiales lignocelulósicos de interés industrial.....	7
3.3.2.	Composición	7
3.3.2.1.	Celulosa	8
3.3.2.2.	Hemicelulosa	9
3.3.2.3.	Lignina.....	10
a)	Biosíntesis.....	11
b)	Biodegradabilidad.....	12
c)	Análisis químico de lignina	12
3.3.3.	Azúcares Reductores.....	12
3.3.4.	Materias Primas	13
3.3.4.1.	El Banano	13
a)	Clasificación taxonómica.....	13
b)	Características del banano ecuatoriano.....	13
c)	Descripción de Productos Elaborados	14
3.3.4.2.	Producción Nacional	14
a)	Propiedades nutricionales	15
b)	Propiedades funcionales de la cáscara de plátano	16
3.3.4.3.	Caña de azúcar.....	17
a)	Clasificación taxonómica.....	17
b)	Parámetros ambientales	18
c)	Ciclo de la caña de azúcar.....	18
d)	Descripción de productos elaborados	18
e)	Producción nacional.....	19

f) Propiedades nutricionales	20
3.3.4.4. Yuca.....	21
a) Clasificación taxonómica.....	22
b) Características de yuca.....	22
c) Descripción de productos elaborados	23
d) Producción nacional.....	24
e) Propiedades nutricionales	25
f) Propiedades funcionales de la cáscara de yuca.....	25
3.3.5. Obtención de alcohol	26
3.3.5.1. Pretratamiento de materias primas	26
a) Pretratamiento mecánico.....	27
b) Pretratamiento físico-químicos	27
c) Pretratamiento químico.....	28
d) Pretratamiento biológico.....	28
3.3.5.2. Hidrólisis	29
a) Hidrólisis ácida	30
b) Hidrólisis enzimática	31
c) Hidrólisis alcalina	31
3.3.5.3. Fermentación	32
a) Fermentación alcohólica	32
3.3.5.4. Destilación.....	34
a) Destilación sencilla	34
b) Destilación fraccionada.....	34
c) Destilación al vacío.....	34

3.3.5.5.	Caracterización físico-química de alcohol	35
a)	Grado alcohólico	35
b)	Acidez total, como ácido acético	35
c)	Esteres, como acetato de etilo.....	36
d)	Aldehídos, como etanal.....	36
e)	Furfural	36
f)	Alcoholes superiores.....	36
g)	Metanol	36
3.3.5.6.	Métodos de identificación o caracterización	37
a)	Cromatografía capa fina.....	37
b)	Espectrofotometría.....	37
c)	Espectrofotometría UV-visible	37
•	Región UV	38
•	Región visible	38
•	Transmitancia y Absorbancia	38
•	Ley de Lambert-Beer.....	39
	CAPITULO III	40
	4. VISUALIZACIÓN DEL ALCANCE DEL ESTUDIO	40
	5. ELABORACIÓN DE HIPÓTESIS Y DEFINICIÓN DE VARIABLES	41
5.1.	Hipótesis	41
5.2.	Variables	41
5.2.1.	Variable Independiente	41
5.2.2.	Variable Dependiente	41
5.2.3.	Operacionalización de las variables.....	42

CAPITULO IV	44
6. DESARROLLO DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	44
6.1. Objetivo General	44
6.2. Objetivos Específicos	44
6.2.1. Campo de Acción.....	44
6.3. Diseño Metodológico	45
6.3.1. Tipo de Investigación.....	45
6.3.1.1. Investigación Descriptiva	45
6.3.1.2. Investigación Experimental	45
6.3.2. Métodos de Investigación	45
6.3.2.1. Método cualitativo.....	45
6.3.2.2. Método cuantitativo.....	45
6.3.3. Técnicas	46
6.3.3.1. Determinación de pH.....	46
6.3.3.2. Determinación de °Brix.....	46
6.3.3.3. Determinación de Azúcares Reductores.....	47
6.3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL	48
6.3.4.1. Diagrama de flujo para la obtención de alcohol.....	48
CAPITULO V	49
7. DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE LA MUESTRA	49
7.1. Obtención de <i>Saccharum officinarum L.; Manihot esculenta; Musa paradisiaca</i> 49	
7.2. Obtención del Alcohol	49
7.2.1. Materiales.....	49

7.2.2. Preparación de las muestras	50
8. RECOLECCIÓN DE LOS DATOS.....	52
8.1. Determinación de pH	52
8.2. Determinación de °Brix	52
8.3. Destilación de los Residuos Fermentados	54
8.4. Determinación de Metanol	56
9.1. Análisis de pH.....	57
9.2. Análisis de °Brix.....	58
9.3. Análisis de grado alcohólico	59
9.4. Análisis de metanol	61
ANÁLISIS E INTERPRETRACIÓN DE LOS RESULTADOS	62
Conclusiones.....	63
Recomendaciones.....	64
PRESUPUESTO	65
CRONOGRAMA.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pg.
Figura 1. Estructura de la celulosa.....	15
Figura 2. Estructura de la hemicelulosa.....	18
Figura 3. Estructura de la lignina.....	19
Figura 4. Diagrama de proceso.....	50
Figura 5. Determinación de pH.....	57
Figura 6. Determinación de °Brix.....	58
Figura 7. Grados alcohólicos	59
Figura 8. Grados alcohólicos en muestras para determinación de metanol.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

	Pg.
Tabla 1. Composición química del banano por 100g de peso neto.....	16
Tabla 2. Componentes de la caña de azúcar.....	17
Tabla 3. Tipo, condiciones y propiedades para el desarrollo de algunos microorganismos fermentadores.....	36
Tabla 4. Resultado de pH.....	57
Tabla 5. Resultado de °Brix.....	58
Tabla 6. Resultado de la Destilación de los Residuos.....	60
Tabla 7. Resultado de la Determinación de Metanol.....	61

RESUMEN

Los materiales lignocelulósicos son considerados aptos para la producción de etanol de segunda generación. En el Ecuador se generan 4'139.512 Tm/año de residuo agrícola. En la presente investigación se trabajó con cáscara de yuca, cáscara de banano y bagazo de la caña realizando un estudio experimental que ha permitido obtener alcohol a partir de estos. Los procesos para la obtención del alcohol a nivel del laboratorio, fue el pretratamiento, deslignificación, hidrólisis ácida, fermentación, destilación y caracterización. El pretratamiento fue llevado a cabo con Hidróxido de Sodio (NaOH) al 0,1N en conjunto con sulfato de calcio, buscando eliminar la lignina de dichos residuos. La hidrólisis ácida se realizó con solución de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) al 5% a un tiempo y temperatura determinada, buscando ajustar el pH de manera eficiente. Una vez culminada el periodo de fermentación se procedió a realizar la destilación de cada uno de los sustratos, obteniendo un producto destilado con concentración 11° Gay-Lussac que corresponde a la cáscara de la yuca. El alcohol obtenido se sometió a una caracterización química para determinar la presencia o ausencia de metanol. Según este análisis, se estableció que la producción de alcohol de estos residuos poseía una presencia mayoritaria de etanol y una ausencia de metanol.

SUMMARY

Lignocellulosic materials are considered apt for production of second generation ethanol. In Ecuador are produced 4 139 512 Tm/year of agricultural waste. In this research it worked with yucca peel, banana peel and bagasse from sugar cane making a experiental study it has allowed to obtain alcohol from these.

The processes for obtain alcohol at laboratory level was: pretreatment, delignification, acid hydrolysis, fermentation, distillation and characterization. The pretreatment was made with Sodium hydroxide (NaOH) 0.1 N and Calcium Sulfate trying to remove the lignin of these wastes. Acid hydrolisys was carried out with sulfuric acid H_2SO_4 5% solution at a set time and temperature, trying to adjust the pH correctly. Ending the fermentation time to do the distillation on every one of the substrates in which obtained an destilled with concentration 11° Gay - Lussac corresponding to yucca peel. The obtained alcohol was subjected to a chemical characterization to determine the presence or absence of methanol. According to this analysis, it was established that the alcohol production of these residues had a predominant presence of ethanol and an absence of methanol

According to the analysis of alcoholic degree and methanol determinated that there is ethanol as majority chemical compound and absence of methanol. However, other alcohols could be found in lesser amounts that were not identified.

INTRODUCCIÓN

La visión de la generación de miles de residuos sólidos vegetales derivada del consumismo a nivel mundial, ha sido una problemática que causa efectos ambientales negativos, asociados al incremento de la población humana, los procesos de transformación industrial, agroalimentarios y a los malos hábitos de consumo de las personas. La solución al problema a nivel mundial implica la separación de residuos orgánicos de los demás desechos sólidos, empleando diversas técnicas de procesamiento de productos y subproductos en la industria que genera diversidad de beneficios, el proceso de reciclaje genera la transformación de los residuos orgánicos, nuevamente en materia prima para productos de fermentación, etanol, biocombustibles, jarabes edulcorados y en el proceso de compostaje, como biofertilizantes (Gerena, 2013).

En Ecuador se cultiva caña de azúcar, trigo, yuca, banano, entre otros; actividades que dan subproductos como bagazo, paja y cáscaras, éstos producidos en grandes volúmenes prácticamente carecen de importancia económica. Aproximadamente sólo el 50% de éstos materiales se reutiliza, no se usan como alimento animal por sus bajas propiedades nutricionales, y debido a su bajo poder calórico y elevada humedad no se usan para generación de energía por combustión directa, por estas razones se convierten en un problema ambiental por su lenta degradación, además que por su excesiva acumulación son quemados produciendo partículas y emisiones a la atmósfera que contribuyen en gran medida a la contaminación ambiental y provocan serios riesgos y problemas de salud en los agricultores y comunidades cercanas (Mantilla, 2012).

En la actualidad el uso de los biocombustibles se presenta como una nueva alternativa energética y una solución creativa al problema de la dependencia de los combustibles fósiles. Para los planificadores energéticos lo que realmente es nuevo son las tecnologías que permiten el manejo y aprovechamiento de una manera controlada de las biomásas, en uno de los mayores casos la cascarilla de arroz que tiene uso como combustible (Villada & Mosquera, 2010).

El principal impedimento tecnológico para la obtención de etanol de la lignocelulosa es la ausencia de métodos de bajo costo y no contaminantes, para remover la lignina de la pared celular; puesto que ésta es altamente resistente a la degradación química y biológica; ó disminuir su porcentaje sin afectar al contenido de celulosa y Hemicelulosa del material, y también reducir la cristalinidad de la celulosa, por ello la necesidad de investigar y proponer alternativas de solución dirigidas a mejorar la hidrólisis de la lignocelulosa mejorando la liberación de azúcares, como los pre tratamientos fisicoquímicos (Mantilla, 2012).

Este estudio tiene como objetivo determinar las mejores condiciones de hidrólisis ácida para obtener la mayor cantidad de azúcares reductores, a partir de fuentes de biomasa, entre las que podemos destacar son madera, caña de azúcar, maíz, trigo, yuca, arroz, banano, entre otros (Sanchez, Gutiérrez , Muñoz, & Rivera, 2010). En este caso se trabajara con cáscara de yuca, cáscara de banano y bagazo de caña de azúcar, para luego ser fermentados y obtener alcohol.

CAPITULO I

1. TEMA

“OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS (*Saccharum officinarum* L.; *Manihot esculenta*; *Musa paradisiaca*) Y SU CARACTERIZACIÓN QUÍMICA.”

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción del Problema

La gestión de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe evolucionan paralelamente al crecimiento económico e industrial de la región. En el Ecuador el manejo de dichos residuos como en otras partes del mundo ha ido provocando problemas ambientales y sociales. En Ecuador, cada persona produce 0,75 kilos de residuos promedio al día, lo que suma un total de 4'139.512 Tm/año (Barradas, 2009).

Los procesos agroindustriales generan subproductos o residuos que si no son tratados, reciclados o procesados apropiadamente, generan diversos problemas ambientales. Algunos son incinerados o vertidos en rellenos sanitarios produciendo una gran liberación de dióxido de carbono, contaminación de cursos de aguas, molestias por presencia de malos olores, proliferación de ratas, moscas y otros, su eliminación supone un problema de gestión para las empresas productoras, éstos materiales poseen un alto contenido en compuestos químicos (como azúcares, pigmentos, fibra alimentaria, proteína, polifenoles y lignina, entre otros) y pueden ser potencialmente útiles cuando se transforman mediante tratamientos químicos o microbiológicos en productos de elevado valor agregado (Marcillo, Vivas, & Noles, 2012).

Estos residuos biomásicos provienen de más de 300 especies vegetales, entre las que podemos nombrar la soya, la colza, la palma africana, el girasol, el maíz, el sorgo, la yuca, la remolacha, la caña de azúcar, banano, arroz, madera, entre otros (Puentes, 2008). En el Ecuador se producen miles de toneladas de desechos agroindustriales en las centrales azucareras, en la cosecha del trigo, banano, arroz y yuca, cuya disposición final es un problema ambiental debido a que en su mayoría son quemados, contribuyendo al efecto invernadero, ó usados para tableros, papel, fertilizantes y alimento para rumiantes, pero con un bajo contenido de nutrientes, en especial de proteína que no supera el 4% (Mantilla, 2012).

2.2. Delimitación del problema

2.2.1. Delimitación Espacial

La obtención de alcoholes se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Técnica de Manabí.

La caracterización de alcoholes mediante análisis físico-químico se ejecutó en el Laboratorio AVVE S.A. en la ciudad de Guayaquil.

2.2.2. Delimitación Temporal

La investigación se realizó tomando en cuenta toda la información presente en el periodo comprendido entre el 2010 al primer semestre del 2016.

2.2.3. Formulación del Problema

¿En la caracterización química de los alcoholes provenientes de residuos lignocelulósicos (*Saccharum officinarum L.*; *Manihot esculenta*; *Musa paradisiaca*) se pueden determinar los diferentes tipos de compuestos obtenidos y mejorar los procesos del rendimiento?

3. DESARROLLO DE LA LITERATURA Y MARCO TEÓRICO

3.1. ANTECEDENTES

Debido al crecimiento de la población mundial, así como a los niveles de industrialización en algunos países, la demanda energética global se ha ido incrementando gradualmente. Actualmente se consumen 91,6 millones de barriles de petróleo al día en todo el mundo, la escasez de petróleo está asegurada en el futuro, y dado que nuestra movilidad depende de dicha fuente energética es necesario plantearse un cambio en el modelo energético (Bellido, 2013).

En las últimas décadas, la mayor demanda de energía y el progresivo calentamiento del planeta junto con el notable encarecimiento de los precios de petróleo y la dependencia de las importaciones de combustibles fósiles, son las principales causas que han motivado el aumento del uso de energías renovables. En la unión Europea se estableció que para el año 2020, el 20% del consumo final de energía debe proceder de fuentes de carácter renovable. El 10% de este consumo renovable debe estar destinado específicamente al sector transporte, por lo que en este escenario los biocombustibles cobran especial importancia como primera alternativa para sustituir a los derivados del petróleo utilizados en automoción (Sanchez, Gutiérrez , Muñoz, & Rivera, 2010).

Experimentalmente los residuos lignocelulósicos se ha utilizado en procesos industriales como combustible o relleno para materiales, cabe aclarar que se aprovecha en su estado natural, es decir, como biomasa. Sin embargo, también se han realizado estudios acerca de la ceniza, como resultado de su combustión, gracias a sus propiedades, siendo utilizada en los distintos productos de caucho y plásticos, ya sea como relleno o en su conformación, mejorando las propiedades mecánicas o simplemente para reducir costos (Villada & Mosquera, 2010).

El aumento de la producción de alcohol en el Ecuador está aparejado con el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan obtener etanol a partir de residuos agrícolas, maderables, de desechos sólidos y de todos los materiales que contengan celulosa y hemicelulosa, para permitir entonces revalorizar los desechos de varias industrias y convertirlos en materia

prima para la obtención de alcohol (Viñals-Verde, Bell-García, Michelena-Álvarez, & Ramil-Mesa, 2012).

Una de las principales fuentes de hexosas y pentosas es sin duda, la biomasa de tipo lignocelulósico proveniente principalmente de residuos agrícolas, dado a su elevado contenido de celulosa y hemicelulosa. No obstante, lograr el fraccionamiento de esta biomasa para tener los anhelados polímeros de celulosa y hemicelulosa es un trabajo muy complejo, dado que el elevado contenido de lignina presente impide la separación de los polisacáridos para su posterior hidrólisis, por lo cual es necesario emplear tratamientos físicos, químicos, biológicos o la combinación de estos, lo suficientemente fuertes para que permitan la separación de los polímeros pero sin generar reacciones secundarias de estos azúcares en productos indeseados.

3.2. JUSTIFICACIÓN

Es de conocimiento general que enormes cantidades de residuos lignocelulósicos y otros desechos orgánicos se generan anualmente en el mundo, producto de las actividades agrícolas, forestales e industrias de alimentos. Más de 3000 millones de toneladas métricas (TM) de rastrojos estaban disponibles en el mundo hasta el año 2004, y, alrededor de la mitad de estos residuos no se utilizaron con ningún fin (Morales & Flores, 2010).

En la actualidad la generación de alternativas de tratamiento de los residuos lignocelulósicos, distintos a los ya convencionales, ha conllevado al uso de estas materias primas naturales y aprovecharlos de la mejor manera.

Ello ha surgido a raíz de la necesidad de proteger el medio ambiente, preservar los recursos tanto renovables como no renovables y maximizar el potencial de uso de productos agrícolas, y en especial de los subproductos que estos generan al someterlos a distintos procesos agroindustriales. En Ecuador se producen miles de toneladas en centrales azucareras y en cosecha de trigo los cuales son quemados, contribuyendo al efecto invernadero y por ende generar un problema ambiental (Mantilla, 2012).

La alternativa de emplear residuos lignocelulósicos en materia prima para productos de fermentación, en la producción de biocombustible, jarabes edulcorados y en el proceso de compostaje, como biofertilizantes constituye hoy en día una posibilidad altamente prometedora por su amplia disponibilidad en el mundo. La existencia en los diversos países iberoamericanos con abundantes recursos lignocelulósicos, justifica la dedicación por estas naciones en dar un esfuerzo importante al desarrollo y adaptación de tecnologías tendientes a la utilización integral y racional de los mismos (Puentes, 2008).

CAPITULO II

3.3. MARCO TEÓRICO

3.3.1. Residuos lignocelulósicos

Según Viñals-Verde, Bell-García, Michelena-Álvarez, & Ramil-Mesa (2012), el interés por el uso de materiales lignocelulósicos como materia prima en procesos de transformación por microorganismos es importante desde hace varias décadas. Entre las razones fundamentales se tienen que:

El material lignocelulósico es el producto agroindustrial de mayor abundancia. Es una fuente de materia prima renovable, por constituir una parte estructural en el reino vegetal. Los materiales lignocelulósicos son menos costosos que los materiales convencionalmente utilizados para producir etanol. En general las paredes celulares de plantas consisten en polisacáridos, compuestos fenólicos y compuestos minoritarios (minerales, lípidos, proteínas, etc.). Los polisacáridos se clasifican en celulosa, hemicelulosa y pectinas. Gran parte de los compuestos fenólicos están presentes en la estructura de lignina.

La pared celular primaria envuelve la célula que durante la fase de expansión celular crece hasta un tamaño 100 veces más larga que su tamaño justo después de dividirse (Pepijn, 2010).

3.3.1.1. Materiales lignocelulósicos de interés industrial

3.3.2. Composición

Evidentemente celulosa, hemicelulosa y lignina son los principales constituyentes de la pared celular de las plantas. La morfología de fibras depende principalmente de la composición y la organización estructural de estos constituyentes. Sin embargo contiene compuestos minoritarios no poliméricos que pueden ser de vital importancia para los procesos fisiológicos de la célula (Pepijn, 2010).

3.3.2.1. Celulosa

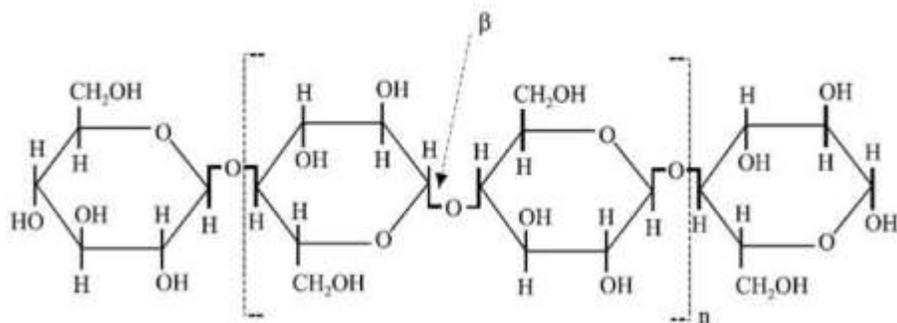
Según Guarnizo, Martínez, & Valencia (2009), es el compuesto orgánico de mayor abundancia en la naturaleza, de gran importancia a nivel biológico y un polímero de interés industrial.

La celulosa es un homopolisacárido compuesto exclusivamente de moléculas de glucosa, dispuestas en forma lineal o fibrosa; es rígido, insoluble en agua (debido a los puentes de hidrógeno entre grupos hidroxilos de distintas cadenas yuxtapuestas, haciéndolas impenetrables al agua), se forma por la unión de moléculas de β -glucosa mediante enlaces β -1,4-O-glucosídico, es la biomolécula orgánica más abundante de la biomasa terrestre. Tiene peso molecular variable con fórmula empírica $(C_6H_{10}O_5)_n$. (Vásquez, 2011).

Es además la forma más común de encontrar al carbono de la biomasa. Las plantas sintetizan la celulosa como material estructural para soportar su peso. La longitud del polímero es altamente variable y dependiente del organismo del cual la celulosa haya sido obtenida, así como de la edad y estado metabólico al momento de la extracción. (Espinosa, 2013).

Estudios recientes investigan derivados de celulosa como por ejemplo la esterificación con cloruros de ácidos grasos para su uso en materiales compuestos de construcción para fortalecer (Pepijn, 2010)

Figura 1. Estructura de la celulosa



Fuente: TAIZ, Lincoln y ZEIGER, Eduardo. Fisiología vegeta. 2006

3.3.2.2. Hemicelulosa

Según Castillo, Siqueiros, & Rascón (2011), es un heteropolímero compuesto por azúcares en cadenas cortas, lineares y altamente ramificadas.

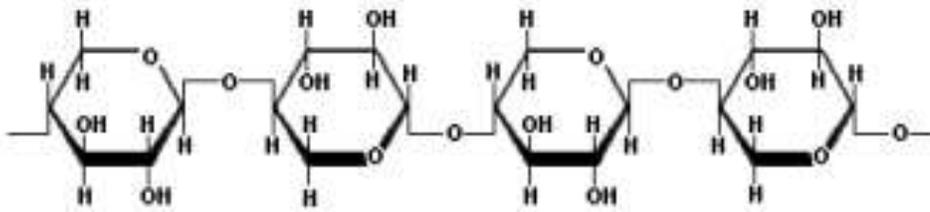
Es un contraste con la celulosa, la cual es cristalina, fuerte y resistente a la hidrólisis, la hemicelulosa son estructuras aleatorias, amorfas con pequeña solidez, fácilmente hidrolizables en ácidos o bases diluidas (Espinosa, 2013).

Es (polisacárido compuesto por más de un tipo de monómero), unidos por enlaces β (1-4) (fundamentalmente xilosa, arabinosa, galactosa, manosa, glucosa y ácido glucorónico) que forman una cadena lineal ramificada. Entre estos monosacáridos se destacan: la glucosa, galactosa y fructosa (Vásquez, 2011).

La hemicelulosa cubre y unen a las microfibrillas de celulosa en una matriz común. La corta extensión de las cadenas incrementa la solubilidad de la hemicelulosa y la posición expuesta de las mismas en la superficie de las microfibrillas, explicaría por qué estos polímeros están entre los primeros componentes de la pared celular atacados por los hongos causantes de pudrición (Espinosa, 2013).

Estas son más difíciles de clasificar, es decir, son polisacáridos con grupos heterogéneos. Tienen un grado de polimerización entre 100 y 200 en fibras madereras. Son insolubles en agua, pero en medio alcalino se disuelven. Su comportamiento físico-químico, principalmente su capacidad de enlace y su comportamiento visco-elástico, es de gran importancia para proporcionar propiedades deseadas como grado de hinchamiento, (re)hidratación, plasticidad, flexibilidad, rigidez, dureza, etc. Durante el proceso de fabricación de papel (Pepijn, 2010).

Figura 2. Estructura de la Hemicelulosa



Fuente: Reciclaje de residuos agrícolas de café y cabuya en la elaboración de tableros compuestos en base de resinas urea-formaldehído (UF), (2011).

3.3.2.3. Lignina

Según Rueda & Herrera (2006), es el componente de naturaleza no polisacárida más abundante en las paredes celulares vegetales. Está formada por la extracción irreversible del agua de los azúcares, creando compuestos aromáticos

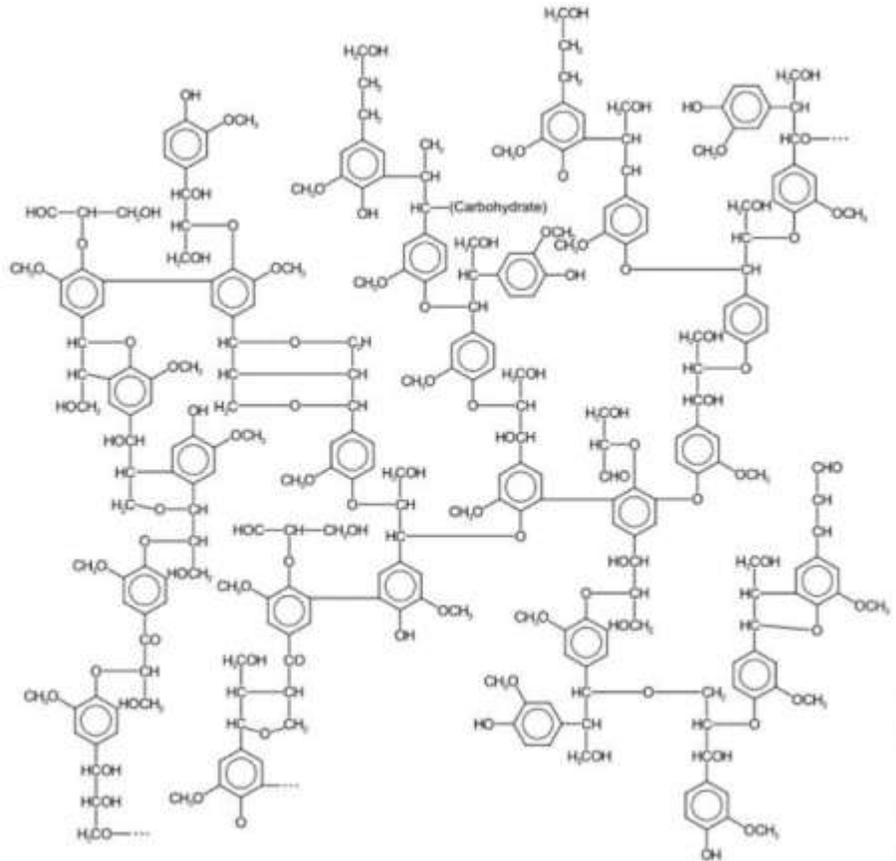
La lignina representa entre 25 y 33% de la biomasa en madera de especies coníferas y entre 18 y 34% de frondosas. Detrás de celulosa y hemicelulosa, es el tercer biopolímero más abundante en la Tierra. Este polímero se encuentra principalmente en la lámina media de la pared celular y en las capas de la pared celular. Con la hemicelulosa forman una matriz alrededor de las microfibrillas de celulosa (Espinosa, 2013).

La lignina es un polímero natural, amorfo y heterogéneo, sus estructuras están transconectadas. Posee un peso molecular muy alto (alrededor de 10.000 uma.), resulta de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos (cumarílico, coniferílico y sinapílico). El acoplamiento aleatorio de estos radicales da origen a una estructura tridimensional. Se caracteriza por ser un complejo aromático (no carbohidrato) del que existen muchos polímeros estructurales (ligninas). Resulta conveniente utilizar el término lignina en un sentido colectivo para señalar la fracción de la fibra. Después de los polisacáridos, son los más abundantes en el mundo vegetal. Cabe destacar que es la única fibra no polisacárida que se conoce. (Vásquez, 2011).

La lignina imparte resistencia a la degradación microbiana de la madera. La íntima asociación espacial existente entre los polisacáridos y la lignina dentro de las paredes

celulares de la madera provee una barrera protectora que impide la degradación de la celulosa (Espinosa, 2013).

Figura 3. Estructura de la lignina



Fuente: TAIZ, Lincoln y ZEIGER, Eduardo. Fisiología vegetal. 2006

a) **Biosíntesis**

Lignina es un biopolímero sintetizado a partir de la fenilalanina. La lignina presenta una estructura macromolecular con unidades unidas por varios tipos de enlaces que no se repiten con cierta frecuencia, es decir, tiene una estructura tridimensional irregular. El estudio de la biosíntesis de ligninas de varias plantas naturales y transgénicas permite explicar la alta variedad de enlaces encontrados y controlar de cierto modo la estructura y composición a nivel de expresión de los genes que intervienen en la biosíntesis (Pepijn, 2010).

b) **Biodegradabilidad**

La biodegradabilidad de lignina es de gran importancia en la producción de pasta de papel para separar la celulosa. Ligninas más recalcitrantes resulta en más lignina residual, lo que baja el rendimiento de la separación de celulosa y consecuentemente la calidad del papel. Esto a su vez hace aumentar el tiempo de resistencia con el riesgo de degradar la celulosa (Pepijn, 2010).

c) **Análisis químico de lignina**

No existe un método general para el análisis cuantitativo de lignina. Se distingue entre métodos gravimétricos invasivos y métodos no-invasivos manteniendo la estructura de la lignina intacta. La aptitud del método depende principalmente del tipo de material lignocelulósico (Pepijn, 2010).

- *Contenido de lignina.* Los métodos más empleados son los de detergentes ácido, **Klanson**, permanganato y más reciente con acetyl bromuro. En la lignina **Klanson** puede que interfieren las proteínas, en los otros análisis no (Pepijn, 2010).
- *Lignina ácido-soluble.* La determinación de lignina ácido-soluble se base en la determinación de la absorción del extracto soluble en la región UV después la extracción con ácido sulfúrico diluido usado en la determinación de lignina no ácido-soluble. En esa región los compuestos fenólicos de la lignina absorben mucho más que en los carbohidratos (Pepijn, 2010).

3.3.3. **Azúcares Reductores**

Azúcares reductores son aquellos que, como la glucosa, fructosa, lactosa y maltosa presentan un carbono libre en su estructura y pueden reducir, en determinadas condiciones, a las sales cúpricas (Espinosa, 2013).

Los monosacáridos y la mayoría de los disacáridos poseen poder reductor, que deben al grupo carbonilo que tienen en sus moléculas. Este carácter reductor puede ponerse de manifiesto por medio de una reacción redox, llevada a cabo entre ellos y el sulfato de Cobre⁺². Las soluciones de esta sal tienen color azul. Tras la reacción con el glúcido reductor se forma

óxido de Cobre⁺¹ de color rojo. De este modo, el cambio de color indica que se ha producido la citada reacción y que, por lo tanto, el glúcido presente es reductor (Espinosa, 2013).

Los sólidos solubles están representados por los azúcares y los no azúcares orgánicos e inorgánicos. Los azúcares se representan a su vez por la sacarosa, la glucosa y la fructosa, manteniendo la sacarosa en mayor porcentaje. Los otros azúcares del jugo aparecen en proporciones variables, dependiendo del estado de maduración de la materia prima (Chávez, 2004).

El °Brix o grados Balling es otra escala del hidrómetro utilizada en la industria azucarera, normalmente las escalas Brix se calibran a 15.6 a 20°C. Con la escala a 20°C, cada °Brix indica 1 gramo de sacarosa por cada 100 gramos de líquido (Doran, 1998).

3.3.4. Materias Primas

3.3.4.1. El Banano

El banano se cultiva en todas las regiones tropicales y tiene una importancia fundamental para las economías de muchos países en desarrollo. En términos de valor bruto de producción, el banano es el cuarto cultivo alimentario más importante del mundo, después del arroz, el trigo y el maíz (ProEcuador, 2016).

a) Clasificación taxonómica

El banano y el plátano pertenecen al orden Escitaminales (6 familias), familia: Musáceas (3 subfamilias) y género: Musa, este género está dividido en 5 secciones, de los que la sección: Eumusa comprende las dos especies: Musa acuminata (banano) y Musa Balbisiana (plátano) (Casallas, 2013).

b) Características del banano ecuatoriano

El banano es una fruta tropical muy rica y nutritiva, tiene forma oblonga, alargada y algo curvada, su piel es de color amarillo, su pulpa es blanca, su sabor es dulce, intenso y perfumado. La fruta cuenta con un posicionamiento a nivel internacional, ya que se lo conoce como un súper alimento, por su calidad, sabor y textura, cuyas propiedades nutritivas aportan

una buena cantidad de energía, proteínas, calcio, hierro y vitamina C. Entre los beneficios que brinda a la salud, se puede mencionar que ayuda a recuperar electrolitos, es rico en potasio, e incluso podría ayudar a prevenir ciertos tipos de cáncer por sus antioxidantes naturales (ProEcuador, 2016).

c) **Descripción de Productos Elaborados**

Dentro del sector bananero, el principal producto exportado es el banano tipo “Cavendish”, mismo que cuenta con certificación orgánica y convencional. A su vez, es importante mencionar que de acuerdo a la demanda del mercado, la fruta se la consume preferentemente fresca, para no perder las propiedades nutritivas, además dicho producto también lo encontramos como alimentos procesados, a continuación se menciona las diversas presentaciones:

- Banano en almíbar y en rodajas deshidratadas (sin freír)
- Banano congelado
- Banano deshidratado en hojuelas
- Banano pasa (higo)
- Banano liofilizado
- Bebidas alcohólicas y etanol a partir de banano
- Harina y polvo de banano
- Jugos, néctares, y bebidas de banano
- Vinagre de banano
- Bebidas de banano
- Pulpa de banano

3.3.4.2. Producción Nacional

El banano se produce en las provincias de Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro, y Esmeraldas. En el año 2015 la producción de cajas de banano por hectárea se incrementó en un 5% en comparación al año anterior. Esto se debió a que mejoró el precio spot promedio en el año aunque el precio oficial era inferior. Este incremento permitió financiar

infraestructura, fertilización, y mejor manejo del control de la *Sigatoka*, enfermedad que afecta productividad y disponibilidad de la fruta exportable. El sector bananero según datos de Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) genera alrededor de 2 a 2,5 millones de empleo tanto directo como indirecto, siendo un promedio de empleo directo de 0,8 hombres por hectárea de banano; este rubro incluye campo y empaque. La variación de ingreso netos por más cajas de banano producidas es cuando se paga por caja el jornal y esta modalidad se da por lo general en productores que tienen más de 20,0 ha. Cuando los productores tienen menos de las hectáreas mencionadas, se paga por día sin importar la cantidad de cajas de banano producidas (ProEcuador, 2016).

Ecuador se mantiene como el principal exportador de banano en el mundo, el 30% de la oferta mundial de banano proviene de Ecuador, representando el 15% del total de las exportaciones y es el segundo rubro de mayor exportación del país dada la demanda de consumidores de los mercados más exigentes, y el hecho de formar parte de la dieta diaria de millones de personas. La exportación de banano ecuatoriano ha tenido un constante crecimiento en los últimos 3 años debido a que los productores han aumentado su productividad por hectárea, es decir, mayor número de cajas por hectáreas producidas (ProEcuador, 2016).

a) Propiedades nutricionales

Es rica en glúcidos, razón por la cual su valor calórico es razonable. Aporta potasio, magnesio, vitamina B9 (ácido fólico), sustancias astringentes y fibras. Esta fruta, apta desde los primeros meses hasta el adulto mayor, por lo general es percibida como muy “engordante” y esto es un gran error de concepto, ya que si tomamos por tamaño de consumo una manzana rara vez pesa menos de 150 gramos, en cambio una banana mediana, su parte comestible oscila alrededor de los 100 gramos y ambas aportan similar valor calórico. Su riqueza en potasio la ubica como fruta de elección para los deportistas, ideal para toda persona activa. Su acción astringente se debe a la presencia de taninos, por lo cual es muy usado en situaciones de diarreas. Dentro de las fibras se destaca especialmente un tipo llamado fructo-oligosacáridos, que al fermentar produce ciertas sustancias (ácido butírico y propiónico) que tienen un efecto protector al cáncer de colon, regulando el tránsito intestinal e inhibiendo el

crecimiento de células tumorales. La banana estimula la formación de endorfinas (estimulantes del buen humor). Por todas estas virtudes nutricionales es una fruta apta para todas las edades, para las personas que padecen hipertensión, diabetes y aún en planes hipocalóricos, seleccionando especialmente las que tienen una textura muy firme, recién maduras, cuyo contenido en glúcidos es menor (Mendoza, 2010).

Tabla 1. Composición química del banano por 100g de peso neto

ALIMENTO	CALORIAS (cal)	AGUA (g)	PROTEÍNA (g)	GRASAS (g)	CARBOHIDRATOS (g)	CENIZAS (g)
Banano común (pulpa) 100g	101	74,50	3,05	0,10	20,45	0,90

Fuente: Tabla de composición de alimentos del ICBF (2013)

b) **Propiedades funcionales de la cáscara de plátano**

El principal subproducto del proceso industrial del plátano, es la cáscara la cual representa aproximadamente el 30% del peso del fruto; las aplicaciones potenciales para la cáscara de plátano dependen de su composición química. La cáscara de plátano es rica en fibra dietética, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados y potasio; entre los esfuerzos para utilizar la cáscara se han obtenido proteínas, metanol, etanol, pectinas y enzimas. Entre otros usos se ha obtenido carbón vegetal, una fuente de combustible alternativa para cocinar. Kudan en 1962 reportó que la cáscara en conjunto con otras sustancias crea un ungüento para reducir los dolores causados por la artritis, además se considera que la cáscara de plátano puede ser una fuente potencial de sustancias antioxidantes y antimicrobianas, así como compuestos fitoquímicos con actividad contra radicales libres.

Varios autores han analizado el efecto de los compuestos antioxidantes presentes en cáscara de plátano, para identificar el efecto sobre los radicales libres los cuales se producen continuamente en nuestro organismo ya sea de manera natural o por el estrés ambiental, así como otros factores relacionados con muchas enfermedades como el cáncer, aterosclerosis, artritis, enfermedad de Parkinson y Alzheimer (Blasco & Gómez, 2014).

3.3.4.3. Caña de azúcar

Según Osorio (2007), la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) es una planta monocotiledónea que pertenece a la familia de las gramíneas.

La caña de azúcar es uno de los principales cultivos agroindustriales a nivel mundial, debido al uso directo e indirecto de los productos y subproductos en la alimentación humana y animal, además es un cultivo conservacionista y cumple un papel importante como mejorador de las condiciones físicas de los suelos. Este es un cultivo permanente, que se cosecha en períodos que oscilan entre 12 y 24 meses (Puentes, 2008).

El metabolismo fotosintético de esta planta, le confiere una alta eficiencia en la conversión de la energía radiante en energía química, con tasas fotosintéticas calculadas aproximadamente en 100 mg de CO₂ fijado por dm² de área foliar por hora. Esta extraordinaria capacidad, que en buenas condiciones de cultivo produce volúmenes superiores a las 100 t/ha de tallos, si se incluyen las hojas y puntas, que no se emplean para la producción de azúcar, el volumen de biomasa vegetal se eleva en 20% (Puentes, 2008).

Tabla 2. Componentes de la caña de azúcar

Componentes	Materia Seca	Azúcares totales	Sacarosa	Fibra	Cenizas	Agua	Otros
Tallos	29%	15.4%	14.1%	12.2%	0.5%	71%	0.8%
Hojas y puntas	26%	0.2%	--	19.8%	2.3%	74%	2.4%

Fuente: Puentes (2008)

a) Clasificación taxonómica

La caña de azúcar pertenece a la familia de las gramíneas, concretamente al género *Saccharum*. Las variedades cultivadas son híbridos de la especie *officinarum* y otras afines (*spontaneum*,...) (Infoagro, 2012).

Procede de extremo Oriente, desde donde llegó a España (concretamente a las zonas de Málaga y Motril), muchos países latinoamericanos se encuentran como grandes productores de caña de azúcar (Infoagro, 2012).

b) Parámetros ambientales

Los parámetros ambientales que más afectan los procesos de bioconversión de energía de la caña de azúcar son: luz (intensidad y cantidad), concentración de CO₂, disponibilidad de agua y nutrientes y temperatura; este último es de los factores climáticos, más importante para la producción de caña de azúcar. La planta, generalmente, es tolerante a altas temperaturas, produciéndose en regiones con temperatura media de 47°C; en temperaturas más bajas (menos de 21°C), disminuye el crecimiento y se promueve la acumulación de sacarosa (Puentes, 2008).

c) Ciclo de la caña de azúcar

La Plantación de las estacas son colocadas bajo un poco de tierra húmeda. La Germinación a partir de las reservas contenidas en la estaca, las yemas germinan brotando tallos llamados primarios, mientras que unas raicillas nacen a partir de los primarios situados a la altura de las yemas tomando por su cuenta la alimentación de la joven planta. Los Retoños, La macolla comprende la parte subterráneas de los diversos tallos recientemente cortados, los jóvenes brotes a punto de aparecer y todo el conjunto de raíces a partir de las yemas latentes, nacen nuevos tallos que comparten a su vez nuevos ojos (que pueden desarrollarse o no) y que dan origen a nuevas raíces (Viejó, 2013).

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una gramínea anual en la que se manejan dos tipos de plantaciones: caña planta, que es el ciclo que comprende desde la siembra hasta el primer corte y caña soca, que empieza después del primer corte y termina con el último (pueden ser cinco o más) antes de hacer una nueva siembra, lo que se conoce como renovación. El proceso de elaboración del azúcar está dividido en dos etapas: campo y planta (Viejó, 2013).

d) Descripción de productos elaborados

De ese espigado y alto tallo de la caña no sólo se produce azúcar, es una planta que ofrece diversos productos y subproductos. Su cultivo genera empleo permanente, contribuye al desarrollo económico, aporta en la estabilidad social y se convierte en uno de los cultivos

que trabaja y está comprometido con el cuidado del medio ambiente y la sostenibilidad (Uribe, 2010).

De la caña de azúcar no se desperdicia nada. Sus hojas y bagazo son utilizadas en alimento para animales como ganado y porcinos. De la combustión del bagazo se genera energía eléctrica, a partir de las mieles y azúcares se fabrican confites, dulces y bebidas. Mediante un proceso de destilación de las mieles se fábrica etanol, combustible vehicular, considerando como la gran alternativa en la absorción de CO₂, contribuyendo así con el cuidado del medio ambiente (Uribe, 2010).

La fibra de caña de azúcar sirve para la fabricación de papel, esta fibra tiene la característica de ser biodegradable, compostable y reciclable. Es importante recalcar que en los cultivos de caña se hace control biológico, logrando que el uso de insecticidas, sea mínimo o ya no se utilice. (Uribe, 2010)

- Panela
- Mieles
- Ácido cítrico
- Citrato de sodio dihidratado
- Citrato de calcio
- Tableros aglomerados
- Acetato de etilo
- Vinagre
- abonos

e) **Producción nacional**

El sector productor de caña de azúcar ha sido un pilar importante de la economía ecuatoriana desde hace varios años, cuando las condiciones favorables de la costa han provocado la expansión del cultivo, el Ecuador es un buen productor de este cultivo el cual se está exportando en pequeños volúmenes a Perú (Viejó, 2013).

El área de producción de caña de azúcar en Ecuador es de aproximadamente 110,000 has., de las cuales la mayoría se utiliza para la fabricación de azúcar y el resto para la

elaboración artesanal de panela y alcohol. El azúcar que se produce en Ecuador es básicamente para consumo nacional. A partir del 2005, los tres ingenios más grandes han iniciado programas de co-generación de energía eléctrica, para usar los residuos de bagazo de las fábricas. De la misma forma, se han establecido plantas de procesamiento de alcohol, para la industria farmacéutica y bebidas alcohólicas, así como con miras al procesamiento de etanol, para carburante, que estaría próximo a ser usado a nivel general en automotores a gasolina (Viejó, 2013).

El área de producción de caña de azúcar en Ecuador es de aproximadamente 75,000 hectáreas de las cuales la mayoría se utiliza para la fabricación de azúcar y el resto para la elaboración artesanal de panela y alcohol (Viejó, 2013).

El 89% se concentra en la cuenca baja del río Guayas (provincias de Guayas, Cañar y Los Ríos) donde están ubicados los ingenios de mayor producción: Ecados, San Carlos y Valdez. El 11% restante corresponde a los ingenios lancem, en la provincia de Imbabura y Monterrey en la provincia de Loja (Viejó, 2013).

f) Propiedades nutricionales

En lo que se refiere al aspecto nutricional, la caña de azúcar es un alimento que destaca por su significativo aporte de hidratos de carbono y calorías.

- *Hidratos de carbono.* Aporte energético. Se estima que el 55-60% de la energía diaria que necesitamos debe provenir de carbohidratos, bien por la ingesta de alimentos ricos en almidón, bien por las reservas de glucógeno presentes en nuestro organismo. Además, la principal energía que necesita el cerebro para funcionar es la glucosa, que encontramos en alimentos ricos en carbohidratos. Gracias al carácter hidrofílicos de los carbohidratos, este alimento constituye también una fuente de obtención rápida de energía, al ser fácilmente atacado por las enzimas hidrolíticas (Colon, 2016).
- *Calorías.* Favorecen el mantenimiento de las funciones vitales y la temperatura corporal de nuestro cuerpo, así como el desarrollo de la actividad física, a la vez que aportan energía para combatir posibles enfermedades o problemas que pueda presentar el organismo. El exceso de calorías sólo es recomendable en circunstancias especiales como épocas de crecimiento y renovación celular, y en personas que

realizan una actividad física intensa o padecen situaciones estresantes como enfermedad o recuperación tras una intervención quirúrgica (Colon, 2016).

El resto de nutrientes presentes en menor medida en este alimento, ordenados por relevancia de su presencia, son: calcio, potasio, hierro, magnesio, vitamina B3, sodio, selenio, fósforo, cinc, vitamina B6, vitamina B, agua, vitamina B2 y vitamina B9 (Colon, 2016).

3.3.4.4. Yuca

Según FAO (2011), la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) se cultiva en más de 90 países y da subsistencia a 500 millones de personas de los trópicos y sub trópicos del mundo. Esta raíz rústica no sólo es un alimento básico para muchas familias campesinas de escasos recursos, sino también es materia prima para la industria. La misma se usa en la elaboración de almidón, alcohol, fibra y en la nutrición animal, entre otros. La producción mundial de yuca se sitúa alrededor de 240 millones de toneladas por año, con un área de 16 millones de hectáreas, de las cuales el 50% se encuentra en África, 30% en Asia y el 20% en América Latina (Valdez, Guía Técnica para la producción de yuca, 2014).

La yuca es un tubérculo originario del trópico americano, que ha surgido de una relativa oscuridad en las últimas décadas para convertirse en la cuarta fuente más importante de energía alimentaria del mundo después del arroz, caña de azúcar y el maíz. Apreciada por los pequeños agricultores por su tolerancia a la sequía y a los suelos infértiles, el cultivo es eco-eficiente por naturaleza y brinda una fuente confiable de alimentación, así como ingresos provenientes de los mercados para una amplia variedad de alimentos, forrajes y productos industriales (DANE, 2016).

La yuca es una planta de aprovechamiento integral, ya que sus raíces y hojas son fuentes de carbohidratos y proteínas. Las raíces en la alimentación humana pueden darse como alimento fresco, croquetas, harinas y almidón. De otra parte, las hojas y tallos tiernos y frescos ofrecen un alto valor nutritivo en la alimentación de rumiantes, llegando a ofrecer de 20 a 25% de proteína (DANE, 2016).

La cáscara de yuca contiene una cantidad mayor de ácido cianhídrico que la pulpa y su nivel varía en la zona cortical de menos de 10 a más de 150 partes por millón. Este

glucosídico tóxico se encuentra en mayor cantidad en las yucas amargas y en pequeña cantidad en las yucas dulces y su presencia varía según el estado fisiológico de la planta, las condiciones de humedad y la fertilidad del suelo. El ácido cianhídrico está en forma natural en la planta y le brinda protección a la misma ante el ataque de diversas plagas; este desaparece cuando las raíces son quebradas y aireadas al sol (Sanchez S. , 2013).

a) Clasificación taxonómica

La familia de Euphorbiaceae está constituida por unas 7 200 especies, caracterizadas por poseer vasos laticíferos compuestos por células que producen una secreción lechosa, y entre las cuales se encuentran tipos arbóreos como el caucho, *Hevea brasiliensis*; arbustos como el ricino o higuera, *Ricinus communis* y numerosas plantas ornamentales, medicinales y malezas además del género *Manihot*, al que pertenece la yuca. (De la Cruz & Ceballos, 2002). La yuca es llamada de diferentes maneras según el lugar donde se la cosecha, comúnmente en América Latina se la conoce propiamente como yuca, pero en países como Argentina, Brasil y Paraguay la llaman mandioca, o cassava en los países donde el inglés es el idioma dominante (Sanchez S. , 2013).

b) Características de yuca

En el país se cultivan muchas variedades para consumo fresco y el procesamiento. En esta guía solo se describen las características de las variedades con mayor potencial para el consumo fresco (Valencia, Negrita o Pecho rojo) y exportación (Valencia), para el procesamiento de casabe (Lima 21, Lima 40 y Tailima). Las variedades locales para el consumo fresco: Americanita o Verdecita, Saonera, Taverita o Pata de chivo, Moya, Bilin, La Niña, Baraonera tres ganchos o Félix López, Dame más, entre otras, aunque se siembran en grandes extensiones, no reúnen las características para los mercados dinámicos. Por otro lado, las variedades Negrita, Brujita, Gela, Agua de coco y Santa Clara, entre otras utilizadas para el procesamiento, son amargas y sus residuos contaminan el ambiente (Valdez, Guía Técnica para la producción de yuca, 2014).

Hay otros tipos de impactos positivos que produce la yuca, uno de ellos el beneficio de los productores/as y procesadores/as quienes con el uso de variedades entregadas por el

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias Estación Experimental (INIAP - EE. Portoviejo), han mejorado su productividad lo que permite que el ingreso económico por el rubro de yuca dentro de su sistema de producción sea mayor, revalorando el entorno social; estos beneficios también se convierten en un impacto institucional del INIAP (Sanchez S. , 2013).

En el país existen tres productos principales de la yuca que se emplean en la alimentación, humana, animal e industria. Estos son:

- Yuca fresca ecológica
- Almidón de calidad
- Harina industrial

La producción de estos productos, de los cuales se derivan otros subproductos de yuca, se realizada por grupos humanos organizado y no organizados, quienes tratan de darle eficiencia a sus actividades. El beneficio en torno a esta raíz se logra con el empleo de maquinaria como ralladoras, picadoras, molinos con infraestructuras que va desde las artesanales hasta las semimecanizadas (Sanchez S. , 2013).

c) Descripción de productos elaborados

Según Sánchez (2013), en el país, las raíces comúnmente se comercializan en estado fresco, para la alineación humana. Una parte se la exporta siguiendo un tratamiento de las mismas de la siguiente manera:

- Raíces frescas en bolsas de polietileno, son raíces frescas seleccionadas y tratadas con un fungicida no toxico.
- Raíces parafinadas, se lo efectúa en forma mecanizada
- Raíces peladas y congeladas, se usan raíces que no son aptas para parafinado.
- Masa de yuca, almacenada en fundas plásticas.
- Chifles de yuca, son sometidos a fritura para posteriormente ser envasados en fundas plásticas o de aluminio.
- Almidón dulce, empleado en forma directa para el consumo humano.
- Almidón fuerte

- Almidón agrio
- Almidón corriente (Sanchez S. , 2013).

d) **Producción nacional**

Ecuador tiene una extensión de aproximadamente 278,730 Km² incluyendo la región de Galápagos, es uno de los países que posee una gran diversidad de ambientes geográficos lo que le permite producir diversos cultivos, desde frutos tropicales como son el café, cacao, banano hasta aquellos que solo se dan en climas fríos como el trigo la cebada y las papas (Sanchez S. , 2013).

- Clima: en el país existe un clima muy variable. La yuca se cultiva en el tropical lluvioso, tropical de sabana, tropical monzón, seco, y templado periódicamente seco (Sanchez S. , 2013).
- Suelo: los suelos de las principales provincias productoras poseen: contenido de nitrógeno bajo, y en la región sierra presentan un nivel medio.

En Manabí el nivel de fosforo es alto mientras que en Los Ríos medio y en la capital del Ecuador es bajo. En la región costera en especial Manabí y Los Ríos el contenido de potasio es alto, mientras que en Pichincha es de un nivel medio (Sanchez S. , 2013).

En el Ecuador la yuca, *Manihot esculenta Crantz*, se encuentra desarrollando su potencial por aportar sus derivados como materia prima a las industrias locales de textiles, balanceados, cartoneras, y otros, además de su consumo en fresco humano y animal; y recientemente en producto de exportación. Por su uso en la alimentación tanto humana como animal, la yuca ha constituido uno de los productos agrícolas más antiguos y tradicionalmente cultivados en la provincia de Manabí, así como en la agro-industria local (Sanchez S. , 2013).

Estimaciones estadísticas del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) indican que la superficie cosechada de esta raíz se ha mantenido en los últimos ocho años por encima de las 20.000 ha, con rendimientos que varían según la región en donde se ha cultivado, sobresaliendo la costa, la cual representa el 37,0% del área sembrada en el país, mientras que las zonas bajas de las provincias de la sierra registran el 31,2%, el Oriente 31,4% y Galápagos 0,4%. Las referencias históricas y actuales indican que

la provincia de Manabí sigue siendo la predominante en el cultivo de la yuca (Sanchez S. , 2013).

Algunos inconvenientes para la productividad es que han existido fluctuaciones, a pesar de que los rendimientos se han mantenido alrededor de las 9 ton/ha, debido a la falta de tecnología actualizada, poco asesoramiento a los productores, entre otros. Sin embargo en Manabí y Santo Domingo, siendo las provincias mayores productoras del cultivo, han superado el promedio del rendimiento como resultado de la intervención del INIAP y su rol en el proceso tecnológico en pre y post-cosecha de yuca., en alianza con otros actores de la cadena (Sanchez S. , 2013).

e) Propiedades nutricionales

La yuca es sumamente rica en hidratos de carbono complejos, por lo que además de ser un tubérculo fácilmente digerible ayuda a aportar saciedad y a reducir nuestro apetito. Teniendo en cuenta que, aunque aporta energía, su contenido calórico no es elevado, por lo que puede ser consumida en dietas de adelgazamiento. De hecho, 100 gramos de yuca aportan 120 calorías (Pérez, 2008).

Entre los beneficios nutricionales de la yuca, destacan especialmente los siguientes:

- Hidratos de carbono: 26,9 g.
- Proteínas: 3,2 g.
- Grasas: 0,4 g.
- Vitaminas: vitamina C (48 mg) y vitamina B6 (0,3 mg).
- Minerales: potasio (764 mg) y magnesio (67 mg).

f) Propiedades funcionales de la cáscara de yuca

La cáscara de yuca es un subproducto que se obtiene de la utilización de la raíz de yuca, tanto en alimentación humana como en la industrialización (obtenido de almidón). La cáscara de yuca representa entre el 15 a 20% del peso total de la raíz y su calidad es bastante uniforme, conteniendo mayor proporción de proteína, grasa, fibra y minerales que la pulpa;

y que al secar y transformar en harina, es un insumo energético que puede ser empleado en la alimentación de cerdos (Páucar, 1996).

Señala también que la cáscara de yuca, en base seca, aporta 2,20 mcal/kg de energía digestible para cerdos, 5,3% de proteínas y niveles relativamente altos de fibra (14%). Es deficiente en aminoácidos azufrados tales como lisina (0,1%) y metionina-cistina (0.06%). Los valores de calcio y fósforo son de 0,90 y 0,30% respectivamente (Páucar, 1996).

Sonaiya y Omole (1977), encontraron que la cáscara de yuca, usada en niveles de hasta 15% en la ración de cerdos de cruces comerciales en crecimiento no afectaba la ganancia de peso ni la conversión alimenticia (Páucar, 1996).

3.3.5. Obtención de alcohol

En la obtención de alcohol a partir de las muestras de residuos lignocelulósicos se requiere seguir una serie de pasos, que son lo que se muestran a continuación.

3.3.5.1. Pretratamiento de materias primas

Según Guarnizo, Martínez, & Valencia (2009), le denomina pretratamiento al conjunto de acciones para mejorar el rendimiento en la obtención de azúcares fermentables desde la biomasa inicial.

Consiste en el rompimiento del escudo de lignina que limita la accesibilidad de las enzimas a la celulosa y hemicelulosa (Yang & Wyman, 2008).

Etapa indispensable para el procesamiento de biomasa lignocelulósicos que complementa la hidrólisis enzimática y posibilita la obtención de altos rendimientos. Se hace necesario principalmente porque la lignina en las paredes celulares de la planta forma unas barreras contra un ataque enzimático. Un pretratamiento ideal es reducir el contenido de lignina, disminuir la cristalinidad de la celulosa e incrementar el área superficial (Sanchez, Gutiérrez, Muñoz, & Rivera, 2010).

El pretratamiento se divide en procesos mecánicos (reducción de tamaño de fibras y partículas) y en procesos (bio) químicos. La reducción del tamaño de las fibras es un proceso esencial para reducir los gastos energéticos y aumentar la accesibilidad de reactivos y

enzimas. El objetivo principal de pretratamientos para la producción de biocombustibles es aumentar la porosidad de las partículas de biomasa y facilitar la accesibilidad de enzimas hidrolíticas a la celulosa tras desacoplamiento de lignina y hemicelulosa de las microfibras de celulosa (Pepijn, 2010).

a) Pretratamiento mecánico

Existen varios pretratamientos y uno de ellos es la trituración mecánica la cual reduce el tamaño de la partícula de malla inferior a 40, tiene un efecto mínimo en los rendimientos del hidrólisis, así como la tasa de hidrólisis de la biomasa (Sanchez, Gutiérrez , Muñoz, & Rivera, 2010). El ultrasonido es un técnica empleada para extraer lignina y Hemicelulosa, a 25°C y diferentes periodos de tiempo entre 10 a 60 min, encontrando que el mejor tiempo de residencia fue de 30 min; sin embargo, su efecto sobre la biomasa es muy superficial comparado con métodos como el pretratamiento con Peróxido de hidrogeno (H₂O₂) (Sanchez, Gutiérrez , Muñoz, & Rivera, 2010).

Este tipo de pretratamiento la materia prima es calentado en un rango de 150 a 180°C, donde la hemicelulosa seguida a ella la lignina son solubilizadas. Temperaturas superiores a 180°C solubiliza la hemicelulosa. Durante los procesos térmicos una parte de la Hemicelulosa es hidrolizada y forma ácidos, estos son asumidos como catalizadores para hidrolizar la Hemicelulosa (Sanchez, Gutiérrez , Muñoz, & Rivera, 2010).

b) Pretratamiento físico-químicos

El pretratamiento con amoníaco se realiza con cargas de amoniaco en torno a 1:1 (amoníaco kg/kg peso biomasa seca) a temperaturas que van desde la temperatura ambiente con una duración de 10 a 60 días, a temperaturas de hasta 120°C, con una duración de varios minutos. También se da un aumento de seis veces la hidrólisis enzimática y un rendimiento de 2,5 veces el rendimiento a etanol después de este pretratamiento (Sanchez, Gutiérrez , Muñoz, & Rivera, 2010).

La explosión de CO₂ se lleva a cabo con alta presión y altas temperaturas de hasta 200°C, con una duración de varios minutos. Este pretratamiento produce líquidos que pueden ser ácidos, estos ácidos hidrolizan especialmente la hemicelulosa. El CO₂ también se aplica

como CO₂ supercrítico (35°C 73 bares), este incrementa el rendimiento de glucosa en 50-70% de álamo. Esto es probablemente causado por el aumento del tamaño de poros (Sanchez, Gutiérrez , Muñoz, & Rivera, 2010).

c) Pretratamiento químico

La hidrólisis ácida es un proceso químico que emplea catalizadores ácidos para transformar las cadenas de polisacáridos que forman la biomasa en sus monómeros elementales. Este tipo de hidrólisis utiliza diferentes clases de ácidos: sulfuroso, clorhídrico, sulfúrico, fosfórico, nítrico y fórmico. Siendo solamente usados a nivel industrial los ácidos clorhídricos y sulfúricos (Sanchez, Gutiérrez , Muñoz, & Rivera, 2010).

Un pretratamiento oxidativo consiste en la adición de un compuesto oxidante, como el peróxido de hidrógeno o ácido peracético a la biomasa, que ésta sumergida en agua. Durante el pretratamiento oxidativo puede tener lugar reacciones con sustitución electrofílica, el desplazamiento de cadenas laterales, rompimientos de vínculos de alquil, aril, éter o de núcleos aromáticos (Sanchez, Gutiérrez , Muñoz, & Rivera, 2010).

El ozono ha sido utilizado para degradar la lignina y la hemicelulosa. Se lleva a cabo a condiciones de presión y temperatura ambientales. La degradación es esencialmente limitada a atacar la lignina y hemicelulosa aunque la celulosa es afectada (Sanchez, Gutiérrez , Muñoz, & Rivera, 2010).

La hidrólisis con álcalis se lleva a cabo con Hidróxido de Sodio (NaOH) diluido donde se sumerge el material lignocelulósicos, 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 (Sanchez, Gutiérrez , Muñoz, & Rivera, 2010).

d) Pretratamiento biológico

En este tratamiento el material lignocelulósico se somete a la acción de determinadas enzimas ó micro-organismos, como los hongos de la podredumbre blanca, marrón o blanda. El objetivo es degradar la lignina y la hemicelulosa, eliminando las barreras que protegen la celulosa y haciéndola más accesible al posterior ataque enzimático, por lo que generalmente

se hace necesario hacer primero un tratamiento con hongos y posteriormente con las enzimas (Sanchez, Gutiérrez , Muñoz, & Rivera, 2010).

El tratamiento con hongos utiliza microorganismos como hongos de podredumbre marrón, blanca y suave para degradar lignina y hemicelulosa en los materiales de desecho. La podredumbre marrón ataca la celulosa, mientras que la podredumbre blanca y suave ataca tanto la celulosa como la lignina. Hongos de pudrición blanca (basidiomicetos) son los más eficaces para el pretratamiento biológico de materiales lignocelulósicos (Sanchez, Gutiérrez , Muñoz, & Rivera, 2010).

El tratamiento con bio-solventes emplea solventes orgánicos y hongos, el primero para permitir la acción del hidrólisis en la hemicelulosa y el segundo para la descomposición de la red de lignina. Se han realizado estudios con etanol como solvente y podredumbre blanca para la degradación de lignina en madera. El pretratamiento biológico puede ahorrar el 15% de la electricidad necesaria en la etanólisis, el etanol puede ser reutilizado y es amigable con el medio ambiente (Sanchez, Gutiérrez , Muñoz, & Rivera, 2010).

3.3.5.2. Hidrólisis

Según Yamada, y otros (2011), la hidrólisis se refiere a los procesos que convierten los polisacáridos en azúcares monoméricos.

Una vez pretratada la materia prima, es necesario llevar a cabo una hidrólisis para liberar los azúcares monoméricos potencialmente fermentables. Para ello, se desarrollan diferentes tecnologías como la hidrólisis ácida, empleando ácidos concentrados o diluidos, o la hidrólisis enzimática. El uso de ácidos concentrados no es rentable económicamente debido a que conlleva problemas de corrosión y exigen procesos de recuperación y neutralización. En el caso de ácidos diluidos, para que el proceso de hidrólisis alcance buenos rendimientos es necesario el empleo de temperaturas elevadas, lo que provoca problemas de corrosión y degradación de azúcares (Bellido, 2013).

Es un tipo de reacción química en la que una molécula de agua, reacciona con una molécula de una sustancia AB, en la que A y B representan átomos o grupos de átomos. En la reacción, la molécula de agua se descompone en fragmentos H* y OH*, y la molécula AB se descompone en A* y B*. A continuación, estos fragmentos se unen proporcionando los

productos finales AOH y HB. A este tipo de reacción se lo conoce a menudo como doble descomposición o intercambio. De interés especial es la hidrólisis de diversas sales que originan disoluciones ácida o básica (Espinosa, 2013).

a) Hidrólisis ácida

Los ácidos como el Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) y Acido Clorhídrico (HCl) concentrados son poderosos agentes que hidrolizan la celulosa, pero son tóxicos, corrosivos y peligrosos por lo que requieren reactores que resistan su corrosión. Se emplean altas temperaturas y ácidos diluidos que hidrolizan la hemicelulosa en azúcares solubles en agua, en los residuos queda la celulosa y la lignina, esta última se extrae con solventes orgánicos (Eggeman & Elander, 2005).

La hidrólisis ácida de los materiales lignocelulósicos ha sido la tecnología ha sido la tecnología más utilizada para la obtención de azúcares reductores, que posteriormente son convertidos a etanol. La hidrólisis consiste en un proceso químico que, mediante el empleo de catalizadores ácidos, transforma las cadenas de polisacáridos que forman la biomasa en sus monómeros elementales (azúcares fermentables o reductores). El grado de degradación del bagazo depende de la concentración del ácido, la temperatura y el tiempo de hidrólisis. A medida que actúa el ácido, el peso molecular y la viscosidad de los productos decrecen y el poder reductor aumenta (Domínguez, y otros, 2011).

La hidrólisis ácida de un enlace glucosídico se lleva a cabo mediante la disociación de una molécula de agua del medio. El hidrógeno del agua se une al oxígeno del extremo de una de las moléculas de azúcar, el Grupo hidroxilo (OH) se une al carbono libre del otro residuo de azúcar. El resultado de esta reacción, es la liberación de un monosacárido y el resto de la molécula. El ácido sulfúrico se ha utilizado ampliamente en la obtención de azúcares reductores en el rango de 2,54 al 21% para el bagazo de caña de azúcar sin pre-tratamiento, utilizando concentraciones de ácido desde el 2 hasta el 8% con una relación líquido-sólido de 30:1 (Mantilla, 2012).

b) Hidrólisis enzimática

Proceso catalizado por enzimas denominadas celulasas, cuyo propósito es la degradación de la celulosa. El uso del pretratamiento como se explicaba anteriormente, facilita el desarrollo de esta etapa. Cabe destacar que en la mayoría de procesos existe un primordial interés por los azúcares provenientes de la celulosa, sin embargo, la tendencia actual es el aprovechamiento integral de la biomasa, y en especial de otros azúcares como las pentosas, provenientes de la hemicelulosa, conllevando al uso de enzimas que actúen sobre dichas sustancias como es el caso de las xilanasas y las xilasas (Sanchez, Gutiérrez , Muñoz, & Rivera, 2010).

Las enzimas, en los sistemas biológicos constituyen las bases de las complejas y variadas reacciones que caracterizan los fenómenos vitales y algunas de ellas catalizan la hidrólisis de los materiales, la cual se produce cuando el polímero tiene principalmente enlaces inestables y algún grado de hidrofilia. La característica principal de una reacción catalizada enzimáticamente es que ocurre en un lugar específico del enzima, es decir, el sitio activo.

La molécula fija en el sitio activo y sobre la que actúa el enzima se denomina sustrato. La interacción de la enzima con el sustrato (reactivo), para formar un complejo intermediario, posteriormente, la descomposición del complejo intermediario para formar los productos y regenerar la enzima (Rangel, y otros, 2008).

c) Hidrólisis alcalina

Es la adición de bases diluidas a la biomasa y su eficiencia depende del contenido de lignina de los materiales. El hidróxido de sodio diluido produce un hinchamiento, permitiendo un incremento en el área de superficie interna reduciendo el grado de polimerización y cristalinidad de la celulosa, causando la separación de las uniones estructurales entre la lignina y los carbohidratos. El mecanismo de la hidrólisis alcalina de la biomasa parece estar basada en la saponificación de los enlaces ésteres intramoleculares que unen los xilanos de la hemicelulosa y otros componentes, como por ejemplo la lignina u otros componentes de la hemicelulosa (Espinosa, 2013).

3.3.5.3. Fermentación

Una fermentación se define como un proceso mediante el cual las sustancias orgánicas (sustrato) sufren una serie de cambios químicos (reducciones y oxidaciones) que producen energía: al finalizar la fermentación, se presenta una acumulación de varios productos, unos más oxidados (aceptaron electrones) y otros más reducidos (donaron electrones) que el sustrato, con un balance total de energía positivo. Esta energía es utilizada en el metabolismo de los microorganismos (Espinosa, 2013).

Según Puerta (2010), la fermentación es un proceso catabólico de oxidación de sustancias orgánicas para producir otros compuestos orgánicos y energía. Los procesos de fermentación son realizados por levaduras y bacterias en ausencia de oxígeno.

a) Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica (denominada también como fermentación del etanol o incluso fermentación etílica), es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire (oxígeno – O₂), originando por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono (por regla general azúcares; como pueden ser por ejemplo la glucosa, la fructosa, la sacarosa, el almidón, etc.) para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol (cuya fórmula química es: CH₃-CH₂-OH), dióxido de carbono (CO₂) en forma de gas y unas moléculas de ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico (Espinosa, 2013).

Los microorganismos requieren para su desarrollo de agua, proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas, minerales, condiciones ambientales y propiedades específicas, como temperatura, actividad de agua, pH, potencial óxido-reducción y presencia o ausencia de oxígeno. Estas propiedades se pueden modificar mediante tratamientos térmicos, procesos de acidificación y fermentaciones (Puerta, 2010).

Tabla 3. Tipo, condiciones y propiedades para el desarrollo de algunos microorganismos fermentadores

Factores del sustrato	Levaduras	Bacterias lácticas	Bacterias Enterobacteriaceae	Bacteria Clostridium butyricum
Habitad frecuente	Sustancias ricas en carbohidratos como frutos, granos y cereales	Leche, vegetales, intestino y mucosas de humanos y animales	Intestinos humanos y animales, cavidad bucal; fosas nasales, genitales, suelos, agua y vegetales	Tracto intestinal de animales y humanos, frutas, y vegetales
Temperatura	Son mesófilas, la mayoría crece entre 5 y 39°C, con óptimos de 28 a 35°C. Varias entre 3 y 10°C	Son mesófilas, crecen óptimamente entre 25 y 30°C, pero pueden reproducirse a 0°C	Son mesófilas, entre 22 y 37°C	Se desarrollan entre 10 y 65°C, forma esporas
Presencia o ausencia de oxígeno (aerobiosis o anaerobiosis)	Son anaerobias facultativas, crecen mejor en presencia de oxígeno; en ausencia de oxígeno fermentan la glucosa	Son aerobias microaerófilas, necesitan oxígeno en concentración inferior al aire, 5 al 10%, en ausencia fermentan los azúcares.	Son anaerobias facultativas, oxidan sustancias en condiciones aeróbicas; en ausencia de oxígeno fermentan glucosa y lactosa	Anaerobia, fermentan azúcares, ácidos y aminoácidos
Gases en el ambiente como N₂ o CO₂	Inhiben su crecimiento, aunque son más resistentes que los hongos	Inhiben su crecimiento	Favorecen el crecimiento	Favorecen el crecimiento de las bacterias anaerobias
Actividad de agua (aw)	Aw entre 0,84 y 0,97 aw 0,62 para las levaduras osmotolerantes	Superiores a 0,94	Superiores a 0,95	Superior a 0,95
pH	La mayoría entre 3,5 y 4,5, <i>Saccharomyces cerevisiae</i> tolera pH entre 2,3 y 8,6	pH de 3,8 a 7,2, pero toleran medios muy ácidos entre 2,3 y 4,0	La mayoría a pH entre 4,0 y 9,0	Crece a pH neutro de 7,0 a 7,4

Fuente: Puerta (2010)

3.3.5.4. Destilación

La destilación es el proceso que se utiliza para llevar a cabo la separación de diferentes líquidos, que se encuentran disueltos en líquidos, o incluso gases de una mezcla, gracias al aprovechamiento de los diversos puntos de ebullición de cada sustancia partícipe, mediante la vaporización y la condensación. Los puntos de ebullición de las sustancias son una propiedad de tipo intensiva, lo que significa que no cambia en función de la masa o el volumen de las sustancias, aunque sí de la presión (Espinosa, 2013).

Dentro de la destilación se pueden encontrar diferentes tipos de destilación, entre las cuales tenemos:

a) Destilación sencilla

La destilación sencilla, se usa para separar aquellos líquidos cuyos puntos de ebullición difieren extraordinariamente (en más de 80°C aproximadamente) o para separar líquidos de sólidos no volátiles. Para éstos casos, las presiones de los componentes del vapor normalmente son suficientemente diferentes de modo que la ley de Raoult puede descartarse debido a la insignificante contribución del componente menos volátil. En este caso, el destilado puede ser suficientemente puro para el propósito buscado (Espinosa, 2013).

b) Destilación fraccionada

En este tipo de destilación los ciclos de evaporación y condensación se repiten varias veces a lo largo de la columna de fraccionamiento. Es un tipo de destilación mucho más eficiente que la destilación sencilla y permite separar sustancias con puntos de ebullición muy próximos. Esta se utiliza habitualmente para separar eficientemente líquidos cuyos puntos de ebullición difieran en menos de 100°C (Iglesias, 2010).

c) Destilación al vacío

Es una forma de destilación (sencilla o fraccionada) que se efectúa a presión reducida. El montaje es muy parecido a los otros procesos de destilación, con la salvedad de que el conjunto se conecta a una bomba de vacío o trompa de agua, lo cual permite destilar líquidos

a temperaturas inferiores a su punto de ebullición normal. Muchas sustancias no pueden purificarse por destilación a presión atmosférica porque se descomponen antes de alcanzar sus puntos de ebullición normales. Otras sustancias tienen puntos de ebullición tan altos que su destilación es difícil o no resulta conveniente. En estos casos se emplea la destilación a presión reducida. Un líquido comienza a hervir a la temperatura en que su tensión de vapor se hace igual a la presión exterior, por tanto, disminuyendo esta se logrará que el líquido destile a una temperatura inferior a su punto de ebullición normal (Fernandez, 2012).

3.3.5.5. Caracterización físico-química de alcohol

Los alcoholes, en general, son compuestos que tienen uno, dos o tres grupos hidroxilo (-OH) enlazados a sus moléculas, por lo que se clasifican en monohidroxis, dihidroxis y trihidroxis respectivamente. El metanol y el etanol son alcoholes monohidroxis. Los alcoholes se caracterizan por la gran variedad de reacciones en las que interviene, y las más importante es la reacción con los ácidos, en la que se forman los ésteres (Rueda & Herrera, 2006).

a) Grado alcohólico

Según NTE INEN (2014), el contenido de alcohol etílico es la relación entre el volumen del alcohol etílico (etanol) contenido en una mezcla hidroalcohólica, medido a temperatura de 20°C y el volumen total de la mezcla medido a la misma temperatura, expresado en porcentaje.

El método consiste en efectuar una destilación simple de la bebida alcohólica y determinar en el destilado el contenido de alcohol etílico a partir de la lectura dada por un alcoholímetro calibrado a 20°C, realizar la corrección por temperatura mediante la tabla correspondiente y expresar en porcentaje (NTE INEN, 2014).

b) Acidez total, como ácido acético

Según NTE INEN (1978), la acidez total es la suma de los ácidos valorables obtenida cuando se lleva la bebida alcohólica a neutralidad (pH 7), por la adición de una solución

alcalina; la acidez volátil es la suma de los ácidos volátiles valorables por neutralización de la bebida alcohólica, usando una solución alcalina; la acidez fija, es la suma de los ácidos fijos valorables por neutralización de la bebida alcohólica, usando una solución alcalina.

Los métodos consisten para acidez total y acidez fija realizarlos mediante titulación con hidróxido de sodio y, por diferencia, establecer el valor de acidez volátil (NTE INEN, 1978).

c) Esteres, como acetato de etilo

Según NTE INEN (1978), se saponifican los esterres presentes en el destilado de la muestra utilizando hidróxido de sodio y se titula el exceso de éste mediante solución de ácido clorhídrico.

d) Aldehídos, como etanal

Según NTE INEN (1978), se debe determinar volumétricamente el contenido de aldehídos en bebidas alcohólicas.

e) Furfural

Según NTE INEN (2014), se determina el contenido de furfural mediante el uso de espectrofotómetro. Utilizando una curva de calibración previamente preparada.

f) Alcoholes superiores

Según NTE INEN (2014), se determina el contenido de alcoholes superiores en bebidas alcohólicas, mediante la espectrofotometría.

La determinación de la absorbancia de las soluciones a la longitud de onda de máxima absorción y construir la curva de absorbancia respecto a concentración. (NTE INEN, 2014).

g) Metanol

Según NTE INEN 347(2015), la presencia de metanol se determina mediante espectrofotometría ultravioleta/visible (UV/VIS) en bebidas alcohólicas destiladas.

El metanol contenido en la muestra es oxidado a metanal (formaldehído) por acción del permanganato de potasio en presencia de ácido fosfórico. El metanal reacciona en un medio ácido con ácido cromotrópico, formando un compuesto de color púrpura. La absorbancia de la solución púrpura obtenida se determina a 575nm (NTE INEN 347, 2015).

3.3.5.6. Métodos de identificación o caracterización

a) Cromatografía capa fina

La cromatografía es una técnica que permite la separación de los componentes de una mezcla debido a la distribución de los mismos entre dos fases, una de las cuales es estacionaria y la otra es una fase móvil. La fase estacionaria, que puede ser un sólido o un líquido anclado a un soporte sólido, ejerce un efecto de retención sobre los componentes de la mezcla. Por su parte, la fase móvil, que puede ser un líquido o un gas, provoca un desplazamiento de los componentes de la mezcla. (Gomez, 2005)

Se emplea para conocer el número de componentes de una mezcla y su identificación, por comparación con patrones conocidos. (Gomez, 2005)

b) Espectrofotometría

Es una de las técnicas experimentales más utilizadas para la detección específica de moléculas. Se caracteriza por su precisión, sensibilidad y su aplicabilidad a moléculas de distinta naturaleza (contaminantes, biomoléculas, etc.) y estado de agregación (sólido, líquido, gas). Los fundamentos físicos-químicos de la espectrofotometría son relativamente sencillos. (Valdez, 2014).

c) Espectrofotometría UV-visible

Es una técnica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración. Para hacer este tipo de medidas se emplea un espectrofotómetro, en el que se puede seleccionar la longitud de

onda de luz que pasa por una solución y medir la cantidad de luz absorbida por la misma (Diaz, y otros, 2010).

- **Región UV**

Se define como el rango de longitudes de onda de 195 a 400 nm. Es una región de energía muy alta. Provoca daño al ojo humano así como quemadura común. Los compuestos con dobles enlaces aislados, triples enlaces, enlaces peptídicos, sistemas aromáticos, grupos carbonilos y otros heteroátomos tienen su máxima absorbancia en la región UV, por lo que ésta es muy importante para la determinación cualitativa y cuantitativa de compuestos orgánicos. Diversos factores como pH, concentración de sal y el disolvente que alteran la carga de las moléculas, provocan desplazamientos de los espectros UV (Diaz, y otros, 2010)

- **Región visible**

Se aprecia el color visible de una solución y que corresponde a las longitudes de onda de luz que transmite, no que absorbe. El color que absorbe es el complementario del color que transmite. Por tanto, para realizar mediciones de absorción es necesario utilizar la longitud de onda en la que absorbe luz la solución coloreada (Diaz, y otros, 2010).

- **Transmitancia y Absorbancia**

La transmitancia (%T) de una sustancia en solución es la relación entre la cantidad de luz transmitida que llega al detector una vez que ha atravesado la muestra y la cantidad de luz que incidió sobre ella y se representa normalmente en tanto por ciento. La transmitancia nos da una medida física de la relación de intensidad incidente y transmitida al pasar por la muestra. La relación entre %T y la concentración no es lineal, pero asume una relación logarítmica inversa. (Diaz, y otros, 2010)

La absorbancia (A) es un concepto más relacionado con la muestra puesto que nos indica la cantidad de luz absorbida por la misma, y se define como el logaritmo de 1/T. Cuando la intensidad incidente y transmitida son iguales, la transmitancia es del 100% e

indica que la muestra no absorbe a una determinada longitud de onda, y entonces $A = \log I = 0$ (Diaz, y otros, 2010).

- **Ley de Lambert-Beer**

La base de la espectrofotometría de absorción UV-Vis y su uso en el análisis cualitativo están dados por la relación conocida como ley de Lambert-Beer, que establece que la absorbancia de una solución es directamente proporcional a la concentración del analito en esa solución. Por lo tanto, puede emplearse para determinar la concentración de un compuesto en una solución. La longitud de onda λ de absorción de la luz es específica de cada cromóforo (Castro, Litter, Wong, & Vilma, 2010).

La ley de Lambert-Beer se cumple para valores pequeños del producto. Para cada analito absorbente y longitud de onda es una constante y es una propiedad molecular fundamental asociada a un solvente dado, a una temperatura y presión particular (Castro, Litter, Wong, & Vilma, 2010).

La absorbancia A y el coeficiente de absorción son a veces definidos en términos del logaritmo natural en lugar del logaritmo de base 10. El espectrofotómetro UV-Vis registra las longitudes de onda a las cuales se cuantifica y registra la absorción. El espectro se registra como absorbancia (A) vs. Longitud de onda (λ) (Castro, Litter, Wong, & Vilma, 2010).

CAPITULO III

4. VISUALIZACIÓN DEL ALCANCE DEL ESTUDIO

La investigación tuvo como finalidad la obtención del alcohol por medios de residuos lignocelulósicos (agroindustriales); a partir del bagazo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), cáscara de yuca (*Manihot esculenta*), cáscara de banano (*Musa paradisiaca*). Con el fin de elaborar un alcohol industrial o para consumo humano, aprovechando las altas cantidades de desperdicio agroindustriales buscando una solución posible para las cantidades excesivas de residuos.

Para la obtención del alcohol se trabajó con las fermentaciones de los residuos a diferentes concentraciones del guarapo, para que se efectuara este proceso, buscando determinar las condiciones óptimas para la obtención del bioalcohol, que muestre las características más cercanas a la INEN 1675 de los requisitos del alcohol etílico.

Así mismo, se realizaron análisis físico-químicos, conocido también como caracterización de la muestra preparada tales como: grado alcohólico y metanol, que fueron los encargados de establecer que la producción del bioalcohol se encontraba dentro de las especificaciones haciéndolo apto para el consumo sin problema alguno.

Todos los análisis realizados en los laboratorios están certificados acorde a las normativas de aseguramiento de calidad implementados bajo la Norma ISO/ICE17025 de los laboratorios acreditados en el Ecuador.

5. ELABORACIÓN DE HIPÓTESIS Y DEFINICIÓN DE VARIABLES

5.1. Hipótesis

Los residuos lignocelulósicos (*Saccharum officinarum L.*; *Manihot esculenta*; *Musa paradisiaca*) son capaces de producir alcoholes.

5.2. Variables

5.2.1. Variable Independiente

Residuos Lignocelulósicos

5.2.2. Variable Dependiente

Obtención del Alcohol

5.2.3. Operacionalización de las variables

Variable Dependiente: Obtención de alcohol

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnica
Líquido incoloro e inflamable, que mediante la fermentación de carbohidratos por levaduras produce alcohol etílico.	Temperatura y pH óptimos en la etapa de fermentación Tipos de fermentación y destilación Tipo de hidrólisis Caracterización química de alcohol	Valoración físico-química del proceso Fermentación líquida y destilación simple Hidrólisis ácida	Análisis comparativos de cantidades de material utilizado y su eficiencia en la obtención alcohol	Ensayos experimentales en los laboratorios de Operaciones Unitarias y Microbiología Instrumentos de medición Métodos de análisis cualitativo

Variable Independiente. Residuos lignocelulósicos

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnica
Son aquellos sobrantes o subproductos de bajo valor agregado los cuales permiten la obtención de productos sustentables y no contaminantes del medio ambiente	Propiedades y características de los residuos lignocelulósicos Comparación de los porcentajes de eficiencia de los diferentes residuo	Carbohidratos fermentables de los residuos lignocelulósicos Determinar la cantidad de alcohol producido por cada residuo.	Recolección de información sobre los parámetros y residuos lignocelulósicos utilizados en la obtención alcohol	Fichas técnicas en base a bibliografía

CAPITULO IV

6. DESARROLLO DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

6.1. Objetivo General

Obtener alcoholes a partir de residuos lignocelulósicos (*Saccharum officinarum L.*; *Manihot esculenta*; *Musa paradisiaca*) para su respectiva caracterización

6.2. Objetivos Específicos

- Identificar mediante fuentes bibliográficas las propiedades y características de los residuos lignocelulósicos.
- Establecer el método de hidrólisis de los residuos lignocelulósicos para la obtención de alcohol
- Caracterizar el alcohol obtenido de los residuos lignocelulósicos.

6.2.1. Campo de Acción

El presente trabajo de titulación tiene un campo de acción en química en la que se obtendrá un producto a escala laboratorio, permitiendo que a través de la demanda potencial de bioalcoholes en el Ecuador se pueda llevar una producción a escala Industrial.

Y de esta manera tener un campo de acción comercial, ya que si el alcohol obtenido no contiene metanol, este se podrá utilizar para consumo humano

6.3. Diseño Metodológico

6.3.1. Tipo de Investigación

6.3.1.1. Investigación Descriptiva

La investigación fue de tipo descriptiva porque se realizó estudios a través de diferentes técnicas, entre la interacción de la variable independiente (residuos lignocelulósicos) sobre la variable dependiente (obtención del alcohol).

6.3.1.2. Investigación Experimental

El trabajo de investigación fue de tipo experimental ya que, mediante la obtención y la caracterización de alcohol, se llegó a determinar la cantidad y el tipo de alcohol encontrado en cada una de las muestras, dichos análisis se realizaron en los diferentes laboratorios de la Universidad Técnica de Manabí.

6.3.2. Métodos de Investigación

6.3.2.1. Método cualitativo

Este método estuvo presente en la elección de la técnica necesaria de fermentación de los residuos, con su respectivo pretratamiento e hidrólisis que hicieron posible la obtención del alcohol para su consiguiente destilado simple.

6.3.2.2. Método cuantitativo

El método cuantitativo fue empleado para analizar y comprobar los resultados obtenidos en la determinación de la mejor técnica de caracterización del alcohol generado de los residuos, mediante su comparación bibliográfica.

6.3.3. Técnicas

6.3.3.1. Determinación de pH

Materiales

- Vaso de Precipitación
- PH-metro o Potenciómetro

Sustancias

- Residuo Hidrolizado
- Agua Destilada

Procedimiento

Con abundante agua destilada lavar el electrodo del potenciómetro, y calibrar este antes de su uso, una vez obtenido el residuo hidrolizado se deja enfriar y se procede a colocar el electrodo del potenciómetro, en el respectivo vaso de precipitación que se encuentra. Se espera hasta que el potenciómetro tome la lectura y se procede a anotar el resultado. Se repite dos veces el procedimiento, para obtener datos confiables.

6.3.3.2. Determinación de °Brix

Materiales

- Refractómetro
- Gotero

Sustancias

- Muestra de Residuos en Fermentación
- Agua Destilada

Procedimiento

Se enjuaga el prisma del refractómetro con el agua destilada para ajustar su circulación, y se procede a secar, luego con el gotero se toma de dos a tres gotas de la muestra y se coloca

sobre el prisma. Al final se toma la lectura del índice del refractómetro. Se realiza el procedimiento dos veces para así obtener datos más confiables.

6.3.3.3. Determinación de Azúcares Reductores

Materiales

- Tubos de Ensayo
- Baño María
- Gotero

Sustancias

- Reactivo de Fehling
- Agua Destilada
- Muestra de Residuos Fermentados

Procedimiento

Se procede al enjuague de los tubos de ensayo, para proceder a colocar 10 ml de la muestra a analizar.

Luego se coloca, mediante el gotero el reactivo de Fehling de 20 a 30 gotas en el tubo de ensayo con la muestra.

En el Baño María se deja calentar cada uno de los tubos con la muestra de 20 a 30 minutos, agitando manualmente cada 3 minutos.

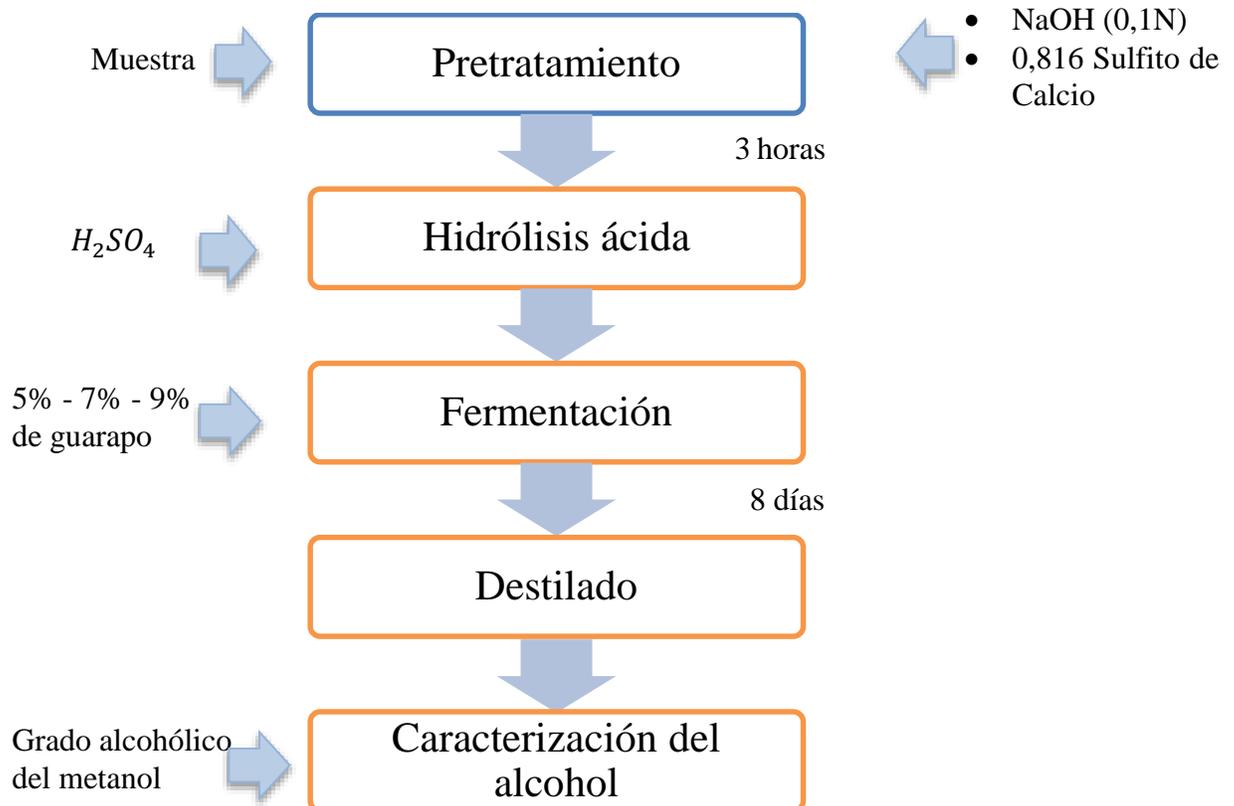
Se realiza este procedimiento hasta que la solución que se encuentra en el tubo de ensayo cambio de color.

Determinando así que si llegaba al color Naranja (ladrillo) la prueba era positiva, de lo contrario si no cambiaba era negativo para azúcares reductores.

6.3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

6.3.4.1. Diagrama de flujo para la obtención de alcohol

Figura 4. Diagrama de proceso



Fuente. Cando A., Vera M. (2017)

Elaborado por. Cando A., Vera M.

CAPITULO V

7. DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Las muestras que se manipularon a partir de *Saccharum officinarum L.*; *Manihot esculenta*; *Musa paradisiaca*, fueron mediante la fermentación, la obtención de alcohol.

7.1. Obtención de *Saccharum officinarum L.*; *Manihot esculenta*; *Musa paradisiaca*

Los residuos lignocelulósicos; cáscara de yuca, cáscara de banano y bagazo de caña (materia prima), fueron recopilados de distintas partes; el bagazo de caña fue cedida por la destilería “El Rojo”, la cáscara de banano fue otorgado por la exportadora de banano “Reybanpac” y la cáscara de yuca fue brindada por una picantería “El Compita”.

7.2. Obtención del Alcohol

El alcohol en los residuos lignocelulósicos se obtiene a partir de la fermentación de los residuos previamente hidrolizados con la adicción de sustancias que hacen posible la reacción de fermentación para proceder a la destilación hasta conseguir el alcohol.

7.2.1. Materiales

La materia prima que se utilizó para la obtención del alcohol fueron cáscara de banano, cáscara de yuca y bagazo de la caña, Ácido Sulfúrico (H_2SO_4), Hidróxido de Sodio (NaOH), Sulfato de Calcio ($CaSO_4$) y Guarapo (Jugo de Caña).

Para cada una de las muestras se utilizaron las diferentes sustancias en variadas concentraciones que se llevaron a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Técnica de Manabí. Por la escasez de equipos y reactivos para la realización de caracterización de dicho alcohol se enviaron a realizar análisis físico-químico a laboratorios AVVE S.A.

7.2.2. Preparación de las muestras

Para obtener el alcohol mediante los residuos de yuca, banano y caña es necesario realizar el siguiente procedimiento:

En primer lugar, se toman los residuos agroindustriales cáscara de yuca, cáscara de banano y bagazo de caña, se procede a lavar con abundante agua para sacar rastros de tierra y luego de esto se los deja escurrir y secar el agua. Por consiguiente; en el caso de la cáscara de yuca se coloca en un molino hasta que salga en una fina masa, para la cáscara del banano (que no debe estar en estado de maduración) se procede a cortarla para llevarla a un picador y dejar en pequeñas partículas de 2 a 5 mm, por último, en el caso del bagazo de caña se realiza el mismo procedimiento anteriormente mencionado.

Una vez realizado esto se debe llevar a cabo a un pretratamiento cada uno de los residuos, buscando eliminar la lignina de estas que es la que no permite la fermentación. Para el pretratamiento se realizará una solución de NaOH al 0,1N, y se pesará 0,816 g de sulfato de calcio.

Se pesará 900 gramos de cada residuo previamente ya triturados, y se le agregará la solución de NaOH al 0,1N hasta que este quede totalmente sumergido, a los 15 minutos de haberle agregado esta solución, se le debe colocar los 0,816g de sulfato de calcio, para dejarlo en reposo por 3 horas. Se realizará la solución para la hidrólisis ácida, la cual consiste en preparar H_2SO_4 al 5%.

Una vez transcurrido el tiempo del pretratamiento, se procede a separar el material particulado de la solución, a este material le agrega, por cada 100 gramos 50 ml de H_2SO_4 al 5% y este debe ser autoclavado a una temperatura de 125°C por el tiempo de 4 horas.

Al salir de la autoclave se debe dejar enfriar, para luego mediante un colador o malla separar ese material sólido y dejar solo el líquido al cual se le debe realizar una determinación de pH. Para la fermentación se necesitará una solución de NaOH al 8N, que será agregada a cada una de las soluciones previamente medidas el pH, el cual debe llegar a ser ajustado al valor de 5. Una vez ajustado el pH de cada solución de los residuos se procede a la mezcla con el guarapo con concentraciones de 5%, 7% y 9% en 100 ml de solución. Que serán colocados

en matraces de Erlenmeyer de 250 ml, cada una de estas concentraciones se trabajará con escala laboratorio, realizando un triplicado por cada uno.

A cada concentración de cada residuo se le toma la medición del ° Brix, para llevar un control de esta. Procedemos a realizarles un tapón con una manguera fina, que será conectado a un envase con agua. Colocados, enumerados y sellados se esperará el tiempo de 8 días para que se realice la fermentación.

Transcurrido los 8 días se procede a ser destilado mediante destilación simple, obteniendo así el alcohol en variadas concentraciones de cada residuo.

8. RECOLECCIÓN DE LOS DATOS

8.1. Determinación de pH

En la tabla 4 se presentan los datos que se obtuvieron en la muestra después de la hidrólisis ácida y el pH al que se llevó a cabo la fermentación de cada uno de los residuos.

Tabla 4. Resultado de pH

SUSTRATO	pH MUESTRA HIDROLIZADA	pH INICAL DE FERMENTACION	pH FINAL DE FERMENTACION
S_1	4,8	5	6,6
S_2	3,9	5	6,5
S_3	1,8	5	6,9

Fuente. Cando A. & Vera M. (2017)

Elaborado por. Cando A., Vera M.

NOTA:

Sustratos

S_1 = Bagazo de Caña

S_2 = Cáscara de Banano

S_3 = Cáscara de Yuca

8.2. Determinación de °Brix

La tabla 5 se observan los datos que se produjeron en la toma del ° Brix cuando la solución está lista para la fermentación en conjunto con el ° Brix que se tomaron justo antes de su respectiva destilación.

Tabla 5. Resultado de °Brix

MUESTRA	BRIX INICIAL	BRIX FINAL
S_1M_1	6	8
S_1M_2	6	7
S_1M_3	6	8
S_2M_1	7	8
S_2M_2	6	9
S_2M_3	8	9
S_3M_1	11	13
S_3M_2	12	14
S_3M_3	12	14

Fuente: Cando & Vera (2017)

Elaborado por: Cando A., Vera M.

NOTA:

Factor A

Sustratos

S_1 = Bagazo de Caña

S_2 = Cáscara de Banano

S_3 = Cáscara de Yuca

Factor B

Concentración del Guarapo

M_1 = 5%

M_2 = 7%

M_3 = 9%

8.3. Destilación de los Residuos Fermentados

En la siguiente tabla 6 se presentan los datos que arrojó la destilación simple de cada una de las fermentaciones de los residuos agroindustriales, con cada concentración realizada y su réplica correspondiente. Así mismo el valor del grado de alcohol presente en cada muestra.

Tabla 6. Resultado de la Destilación de los Residuos

NUMERO DE MUESTRA	CANTIDAD DESTILADA (ml)	GRADOS DE ALCOHOL	CANTIDAD SOBRANTE (ml)
S_1M_1A	33	2°	60
S_1M_1B	32	4°	58
S_1M_1C	31	3°	62
S_1M_2A	27	3°	68
S_1M_2B	31	3°	65
S_1M_2C	31	1°	59
S_1M_3A	31	2°	58
S_1M_3B	31	1°	65
S_1M_3C	20	4°	77
S_2M_1A	Pérdida	de la	Muestra
S_2M_1B	58	2°	32
S_2M_1C	41	2°	51
S_2M_2A	31	1,5°	63
S_2M_2B	32	3°	60
S_2M_2C	32	3°	63
S_2M_3A	35	3°	61
S_2M_3B	32	2°	60

S_2M_3C	31	2°	61
S_3M_1A	33	8°	60
S_3M_1B	32	6°	64
S_3M_1C	26	9°	73
S_3M_2A	32	7°	63
S_3M_2B	33	8°	63
S_3M_2C	33	9°	63
S_3M_3A	30	9°	64
S_3M_3B	29	10°	68
S_3M_3C	26	11°	75

Fuente: Cando A., Vera M. (2017)

Elaborado por: Cando A., & Vera M.

NOTA:

Factor A

Sustratos

S_1 = Bagazo de Caña

S_2 = Cáscara de Banano

S_3 = Cáscara de Yuca

Factor B

Concentración del Guarapo

M_1 = 5%

M_2 = 7%

M_3 = 9%

Factor C

Réplica

A= Réplica 1

B= Réplica 2

C=Réplica 3

8.4. Determinación de Metanol

A continuación, en la Tabla 7 se muestran los resultados de metanol, obtenidos de la selección de las mejores muestras de los distintos residuos, las cuales se establecieron por el mayor grado alcohólico que poseían y por la cantidad más alta de volumen de destilado. Análisis realizado en el Laboratorio AVVE S.A en la ciudad de Guayaquil.

Tabla 7. Resultado de la determinación de metanol

MUESTRA	CANTIDAD DESTILADA (ml)	GRADO ALCOHÓLICO	PRESENCIA DE METANOL
S_1M_1B	32	4°	NO
S_2M_3A	35	3°	NO
S_3M_3C	26	11°	NO

Fuente: Cando A., Vera M. (2017)

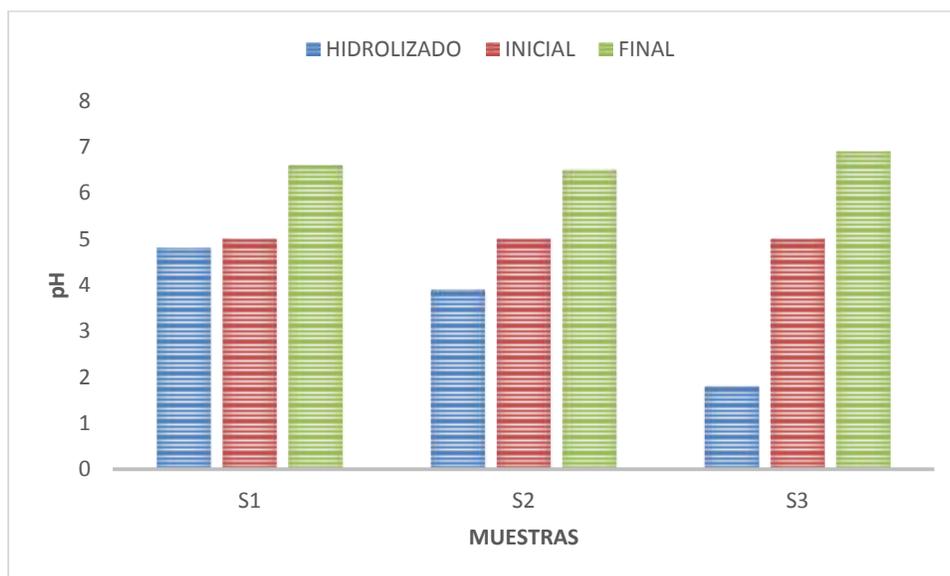
Elaborado por: Cando A., Vera M.

9. ANÁLISIS DE LOS DATOS

9.1. Análisis de pH

Los resultados obtenidos en la muestra de Bagazo de caña (S1), tuvo un pH de 4,8 después del proceso de hidrólisis y al final de la fermentación terminó con un pH de 6,6. A diferencia de la segunda muestra de cáscara de banano (S2) se obtuvo un pH de 3,9 de la hidrólisis y culminó con un pH de 6,5. Por último la muestra de cáscara de yuca (S3), tuvo un pH de 1,8 posterior a la hidrólisis y finalizó con un pH de 6,9.

Figura 5. Determinación de pH



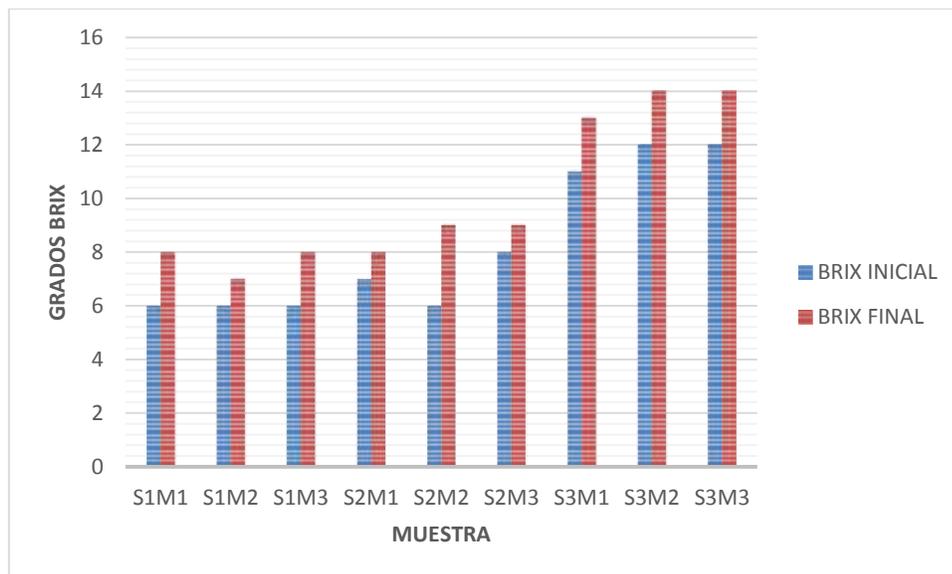
Fuente: Cando A., Vera M. (2017)

Elaborado por: Cando A., Vera M.

9.2. Análisis de °Brix

Los resultados obtenidos en la muestra de Bagazo de caña (S1), fue de un Brix inicial de 6° y un Brix final de 8° para la concentración de la mezcla guarapo al 5%(M1), para la concentración de la muestra al 7%(M2), se obtuvo un Brix inicial de 6° y un Brix final de 7°. Por último para la concentración de la mezcla al 9%(M3) tuvo un Brix inicial de 6° y un Brix final de 8°. Así mismo, la muestra de la cáscara de banano se consiguió un Brix inicial de 6° y un Brix final de 8° para la concentración de mezcla con guarapo al 5% (M1); para la concentración de mezcla al 7% (M2) se logró un Brix inicial de 6° y un Brix final de 9°; para el caso de la concentración al 9% (M3) se detectó un Brix inicial de 8° y un Brix final de 9°. Finalmente en la muestra de cáscara de yuca se determinó un Brix inicial de 11° y un Brix final de 13° en conjunto de la concentración de mezcla de guarapo al 5% (M1) para la concentración de mezcla al 7% (M2) se logró un Brix inicial de 12° y un Brix final de 14°, por último para la concentración de mezcla al 9% (M3) fue un Brix inicial de 12° y un Brix final de 14°.

Figura 6. Determinación de °Brix



Fuente: Cando A., Vera M. (2017)

Elaborado por: Cando A., Vera M.

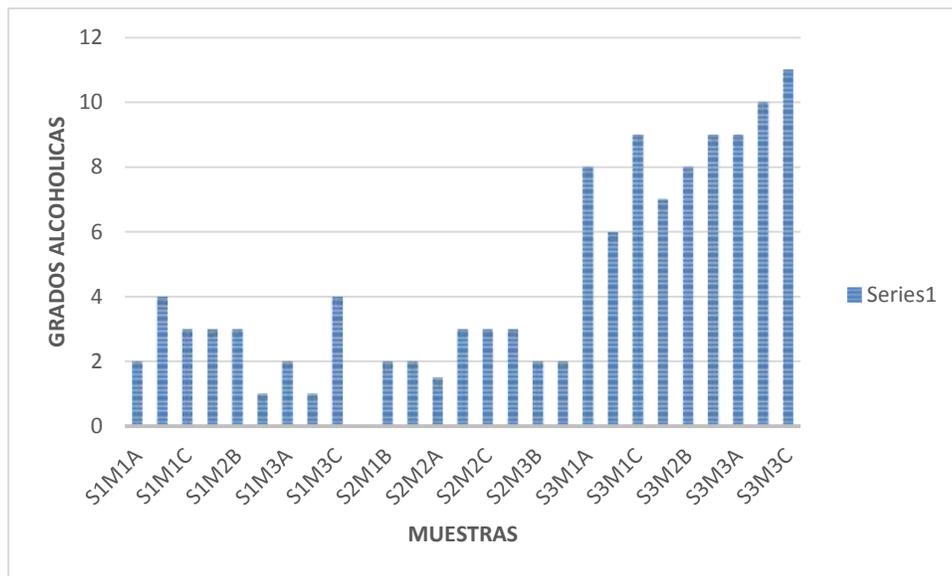
9.3. Análisis de grado alcohólico

Los resultados obtenidos en las muestras de Bagazo de caña (S₁) con su concentración de guarapo al 5% (M₁) y sus réplicas (A,B,C) fueron de 2, 4 y 3 grados de alcohol respectivamente; para el caso de concentración al 7% (M₂) con su réplicas (A,B,C,) obtuvieron un valor de 3, 3 y 1 grado de alcohol respectivamente, en la concentración al 9% (M₃) y su réplicas (A,B,C) generan 2, 1 y 4 grados de alcohol respectivamente.

En la muestra de cáscara de banano(S₂), con la concentración al 5%(M₁) y sus réplicas (A,B,C) se detectaron valores de 2 grados alcohólicos para ambos casos; para la concentración al 7% (M₂) con sus réplicas (A,B,C) se lograron valores de 1,5, 3 y 3 grados alcohólicos respectivamente y por último para la concentración al 9% (M₃) y sus réplicas (A,B,C) tuvieron valores de 3, 2 y 2 grados alcohólicos respectivamente.

En el caso de las muestras de cáscara de yuca (S₃), con concentración de mezcla de guarapo al 5%(M₁) y sus réplicas (A,B,C) consiguieron un grado alcohólico de 8, 6 y 9 respectivamente; en la concentración al 7% (M₂) con sus réplicas (A,B,C) se lograron obtener valores de 7, 8 y 9 grados de alcohol respectivamente, para finalizar con la concentración al 9% (M₃) y sus réplicas (A,B,C) se detectaron grados de alcohol de 9, 10 y 11 grados respectivamente.

Figura 7. Grados alcohólicos



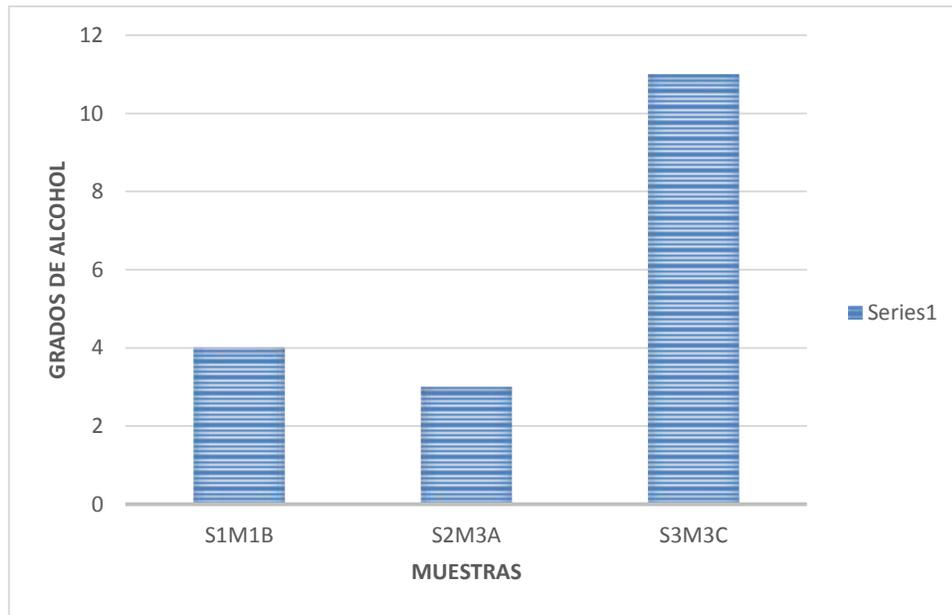
Fuente: Cando A., Vera M. (2017)

Elaborado por: Cando A., Vera M.

9.4. Análisis de metanol

Los resultados obtenidos en la muestra de Bagazo de caña (S1) con concentración de mezcla de guarapo al 5% (M1) y número de réplica B fue de 4° de alcohol y ausencia de metanol, en la muestra de cáscara de banano (S2) con concentración de mezcla de guarapo al 9% (M3) y número de réplica A, obtuvo un grado alcohólico de 3 y carencia de metanol; para la muestra de cáscara de yuca (S3), con concentración de mezcla de guarapo al 9% (M3) y número de réplica c, se encontró un valor de 11° alcohólicos y ausencia de metanol. Estableciendo que dichos análisis fueron realizados a las tres mejores muestras de los residuos, escogidos por el mayor grado alcohólico y cantidad de volumen de destilado.

Tabla 8. Grados alcohólicos en muestras para determinación de metanol



Fuente: Cando A., Vera M. (2017)

Elaborado por: Cando A., & Vera M.

ANÁLISIS E INTERPRETRACIÓN DE LOS RESULTADOS

En cuanto a los parámetros estudiados durante el proceso para la obtención de alcohol, en la determinación del pH, se trabajó con un valor ajustable a 5; debido a la Tabla 3. Tipo, condiciones y propiedades para el desarrollo de algunos microorganismos fermentadores, en la que establece un valor entre 3,8 a 7,2 de pH para el desarrollo del microorganismo, por lo que en la fermentación alcohólica las bacterias compiten con las levaduras por los azúcares y nutrientes, causando una baja producción de etanol. Es decir, entre menos sea el pH, más protegido estará el medio de fermentación de posibles ataques bacterianos.

En los análisis de los °Brix, se determinó que la producción alcohólica mediante estos azúcares deben estar en un rango de 16-20 (Coronel, 2010), de este modo si los °Brix son muy bajos, los grados alcohólicos estarán en menores cantidades como fue el caso de las muestras de cáscara de banano, por el contrario, si se exceden los °Brix, la fermentación no se efectuará porque la presión osmótica es muy amplia lo que no permite que actúen sobre los azúcares. En el caso de las muestras analizadas la cáscara de yuca obtuvo el valor más alto lo cual comprobó que a mayor °Brix del rango óptimo, más grados alcohólicos se obtendrán.

Para la obtención de los resultados de la destilación, se realizaron mediciones mediante el alcoholímetro a cada una de las muestras con sus respectivas réplicas, demostrando que todas poseían un grado alcohólico en diferentes concentraciones. Estableciendo que la cascara de yuca obtuvo el mayor grado alcohólico que fue de 11°, este valor es superior al reportado en la norma NTE INEN 340, en la cual detalla que el grado real a temperatura de 25°C es de 9,3°.

La determinación de metanol se llevó a cabo con las tres mejores muestras considerando el grado alcohólico y el volumen obtenido (S_1M_1B ; S_2M_3A ; S_3M_3C) consideradas en el análisis anterior, obteniendo un resultado negativo en las muestras, demostrando que el alcohol obtenido no posee la toxicidad de este compuesto, haciéndolo apto para el consumo humano.

Conclusiones

- Los sustratos lignocelulósicos utilizados en la investigación, presentaron grandes valores de celulosa y azúcares en especial en la yuca, estos sustratos pueden ser considerados una alternativa para la producción de etanol ya que son ambientalmente sostenibles y amigables.
- Se utilizó la hidrólisis ácida para la obtención de alcohol de los residuos pese a que esta es corrosiva en el proceso por bajas temperaturas y pH bajos es más económica en comparación con la hidrólisis enzimática ya que esta emplea catalizadores y los tiempos de hidrólisis son mucho mayores.
- La caracterización, estableció que la producción de alcohol de estos residuos poseía una presencia mayoritaria de etanol y una ausencia de metanol, debido al alto contenido de azúcares presentes en las muestras, considerando a la cáscara de yuca uno de los residuos con mayor potencial para la elaboración etanol.

Recomendaciones

- Se recomienda llevar a cabo estudios más profundos sobre la etapa de hidrólisis, con el fin de obtener mayores cantidades de azúcares, que permitan que la fermentación se de en su máximo punto, buscando aumentar los rendimientos en la producción alcohólica.
- Controlar y monitorear con intervalos de tiempos más corto el proceso de fermentación, con el propósito de mantener estable las condiciones del pH, °Brix para esta etapa y conocer exactamente cuál es el punto final de la fermentación.

PRESUPUESTO

La presente investigación alcanzó un costo de \$ 900,00, de manera que fueron financiados en su totalidad por los investigadores, dejando distribuidos de la siguiente manera los valores:

<i>Rubros</i>	<i>Valores</i>
Elaboración y entrega del anteproyecto	\$ 20,00
Uso de internet	\$ 20,00
Investigación de parte teórica	\$ 40,00
Impresiones	\$ 10,00
Materiales de laboratorio	\$125,00
Transporte	\$ 100,00
Alimentación	\$200,00
Corrección y presentación de avance del trabajo de titulación	\$ 20,00
Varios	\$ 50,00
Análisis de las muestras	\$150,00
Entrega del informe final	\$ 65,00
Aprobación y sustentación	\$ 100,00
TOTAL	\$ 900,00

CRONOGRAMA

ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Recopilación de información	X								
aplicación de las técnicas		X								
Entrevista tabulación y análisis de datos			X							
Tema y planteamiento de problema				X						
Desarrollo del marco teórico					X					
Visualización del alcance de estudio						X				
Elaboración de hipótesis y definiciones de variables							X			
Desarrollo y diseño de la investigación								X		
Definición y selección de la muestra y recolección y análisis de datos									X	
Reporte de los resultados (conclusiones y recomendaciones)										X

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arenas, I., & López, J. (2004). *Espectrofotometría de absorción*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biotecnología, Cuernavaca.
- Barradas, A. (2009). *Especialización en Educación Ambiental*. Instituto Tecnológico de Minatitlán, Veracruz-México.
- Bellido, C. (2013). *Obtención de bioetanol 2G a partir de hidrolizados de paja de trigo. Fermentación conjunta de los penta y hexa carbohidratos con Pichia stipitis*. Valladolid-España.
- Blasco, G., & Gómez, F. (2014). Propiedades funcionales del plátano (*Musa sp. medigraphic*, 22-26).
- Brunatti, C., & Martín, A. (2010). *Introducción a la Espectroscopía de Absorción Molecular Ultravioleta, Visible e Infrarrojo Cercano*. Recuperado el 10 de enero de 2017, de <http://materias.fi.uba.ar/6305/download/Espectrofotometria.pdf>
- Capdevilla, V., Kafarov, V., Gely, C., & Pagano, A. (2015). Simulación del proceso fermentativo para la obtención de bioetanol a partir de residuos de arroz. *Avances en ciencias e Ingeniería*, 11-21.
- Casallas, L. (2013). *Evaluación del análisis fisicoquímico del banano común (Musa sapientum l) transformado por acción de la levadura Candida guilliermondii*. Bogota, D.C. Obtenido de <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis605.pdf>
- Castillo, N., Siqueiros, T., & Rascón, Q. (2011). Biocombustibles: estrategias limpias para combatir la crisis energética. *Tecnociencia Chihuahua*, 61-66.
- Chávez, M. (2004). La caña de azúcar como materia prima para la producción de alcohol carburante. *infoagro.go*, 26-27.
- Colon, A. (2016). *Clasificación y propiedades de la caña de azúcar (Saccharum officinarum)*. Obtenido de Salud y buenos alimentos: <http://saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=Verduras%2FHortalizas&s2=Tallos&s3=Ca%F1a+de+Az%FAcar>

- Coronel, M. (2010). *Informe de investigación*. Recuperado el 29 de enero de 2017, de <http://www.ute.edu.ec/fci/coronel.pdf>
- DANE. (2016). *El cultivo de yuca (Manihot esculenta Crantz)*. Colombia. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_abr_2016.pdf
- Domínguez, M., Álvarez, A., Castrejón, T., Granados, M., Hernández, F., Alcalá, V., & Tapia, J. (2011). Estudio de la cinética de la hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar sin pretratamiento para la obtención de azúcares reductores. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 153-159.
- Doran, P. (1998). *Principios de ingeniería de los bioprocesos*. Zaragoza, España: Acribia, S.A.
- Eggeman, T., & Elander, R. (2005). Process and economic analysis of pre-treatment technologies. *Bioresour.Technol*, 2019-2025.
- Espinosa, F. (2013). *Obtención de etanol mediante hidrólisis alcalina, enzimática y fermentación a partir del excedente orgánico del banano variedad Musa Paradisiaca*. Quito-Ecuador.
- Fernandez, G. (26 de mayo de 2012). *Destilación sencilla, fraccionada y a vacío*. Obtenido de Química Orgánica: <http://www.quimicaorganica.net/destilacion.html>
- Gerena, F. (2013). *Obtención de jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de residuos de cáscara de naranjas y pap para ser empleados como edulcorantes en la industria de alimentos*. Universidad Abierta y a Distancia UNAD, Colombia. Obtenido de <http://www.infotegra.com/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/1528/1/46455179pdf.pdf>
- Gomez, M. (2005). *Laboratorio de Química 2º ed. Experimento*. Madrid.
- Guarnizo, A., Martínez, P., & Valencia, H. (2009). Pretratamientos de la celulosa y biomasa para la sacarificación. *Scientia et Technica*, 284-289.
- Iglesias, J. (2010). *Destilación. Tipos*. Obtenido de unizar.: http://ocw.unizar.es/ocw/ciencias-experimentales/tecnicas-basicas-de-laboratorio-quimico/teoria/Destilacion_teoría.pdf
- Infoagro, R. (2012). *El cultivo de la caña de azúcar*. Obtenido de Infoagro: http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_cana_azucar.asp

- Mantilla, M. (2012). *Hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar y paja de trigo con una posterior fermentación alcohólica para obtención de etanol*. Quito.
- Marcillo, M., Vivas, H., & Noles, P. (2012). Caracterización química y obtención de bioetanol del residuo sólido del procesamiento del almidón de yuca. *EspamCiencia*, 141-145.
- Mendoza, J. (2010). *plátano (banana)*. Obtenido de expofrut: http://www.expofrut.com.ar/PDF/ficha_platano.pdf
- Morales, O., & Flores, R. (2010). *Cultivo de cepas guatemaltecas del hongo comestible Tx'yol B'aqman (Agrocybe cylindracea (DC.: Fr.)Maire): caracterización y producción de cuerpos fructíferos*. Guatemala.
- NTE INEN . (2014). *Bebidas alcohólicas, determinación del contenido de alcohol etílico. Método alcoholimétrico (Gay-Lissac)*. Quito.
- NTE INEN. (1978). *Bebidas alcohólicas, determinación de ésteres*. Quito.
- NTE INEN. (1978). *Bebidas alcohólicas, determinación de la acidez*. Quito.
- NTE INEN. (1978). *Bebidas alcohólicas. Determinación de aldehídos*. Quito.
- NTE INEN. (1978). *Bebidas alcohólicas. Determinación de ésteres*. Quito.
- NTE INEN. (2014). *Bebidas alcohólicas determinación de alcoholes superiores*. Quito.
- NTE INEN. (2014). *Bebidas alcohólicas determinación de furfural*. Quito.
- NTE INEN 347. (2015). *Bebidas alcohólicas, determinación de metanol*. Quito.
- Osorio, G. (2007). *Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) en la producción de caña y panela*. Colombia: Primera Edición CTP Print Ltda.
- Páucar, R. (1996). *Uso de la cáscara de yuca en raciones para cerdos en crecimiento*. Perú.
- Pepijn, P. (2010). *Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas*. Sevilla.
- Pérez, C. (2008). *Yuca: propiedades y beneficios*. Obtenido de natursan: <http://www.natursan.net/yuca-propiedades-y-beneficios/>

- Prieto, F. (2008). *Escalado del proceso de transformación directo del microorganismo "Mucor circinelloides" en biodiesel*. Universidad Rey Juan Carlos "Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología", Madrid-España.
- ProEcuador. (2016). *Análisis sectorial Banana*. Obtenido de Instituto de promoción de exportaciones e inversiones: http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2016/09/PROEC_AS2016_BANANO.pdf
- Puentes, A. (2008). *Producción estimulada de alcohol a partir de mieles de caña mediante un complejo enzimático obtenido de Rhizopus spp.* Bucaramanga.
- Puerta, G. (2010). Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. *Avances técnicos Cenicafé*, 9. Obtenido de <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0402.pdf>
- Rangel, N., Alva, H., Romero, J., Rivera, J., García, E., & Salgado, R. (2008). Estudio cinético de la hidrólisis enzimática de materiales compuestos de poliuretano poroso/hidroxiapatita. *Revista iberoamericana de polímeros*, 25-35.
- Rueda, D., & Herrera, W. (2006). *Diseño preliminar de un proceso de obtención de etanol a partir de material lignocelulósico de frutas, aplicando la tecnología de hidrólisis térmica catalizada*. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Sanchez, A., Gutiérrez, A., Muñoz, J., & Rivera, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Tumbaga*, 61-91.
- Sanchez, S. (2013). *Utilización de residuos orgánicos a partir de la cáscara de yuca para la producción de alimentos y otros surtidos*. Repositorio de la Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador. Obtenido de [file:///C:/Users/SYSTEC/Downloads/1116%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/SYSTEC/Downloads/1116%20(2).pdf)
- Uribe, M. (2010). *Subproductos y derivados de la caña de azúcar*. Obtenido de Procaña.org: <http://www.procana.org/new/quienes-somos/subproductos-y-derivados-de-la-ca%C3%B1a.html>
- Valdez, J. (2014). *Fundamentos de Química- practica 4*. Machala.
- Valdez, J. (2014). *Guía Técnica para la producción de yuca*. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (Idiaf), Santo Domingo. Obtenido de <http://www.coniaf.gob.do/images/docs/Gu%C3%ADa%20T%C3%A9cnica%20para%20la%20Producci%C3%B3n%20de%20Yuca.pdf>

- Vásquez, M. (2011). *Reciclaje de residuos agrícolas de café y cabuya en la elaboración de tableros compuestos en base de resinas urea-formaldehído (UF)*. Ibarra-Ecuador.
- Viejó, K. (2013). *Estudio de la cadena de valor de la caña de azúcar (Saccharum Officinarum) en el recinto tres postes de la provincia del Guayas*. Milagro-Ecuador.
- Villada, D., & Mosquera, M. (2010). *Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible*. Universidad Autónoma de Occidente , Santiago de Cali.
- Viñals-Verde, M., Bell-García, A., Michelena-Álvarez, G., & Ramil-Mesa, M. (2012). Obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica. *ICIDCA*, 7-16.
- Yamada, R., Taniguchi, T., Tanaka, C., Ogino, H., Fukude, D., & Kondo, A. (2011). Direct ethanol production from cellulosic materials using a diploid strain of *Saccharomyces cerevisiae* with optimized cellulase expression. *Biotechnol*, 8-16.
- Yang, B., & Wyman, C. (2008). Pretreatment: the key to unlocking low-cost cellulosic ethanol. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 26-40.

ANEXOS



Anexo I. Recolección de los residuos



Anexo II. Molienda de los residuos



Anexo III. Deslignificación



Anexo IV. Hidrólisis ácida



Anexo V. Jarabe obtenido de hidrólisis



Anexo VI. Prueba de Azúcares Reductores



Anexo VII. Fermentación del jarabe de residuos



Anexo VIII. Destilación



Anexo IX. Residuo Destilado

Anexo X. Análisis de metanol del bagazo de la caña



LABORATORIOS AVE
Corporación de servicios

INFORME DE ENSAYOS

Fecha de Informe: 27/01/2017		Orden: 679	Nº de Informe: 872-17	Página: 1/1
INFORMACIÓN DEL CLIENTE				
Nombre: CARDO HENDOGA JUANDE ALBERTO/VEIS				
Dirección: QUESADO				
Teléfono: 894134440		Fax: --	E. Mail: --	
DATOS DE LA MUESTRA:				
Tipo de Muestra: Ferulas alcohólicas				
Nombre: RESIDUOS DE CAÑA DESTILADO				
Descripción: Loro				
Lote: --	Fecha de Elaboración: --	Fecha de Exp.:	--	
Comunidad Beneficiaria: --	Cantidad Recibida: 1 de 200 ml aprox.	Caudales:	Normal, Jeringa (plomo)	
Fecha de Recepción: 23/01/2017		Ord. Laboratorio: BUC-6-20-03-17	Muestreo:	Realizado por el cliente
RESULTADO				
ANÁLISIS QUÍMICO				
Fecha de Análisis: 23/01/2017	Página: 8 de 6, 10		ETP/9	
Condiciones ambientales:		Temperatura: 22°C - EPT	Humedad Relativa:	13.6 - 47%
Parámetro:	Unidad:	Resultado:	Regulador:	Método de Referencia:
Grado Alcohólico a 20°C:	%GL	4	--	BBQ-141
Almidón:	--	Negativo	--	MTI 2004 (2007)
OBSERVACIONES				
<p>No podrán realizarse modificaciones a este documento, hasta 6 meses después de su emisión, las mismas que deban de ser respaldadas, por un representante de las autoridades de salud o por un sistema técnico válido, de acuerdo al criterio del laboratorio.</p> <p>Este resultado corresponde exclusivamente a la muestra analizada.</p> <p>La muestra muestra se almacenó en el laboratorio por 1 mes.</p> <p>Prohibida su reproducción total o parcial, sin previa autorización de LABORATORIOS AVE S.A.</p> <p>Las observaciones y apuntes no se encuentran dentro del alcance de Accrediafit.</p> <p>Los registros generados por el análisis de la(s) muestra(s) son mantenibles en los archivos del laboratorio por 5 años.</p> <p style="text-align: center;"><i>Válido solo por el Original</i></p>				

Anexo XI. Analisis de metanol de cáscara de banano



INFORME DE ENSAYOS

Fecha de Emisión:	27/01/2017	Orden:	477	Nº de Informe:	270-17	Página:	1/1	
INFORMACIÓN DEL CLIENTE:								
Nombre:	GONDO MENDOZA ORLANDO MARQUINILLO							
Dirección:	QUIMINDO							
Teléfono:	0991765690	Fax:	-					E-Mail:
ENSAYO DE LA MUESTRA:								
Tipo de Muestra:	Bebidas Alcohólicas							
Nombre:	RESERVA DE BANANO DESTILADO							
Descripción:	Liquor							
Lote:	-	Fecha de Elab.:	-	Fecha de Exp.:	-			
Cantidad Declarada:	-	Cantidad Recibida:	1 litro 200 ml aprox.		Condición:	Normal, botella plástica		
Fecha de Recepción:	25/01/2017	Ltd. Laboratorio:	85-0-4-25-01-17		Proceso de Conservación:	Ambiente		
RESULTADOS								
ANÁLISIS QUÍMICO								
Fecha de Análisis:	26/01/2017	Página:	B-36-S-10:		179%			
Condiciones Ambientales:	Temperatura:		22°C - 20°C		Humedad Relativa:	24% - 47%		
Parámetro	Unidad	Resultado	Requisito	Método de Referencia				
Grado Alcohólico a 20°C	%V	179	-	NMQ-181				
Metanol	-	Negativo	-	NTB 9009-9143				

OBSERVACION

Se prohíbe realizar modificaciones a este documento, hasta 6 meses después de su emisión, las acciones que debieran ser realizadas, por un representante de las autoridades de salud o por un sustento técnico válido, de acuerdo al artículo del laboratorio.

Estos resultados corresponden exclusivamente a la muestra analizada.

La presente muestra se almacenó en el laboratorio por 3 días.

Prohibida su reproducción total o parcial, sin previa autorización de LABORATORIOS AVE S.A.

Las observaciones y opiniones no se encuentran dentro del alcance de acreditación.

Los registros generados por el análisis de la(s) muestra(s) son almacenados en los archivos del laboratorio por 3 años.

NIÑO ante defecto Original

Dra. Margot Vélez de Aréllano
Gerente Técnica & Calidad

Teléfono de Contacto:
 Dirección Laboratorio María: Parque Industrial Calles 1, Calle 4ta, Barrio La Cruz, Trujillo, Perú
 Teléfono: 0424 210000 ext. 210000
 P.O. Box 210000, Trujillo, Perú
 Dirección Laboratorio de Microbiología: Parque Industrial Calles 2, División 1344
 900 11 5144-2, Calle
 Teléfono: (0424) 210000 ext. 401, Teléfono Parque Calles 2, 210000 ext. 401

Correo electrónico:
 laboratorio@laboratoriosave.com
 microbiologia@laboratoriosave.com
 www.laboratoriosave.com

Anexo XII. Analisis de metanol de casacara de yuca



LABORATORIOS AVE
Orientación en Análisis

INFORME DE ENSAYOS

Fecha de Informe:	27/01/2017	Orden:	470	N° de Informe:	075-17	Página:	1/1
INFORMACION DEL CLIENTE:							
Nombre:	CANDO MENDOZA OYANAMI ALERUI VIVIGI						
Dirección:	Q'IRIBENO						
Teléfono:	0991765490	Fax:	-	E. Mail:			
DATOS DE LA MUESTRA:							
Tipo de Muestra: Bebidas Alcohólicas							
Nombre: RESIDUOS DE YUCA DESTILADO							
Descripción: Licor							
Lote:	-	Fecha de Recib.	-	Fecha de Exp.	-		
Constante Declarada	-	Cantidad Recibida	1 de 100 ml (g) (g)	Credenciales:	Normal, sencilla y directa		
				Forma de conservación:	Aislada		
Fecha de Recepción:	25/01/2017	LGA Laboratorio:	01-C-25-01-17	Revisión:	Realizada por el cliente		
RESULTADOS							
ANÁLISIS QUÍMICO							
Fecha de Análisis:	26/01/2017	Página:	030-5.10	Temperatura:	23°C - 23°C	Humedad Relativa:	29% - 42%
Condiciones ambientales:							
Parámetros	Unidad	Resultados	Requisitos	Método de Referencia			
Grado Alcohólico a 20°C	°GL	11	-	NMQ-101			
Metanol	-	Negativo	-	ATE 0403 0447			
OBSERVACIONES							
<p>No podrán realizar modificaciones a este documento, hasta 6 meses después de su emisión, las mismas que deben de ser respaldadas por un requerimiento de las autoridades de salud o por un sustancioso estudio válido, de acuerdo al criterio del laboratorio.</p> <p>Estos resultados corresponden exclusivamente a la muestra analizada.</p> <p>La presente muestra se conserva en el laboratorio por 3 días.</p> <p>Prohibida su reproducción total o parcial, sin previa autorización de LABORATORIOS AVE S.A.</p> <p>Las observaciones y opiniones no se encuentran dentro del alcance de Acreditación.</p> <p>Los registros generados por el análisis de la(s) muestra(s) son almacenados en los archivos del laboratorio por 3 años.</p> <p>¡Manténgalo siempre Original!</p>							