



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

EFICIENCIA COMPARATIVA DE LA OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES
A PARTIR DE RESIDUOS DE NARANJA (CITRUS SINENSIS) Y PIÑA
(ANANAS COMOSUS) EN MEZCLAS CON COMBUSTIBLE.

AUTORA

Pamela del Pilar Acosta Castro

AÑO

2017



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

EFICIENCIA COMPARATIVA DE LA OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE RESIDUOS DE NARANJA (*CITRUS SINENSIS*) Y PIÑA (*ANANAS COMOSUS*) EN MEZCLAS CON COMBUSTIBLE.

“Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y Remediación”

Profesor Guía
M.Sc. Miguel Angel Gualoto Oñate

Autora
Pamela del Pilar Acosta Castro

Año
2017

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con los estudiantes, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Miguel Angel Gualoto Oñate
Máster en Ciencias Biológicas
CI: 170742935-1

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Francisco Javier Domínguez Rodríguez
Doctor en Ingeniería Química: Mención Superficies y Catálisis
CI: 175715373-7

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de nuestra autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Pamela del Pilar Acosta Castro

CI: 172276010-3

AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios por darme sabiduría y confianza para culminar con éxito mis estudios y por bendecirme con dos padres maravillosos gracias a ellos soy lo que soy ahora y porque siempre me apoyan en todo momento, a mi hermanita por estar a mi lado y ser imprescindible en mi vida. A toda mi familia y amigos, que de una u otra forma han estado siempre pendientes de todos mis retos y logros adquiridos. A Nico por su constancia paciencia y ayuda. A todos los docentes de la Universidad de Las Américas, por compartir sus conocimientos para mi formación profesional. A mi profesor guía por dedicar su tiempo y apoyarme para lograr con éxito esta investigación.

DEDICATORIA

A mis maravillosos padres Pilar y Ricardo por su dedicación y confianza en mis metas logradas y por ser un pilar fundamental para mí.

A mi hermana Shashita por estar siempre cuando más lo necesito y darme su paciencia y amor.

A mi abuelita Carmen por siempre recibirme con alegría todos los días y por brindarme su ternura constante.

RESUMEN

Este trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia comparativa del biocombustible obtenido a partir de mezclas de gasolina con etanol generado por la hidrólisis ácida de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y piña (*Ananas comosus*) y posteriormente fermentados con la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

Para dicha investigación se recibieron cáscaras de piña y naranja, generadas a través del proceso de despulpado de frutas. El material de dichos residuos tiene un alto contenido de biomasa lignocelulósica, razón por la cual, el bioetanol puede ser aprovechado. Se seleccionó la materia prima, se realizó un secado y un esterilizado en un autoclave de las muestras, se llevó a cabo el proceso de deslignificación y el de hidrólisis ácida con el fin del obtener una mayor producción de azúcares fermentables, se adaptaron celdas fermentativas para la fermentación del bioetanol con la adición de *S.cerevisiae*, y finalmente se obtuvo el alcohol.

Para determinar la eficiencia del tratamiento a partir de materiales lignocelulósicos, se realizaron pruebas de octanaje del alcohol obtenido mediante el método RON mezclándolo con gasolina comercial, donde se comparó el número de octanos de dicha gasolina con a la mezcla de bioetanol. Concluyendo que este proceso además de ser viable por la alta demanda de residuos orgánicos generados diariamente puede ser una alternativa de energía limpia para el transporte y las industrias, mejorando así la calidad de vida y reduciendo las emisiones constantes a la atmósfera.

Palabras claves: Bioetanol, esterilizado en autoclave, levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), hidrólisis ácida, pruebas de octanaje.

ABSTRACT

The objective of this research aims to evaluate the comparative efficiency of biofuel obtained from fuel blends and ethanol generated by the acid hydrolysis of orange residues (*Citrus sinensis*) and pineapple (*Ananas comosus*) and later fermented with yeast *Saccharomyces cerevisiae*.

For this investigation pineapple and orange peels were recuperated, generated through the process of fruit pulping. The material of these residues has a high content of lignocellulosic, biomass reason for which bioethanol can be generated with these sources. The raw material was selected, the samples were dried and sterilized in an autoclave, the delignification process and the acid hydrolysis process were carried out in order to obtain a higher production of fermentable sugars. Fermentation cells were adapted among the process by fermentation Bioethanol with the addition of *S.cerevisiae*, and finally the alcohol was obtained.

To determine the efficiency of the treatment from lignocellulosic materials, octane tests were performed on the alcohol obtained by the method RON mixing it with commercial gasoline, where the octane number of the gasoline was compared in comparison with the bioethanol mixture. Concluding that this process, in addition to being viable by the high demand for organic waste generated daily can be a clean energy alternative in use for industries and transportation, thus improving the quality of life and reducing the constant emissions to the atmosphere.

Key words: Bioethanol, sterilized in an autoclave, yeast (*Saccharomyces cerevisiae*), acid hydrolysis, octane tests.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación.....	4
1.3. Alcance	6
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos	7
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Combustibles fósiles	8
2.1.1. Petróleo	8
2.1.2. Gasolina	8
2.2. Biomasa	9
2.2.1. Tipos de biomasa	9
2.3. Bioenergía	10
2.4. Biocombustibles	11
2.4.1. Biodiesel.....	12
2.4.2. Bioetanol	13
2.4.3. Etanol anhidro grado carburante	14
2.4.4. Etanol anhidro grado carburante desnaturalizado	14
2.5. Celulosa	15
2.5.1. Lignina.....	16
2.5.2. Hemicelulosa.....	17
2.6. Materia prima para la obtención de bioetanol	18
2.6.1. Naranja	18
2.6.2. Cáscara de naranja.....	18
2.6.3. Carbohidratos	19

2.7. Piña	20
2.7.1. Cáscara de piña	20
2.7.2. Carbohidratos	20
2.7.3. Enzimas	21
2.8. Hidrólisis ácida	22
2.9. Fermentación	22
2.10. Levadura: <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	23
2.11. Destilación	24
2.11.1. Destilación simple	24
2.11.2. Destilación Fraccionada	24
2.11.3. Destilación al vacío	25
3. CAPÍTULO III Metodología	25
3.1. Materiales y Métodos	25
3.1.1. Recepción de materia prima	26
3.1.2. Selección de materia prima	27
3.1.3. Determinación del tamaño de la muestra	27
3.1.4. Reducción del tamaño de materia prima	27
3.1.5. Proceso de secado y de esterilizado en un autoclave	28
3.1.6. Determinación de la pureza de lejía al 98% en relación al Hidróxido de Sodio	29
3.1.7. Deslignificación	29
3.1.8. Hidrólisis Ácida.....	30
3.1.9. Medición de Grados °Brix y pH	30
3.1.10. Armado de celdas fermentativas.....	31
3.1.11. Fermentación de las muestras	31
3.1.12. Destilación de las muestras.....	32
3.1.13. Pruebas de octanaje.....	32
3.1.14. Balance de masa.....	32
3.1.15. Diseño experimental.....	35
4. CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES	39

4.1. Análisis de resultados	39
4.1.1. Requisitos de materia prima.....	39
4.1.2. Tamaño de la materia prima	39
4.1.3. Secado y esterilizado de las muestras	39
4.1.4. Determinación del porcentaje de humedad.....	40
4.1.5. Extracción de lignina en la materia prima	41
4.1.6. Eficiencia de la hidrólisis ácida en las muestras.....	44
4.1.7. Cuantificación de azúcares fermentables	46
4.1.8. Fermentación de las muestras y medición de grados Brix	48
4.1.9. Destilación	51
4.1.10. Determinación del octanaje en el etanol anhidro.	57
4.1.11. Análisis de la varianza	59
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1. Conclusiones	65
5.2. Recomendaciones.....	65
REFERENCIAS	67
ANEXOS	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características fisicoquímicas del biodiesel comercial, norma ASTM D6751-09.....	13
Tabla 2. Características fisicoquímicas del bioetanol comercial, norma NTE INEN-247.....	15
Tabla 3. Protocolo experimental para la obtención de bioetanol.....	36
Tabla 4. Cantidad de la materia prima de cáscara de naranja y piña.....	39
Tabla 5. Peso inicial y final de las muestras de materia prima.....	40
Tabla 6. Porcentaje de humedad perdida en las muestras de materia prima...	41
Tabla 7. Tasa de consumo de hidróxido de sodio con respecto al peso seco de las muestras.....	42
Tabla 8. Condiciones de hidrólisis ácida aplicadas en el mosto de piña.....	44
Tabla 9. Condiciones de hidrólisis ácida aplicadas en el mosto de naranja....	44
Tabla 10. Determinación de azúcares fermentables del jugo de piña.....	46
Tabla 11. Determinación de azúcares fermentables del jugo de naranja.....	47
Tabla 12. Determinación de azúcares fermentables del mosto de piña.....	47
Tabla 13. Determinación de azúcares fermentables del mosto de naranja.....	48
Tabla 14. Variación de los grados Brix durante la fermentación por semana en el jugo y mosto de piña.....	49
Tabla 15. Variación de los grados Brix durante la fermentación por semana en el jugo y mosto de naranja.....	50
Tabla 16. Grados de alcohol de los jugos de piña y naranja (tratamiento 1)....	53
Tabla 17. Grados de alcohol de los jugos de piña y naranja (tratamiento 2)....	54
Tabla 18. Grados de alcohol de los mostos de piña y naranja (tratamiento 2).....	55
Tabla 19. Grados de alcohol de los mostos de piña y naranja (tratamiento 2).....	55
Tabla 20. Análisis de la varianza de los tratamientos esterilizados y no esterilizados en los jugos de cáscara piña y de naranja.....	61
Tabla 21. Análisis de la varianza de los tratamientos esterilizados y no esterilizados en los mostos de cáscara piña y de naranja.....	61
Tabla 22. Análisis de la varianza para la hidrólisis ácida (H ₂ SO ₄) de los mostos de cáscara de piña y naranja (T1 y T2).....	61
Tabla 23. Análisis de la varianza para el tiempo de deslignificación de los jugos de cáscara de piña y naranja (T1 y T2).....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de la celulosa.....	16
Figura 2. Composición de la lignina.....	17
Figura 3. Composición de la hemicelulosa.....	18
Figura 4. Proceso de la fermentación.....	23
Figura 5. Proceso de obtención de bioetanol.....	26
Figura 6. Balance de masa de la cáscara de piña.....	33
Figura 7. Balance de masa de la cáscara de naranja.....	34
Figura 8. Diseño experimental de la cáscara de piña.....	37
Figura 9. Diseño experimental de la cáscara de naranja.....	38
Figura 10. Tiempo de deslignificación en relación a la asimilación de °Brix....	43
Figura 11. Comparación de azúcares fermentables entre los tratamientos....	45
Figura 12. Obtención de alcohol en la cáscara de piña.....	56
Figura 13. Obtención de alcohol en la cáscara de naranja.....	57
Figura 14. Comparación del octanaje de la gasolina comercial frente a la mezcla con etanol anhidro.....	58
Figura 15. Recepción y selección de la materia prima (piña y naranja).	81
Figura 16. Triturado de la materia prima (piña y naranja) usando el molino Pome Fruit Grinde.....	81
Figura 17. Secado de la materia materia prima (piña y naranja).....	82
Figura 18. Esterilizado de la materia prima (piña y naranja).....	82
Figura 19. Tratamiento 1(no esterilizado) después del secado de la cáscara de piña.....	83
Figura 20. Tratamiento 1(esterilizado) después del secado de la cáscara de naranja.....	83
Figura 21. Tratamiento 1(no esterilizado), deslignificación de la cáscara de piña y naranja.....	84
Figura 22. Tratamiento 2(esterilizado), de la cáscara de piña y naranja.....	84
Figura 23. Tratamiento 2(esterilizado), deslignificación de la cáscara de piña y naranja.....	85
Figura 24. Tratamiento 1(no esterilizado), separación del mosto y del jugo piña y naranja.....	85
Figura 25. Tratamiento 2(esterilizado), separación del mosto y del jugo piña y naranja.....	86
Figura 26. Equipo para la medición de los grados Brix del mosto y del jugo piña y naranja.....	86
Figura 27. Levadura activa para fermentación de las muestras de jugo y mosto para piña y naranja.....	87
Figura 28. Celdas fermentativas de los tratamientos 1 y 2 de las muestras de piña y naranja.....	87
Figura 29. Destilación simple de todas las muestras de los tratamientos 1 y 2 de las materias primas de piña y naranja.....	88
Figura 30. Medición de los grados del bioetanol de las muestras	

del tratamiento 1 del jugo de la cáscara piña	88
Figura 31. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 1 del mosto de cáscara de piña.	89
Figura32. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 2 del jugo de cáscara de piña.	89
Figura 33. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 2 de cáscara de piña del mosto.	90
Figura 34. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 2 del mosto de cáscara de piña.	90
Figura 35. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 1 del jugo de cáscara de naranja.....	91
Figura 36. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 2 del jugo de cáscara de naranja.....	91
Figura 37. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 1 del mosto de cáscara de naranja.....	92
Figura 38. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 2 del jugo de cáscara de naranja.....	92
Figura 39. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 2 del mosto de cáscara de naranja.....	93
Figura 40. Bioetanol de cáscara de piña y naranja, en mezclas con gasolina.	93

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En un futuro próximo se prevé que los combustibles a base de petróleo continuarán su dominio en el sistema global de energía, sin embargo, se pronostica que el uso de combustibles alternativos crecerá rápidamente, durante los próximos 30 años (Moore, 2016). Las fuentes principales para la generación de energía son el petróleo, el gas natural y el carbón, las cuales se utilizan para el transporte e industrias (Johansson, 2016). Según la (IEA, Internacional Energy Agency, 2017)¹ los combustibles fósiles ascendieron en el 2012 al 81,1% del consumo mundial de energía primaria, distribuidos en un 32,4% del petróleo, el carbón 27,3%, y el gas 21,4%. Todas ellas están disponibles en cantidades limitadas, y cada uno de ellos emite gases de efecto invernadero cuando se quema (Bret, 2014).

Por varias décadas más, el petróleo seguirá siendo el combustible más importante de la matriz energética mundial, el 59% del aumento global de la demanda, lo constituyen sus derivados. En los últimos años las energías renovables han experimentado un crecimiento apreciable que bordea el 7.7% anual, del cual, tan solo el 2% corresponde a la energía hidroeléctrica (MUNDIAL, 2013).

En la actualidad, el sector industrial es el mayor consumidor de energía de fuentes fósiles y puede ser el principal consumidor de energía de fuentes alternativas de menor costo y menor impacto ambiental, frente a cualquier otro sector de la economía (Pasquevich, 2017). Para el año 2030, se ha planificado consumir hasta un 30% de la energía del mundo de fuentes alternativas, de forma sostenible (ONU, 2016).

¹ Internacional Energy Agency: Es una organización que está conformada por 29 países y su propósito es garantizar la seguridad energética e impulsar la sostenibilidad ambiental a nivel mundial.

Los combustibles fósiles no son renovables y se agotan aceleradamente, razón por la cual es necesario buscar alternativas viables de producción de combustible, a partir de fuentes renovables como: hidroeléctrica, fotovoltaica, eólica, termal y biomasa (Biofuels, 2017).

El aprovechamiento energético de la biomasa, es una nueva fuente alternativa de energía renovable, que se ha venido desarrollando en Estados Unidos, Europa y Latinoamérica desde hace ya varios años. Brasil y Uruguay se destacan por esta nueva iniciativa, que se constituye en un modelo a seguir para los países de la subregión (Preinversión, 2014). La utilización de biomasa como recurso energético en lugar de los combustibles fósiles, brinda ventajas socio ambientales tales como la reducción de emisiones contaminantes, reducción de gases tóxicos, aprovechamiento de residuos orgánicos entre otras (Salvador, 2010).

Los combustibles derivados de la biomasa se conocen como biocombustibles. Las principales fuentes de biomasa empleadas para la obtención de combustibles son maíz, caña de azúcar, aceite de palma y soja. En los últimos años se vienen empleando fuentes orgánicas lignificadas, que constituyen rechazos forestales y de cultivos. Los tipos de biocombustibles que se producen son biodiesel y bioetanol, que son utilizados para vehículos de combustión interna y para la generación de energía eléctrica en las industrias (Herguedas, Taranco, García, & Paniagua, 2012).

Según el reporte de Pogaku & Sarbatly, 2013; los biocombustibles se dividen en diferentes categorías, dependiendo de la materia prima de la que se obtienen. Los biocombustibles de primera generación utilizan aceite de palma con el fin de brindar seguridad energética, tener menos dependencia de los combustibles fósiles y finalmente el compromiso con el ambiente de mitigar el calentamiento global con emisiones más limpias (Biofuels, 2017).

Estos tipos de biocombustibles utilizan como fuente principal metabolitos vegetales y animales, como grasa e hidratos de carbono de bajo peso molecular (Schiffer, 2017). Sin embargo, estos biocombustibles de primera generación utilizan tierras cultivables valiosas y cultivos alimentarios en competencia con las necesidades alimentarias humanas y no son productores eficientes de energía por hectárea de tierra ni mitigan efectivamente las emisiones de gases de efecto invernadero. (Wilkinson, Afiff, Carriquiry, Jumbe, & Searchinger, 2013).

Los biocombustibles que se obtiene a partir de polisacáridos como la lignina, celulosa o hemicelulosa, que son los biopolímeros de mayor abundancia en la naturaleza; pertenecen a la segunda generación. Estos materiales una vez hidrolizados, son convertidos en monosacáridos y posteriormente fermentados para producir alcohol (Bravo, 2010) (Sánchez-Ramírez, y otros, 2014).

Los combustibles de segunda generación, no proceden de cultivos que sean destinados para alimentación, sino más bien de biomasa excedente como residuos de cultivos, madereros y forrajeros (EPA, 2017). Sin embargo, el empleo masivo de estos residuos, podría afectar a las propiedades del suelo y su fertilidad, debido a que estos no llegarían al suelo, donde contribuyen a conservar el agua, mejorar su estructura, su productividad y capturar carbono. (Botero, Perez, & Alzate, 2014).

Finalmente, los biocombustibles de tercera generación, utilizan la biomasa de microalgas para la obtención de biocombustibles mediante el proceso de fotosíntesis (Hernández A. G., Vázquez-Duhalt, Sánchez, Carreón, & Jiménez, 2009). Como microorganismos fotosintéticos, las microalgas, son capaces de metabolizar el nitrógeno y fósforo de las aguas residuales, atrapar CO₂ del aire y sintetizar con ellos lípidos que pueden convertirse en biodiesel. La disminución de la oferta de combustibles fósiles convencionales y la preocupación por el calentamiento global hacen que el biodiesel a base de micro algas sea una alternativa muy prometedora (Lee, 2013).

La producción de combustibles a base de residuos de cítricos y frutas, es de segunda generación, por cuanto, emplea biomasa lignocelulósica no alimentaria. Más de 88 millones de toneladas de cítricos se producen en todo el mundo. Después del proceso de eliminación del jugo, restan aproximadamente el 40% de residuos cítricos, que constituyen una fuente potencial de biocombustibles. (Hilbert & Galligani, 2015).

Los residuos de cítricos y frutas son una fuente importante de biocombustibles, debido a su alto contenido de sustancias fermentables, como polisacáridos, oligosacáridos y monosacáridos. La cáscara de naranja tiene un mayor contenido de carbohidratos que otros cítricos y puede dar un mayor rendimiento de biocombustibles; adicionalmente, posee sustancias derivadas del isopreno como el limoneno y otros carbohidratos como las pectinas. Análogamente, la cáscara de piña que representa el 41% de la biomasa total del fruto, también es rica en azúcares fermentables (del 13 al 16%), un alto contenido de sustancias saborizantes y vitaminas. Contar con fuentes combinadas de biocombustibles que reduzcan sustancialmente el consumo de combustibles fósiles de petróleo, contribuiría a mejorar la calidad del ambiente, debido a la reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero a la atmósfera (Battison, 2011) (Santos, 2014).

1.2. Justificación

La sustitución de los combustibles fósiles derivados del petróleo por otros de orígenes vegetales, renovables y limpios, constituyen una herramienta de mejora contra el deterioro ambiental. Asimismo, es un mecanismo de desarrollo de la agricultura e industrias (Carvalho et al., 2015). La producción de biocombustibles brinda la probabilidad de tener “libertad energética”². El consumo de etanol para combustible, es impulsado por muchos gobiernos alrededor del mundo, como mecanismo principal para reducir la dependencia

² Concepto que debe ser manejado con reservas, por cuanto la libertad energética, puede derivar en detrimento de la libertad alimentaria, elevado costo de los alimentos y deterioro del recurso suelo.

frente a las importaciones de petróleo, el fomento de la producción en áreas rurales y mejorar la base de conocimiento tecnológico en la producción agrícola a gran escala (Balat, 2008)

La FAO considera, que la obtención de etanol incrementará alrededor de un 70% desde el 2012 hasta el 2020 y que logrará alcanzar 167.000 millones de litros. Este nivel de producción dominará el 12% de la elaboración mundial de cereales secundarios y 29% de la caña de azúcar (FAO, Increase of Biofuels in the world, 2017). Esto significa que importantes volúmenes de producción agrícola dejarán de ser fuente alimenticia para millones de habitantes y se transformarán en combustible para vehículos; aspecto que refleja cuál es la tendencia del desarrollo de la sociedad, cuáles son las prioridades del mercado, la industrialización o las necesidades primarias de los seres humanos. El hambre existente actualmente, se podría agravar tras la producción de biocombustibles dejando a un lado el bienestar de la sociedad.

En el Ecuador, el Gobierno ecuatoriano estimula la producción de etanol para biocombustibles como una medida para suplir importaciones de combustibles fósiles. Si ya en el 2012 se hubiera producido la totalidad de gasolina extra con una mezcla de etanol al 5%, se habría alcanzado una disminución en el uso de naftas de alto octanaje de 101 millones de barriles o su equivalente de US\$345 millones menos en importaciones. A este beneficio se suma el objetivo de la transformación de la matriz energética hacia fuentes renovables de energía y una gran reducción de emisiones generadas por industrias y transportes (ProEcuador, 2013).

Según datos de SEMPLADES del 2012, la economía ecuatoriana se ha sustentado en una matriz energética basada en el uso predominante del petróleo, con el 96%, mientras que la energía hidroeléctrica y biomasa, equivalen al 4%. (SENLADES, 2012). Esto demuestra que el aporte de las energías renovables es aún incipiente

Teniendo en cuenta criterios de sustentabilidad, el Ecuador y otros países del mundo, planifican la sustitución progresiva de materias primas agrícolas alimentarias, por biomasa lignocelulosa, desechos y otras materias primas no alimentarias, para la producción de biocombustibles mejorados (Arcelia González Merino, 2008). Sin embargo, el desarrollo tecnológico para su ejecución, aun no cubre las expectativas, por lo que su desarrollo depende netamente de las inversiones en investigación a cargo del estado y el sector privado. En tal virtud, el Gobierno ecuatoriano, tiene un programa de impulso a la producción de biocombustibles que nace de la creciente preocupación por el cambio climático y del compromiso mundial por el control del efecto invernadero. Los biocombustibles, son un mecanismo para reducir emisiones de CO₂ y plomo. (ProEcuador, 2013)

1.3. Alcance

El presente trabajo de titulación se evaluó la eficiencia comparativa del biocombustible obtenido a partir de mezclas de gasolina con etanol generado por la hidrólisis ácida de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y piña (*Ananas comosus*) y posteriormente fermentados con la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Evaluar la eficiencia comparativa del biocombustible obtenido a partir de mezclas de gasolina con etanol generado por la hidrólisis ácida de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y piña (*Ananas comosus*) y posteriormente fermentados con *Saccharomyces cerevisiae*.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Obtener bioetanol mediante la fermentación de residuos de naranja y piña.
- Comprobar los parámetros de operaciones influyentes en el proceso de producción de bioetanol como: hidrólisis ácida, esterilización del material en un autoclave y secado del material.
- Determinar la variación del octanaje en el biocombustible obtenido en mezclas con gasolina mediante el método RON.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Debido a la gran producción, consumo y uso de los combustibles fósiles en todo el mundo, la contaminación ambiental a través de los gases de efecto invernadero ha ido en aumento. Lamentablemente, la dependencia de los combustibles fósiles y la rapidez con la que estos se están acabando, conlleva a que el suministro de energía este acarreado una crisis global, es por esta razón la necesidad de buscar e implementar energías alternativas en mayor cantidad que generen menos contaminación, con el fin de reemplazar el uso de petróleo, gas natural, y carbón que son las principales fuentes de energía (Goldemberg, Sugarcane Ethanol: Strategies to a Successful Program in Brazil , 2013).

El interés por la generación de bioenergía, ha originado la búsqueda de energías renovables como por ejemplo la producción de biocombustibles. La materia prima para la obtención de biocombustibles es de origen orgánico, ya que su constitución tanto lignocelulósica como vegetal es de gran ayuda para la generación de fuentes limpias de energía. El campo de los biocombustibles puede ejercer un papel importante en la provisión de energía renovable y asegurar la salud ambiental para un futuro sostenible en la Tierra (Lee, 2013).

2.1. Combustibles fósiles

Los combustibles fósiles son hidrocarburos, principalmente, petróleo, carbón, turba, lignito, antracita o gas natural, formados a partir de sedimentos de plantas y animales muertos a lo largo de millones de años. El uso de estos combustibles permitió el desarrollo industrial a gran escala, reemplazando fuentes energéticas primarias empleadas antiguamente, tales como molinos accionados por agua, molinos de viento, así como la combustión de madera (ScienceDaily, 2016).

La mayor fuente de gases de efecto invernadero como el CO₂, es la quema de combustible fósiles, cuya acumulación permite el forzamiento radiactivo y contribuye al calentamiento global (Energy, 2014).

2.1.1. Petróleo

Es una mezcla de hidrocarburos, cuyos productos de destilación, hallan amplio uso en calidad de lubricantes, solventes, polímeros, textiles, aceites, en los sectores industriales, petroquímica, farmacéutica, agropecuario, comercial, y de transporte (Petersen & Finnveden, 2014).

2.1.2. Gasolina

La gasolina es una mezcla de cientos de compuestos de hidrocarburos volátiles, los cuales se adquieren de la refinación del petróleo crudo (Burns, 2003). La gasolina contiene octanos, los mismos que miden la capacidad antioxidante. De acuerdo con el Instituto Ecuatoriano de Normalización, el octanaje promedio de todas las gasolinas que se consumen en el Ecuador es de 87 RON³. Los tipos de gasolina que se distribuyen en el Ecuador son extra con 87 octanos y súper con 92 octanos (INEN, NTE 935, 2015).

³ RON: Research octane number o número de octanaje. Es una escala que mide la resistencia de un combustible a detonarse dentro del cilindro de un motor.

En el Ecuador desde el año 2010 se inició la comercialización de una nueva gasolina a base de materia prima lignocelulósica. Este tipo de gasolina es denominada Eco país, y posee 85 octanos. Los requisitos para el bioetanol en mezclas con gasolina según la norma (INEN, NTE 2478, 2009) son añadir 95% de gasolina sea extra o súper y solo un 5% del bioetanol obtenido. Esta mezcla tiene el fin de provocar menos emisiones de compuestos aromáticos como benceno, tolueno y xileno.

2.2. Biomasa

La biomasa es considerada un tipo de energía renovable formada a través de la fotosíntesis, para producir carbohidratos y ligninas que forman las unidades de la biomasa (Huang, 2014). Es un conjunto de materia orgánica de origen animal o vegetal, también considerada una fuente de energía alternativa ya que puede volver a crecer en un período relativamente corto de tiempo en comparación con los cientos de millones de años que llevó a la formación de combustibles fósiles (Proskurina, Heinimo, Schipfer, & Vakkilainen, 2017).

La mayoría de la biomasa para la generación de bioenergía proviene de los bosques, la agricultura y los desechos, las cuales son importantes fuentes de materias primas. Los principales tipos de materias primas incluyen azúcares y almidones de cultivos agrícolas y materiales celulósicos lignocelulósicos de bosques, agricultura, agroforestería, y desechos industriales (Williams, Dahiya, & Porter, 2014).

2.2.1. Tipos de biomasa

Existen tres tipos principales de biomasa como los azúcares y almidones, la celulosa y lignocelulosa y los lípidos de los cuales se derivan las materias primas de bioenergía. (Tumuluru, Wright, Kenney, & Hess, 2010). Los lípidos son moléculas ricas en energía, insolubles en agua tales como grasas, aceites y ceras. Son fuentes agrícolas comunes de aceites para biodiesel. Los

azúcares y los almidones son los carbohidratos que habitualmente se encuentran en las porciones comestibles de los cultivos alimentarios, y son fuentes de biocombustibles de primera generación (Halvorsen, Selfa, Becker, & Hinrichs, 2011). La celulosa y la lignina de la biomasa están compuestas de carbohidratos complejos y moléculas que se encuentran típicamente en las hojas y tallos de las plantas (Williams, Dahiya, & Porter, 2014).

2.3. Bioenergía

La bioenergía es una energía renovable derivada de materiales biológicos vivos o biomasa. Las fuentes de energía fósil de carbono, como el carbón y el petróleo, no son fuentes de bioenergía, porque estos materiales son el resultado de procesos geológicos que transformaron plantas que vivían hace miles de años (Darby & Callahan, 2015).

La bioenergía es una forma de energía renovable ya que la energía contenida en la biomasa es energía del sol, capturada a través de procesos naturales de fotosíntesis (Dahiya, 2015). Las formas de bioenergía incluyen energía, calor y combustibles sólidos, líquidos y de gas. Los usos de estas diversas formas de bioenergía incluyen aplicaciones industriales, residenciales y comerciales (King, Xie, Fiskari, & Kilpelainen, 2014).

Según la Organización Mundial de la Salud del 2016 la mayor parte de esta energía se consume en países en vías de desarrollo, donde entre 2 y 3 mil millones de personas emplean biomasa, como madera, residuos agrícolas, residuos domésticos, carbón vegetal y desechos animales como fuente de energía.

Los países en vías de desarrollo utilizan la bioenergía de manera sostenible, es decir, que la utilización es viable desde el punto de vista económico y técnico (Edenhofer, Pichs-Madruga, & Sokona, 2011).

2.4. Biocombustibles

Los biocombustibles son cualquier tipo de combustibles provenientes de la biomasa. Para ser considerado un biocombustible el combustible debe alcanzar un 80% de material renovable (Biofuels, 2010).

La biomasa puede ser empleada como biocombustible mediante diferentes métodos, siendo el más conocido su incineración. Durante muchos años las personas quemaron madera para producir calor y cocinar, el problema con quemar la biomasa es que la energía no es aprovechada al máximo (Biofuels, 2010).

Un método eficiente para la elaboración de biocombustibles es la conversión de los carbohidratos de la biomasa en combustible, a través de un proceso químico, en el cual, los carbohidratos se transforman en alcohol, que es un combustible líquido. Otro método común para la elaboración de los biocombustibles es la transformación de aceites vegetales o grasas animales en biodiesel. (Biofuels, 2010).

Los biocombustibles se clasifican en: biocombustibles de primera generación los cuales provienen de aceites, azúcares y almidones originados en cultivos alimentarios. Los biocombustibles de segunda generación, que provienen de cultivos no alimentarios tales como pastos perennes y materiales leñosos y porciones no alimentarias de cultivos alimentarios. Por último los biocombustibles de tercera generación, que son producidos a partir de algas que pueden producir múltiples tiempos en mayores rendimientos (Dahiya, 2015).

Los biocombustibles podrían suministrar hasta el 27% del combustible mundial de transporte para el 2050. La producción de biocombustibles puede expandirse de manera sostenible, implementando tipos de energía limpia y

renovable, aplicándose a las tecnologías y acciones que se enfrentan en la actualidad (Fontes, 2010).

2.4.1. Biodiesel

El biodiesel es un combustible derivado de ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos procedentes de aceite vegetal o grasa animal y aceite de fritura de desecho. Existe una serie de aceites vegetales comercialmente disponibles que pueden ser empleados como base para la producción de combustibles. Comúnmente provienen de soja, girasol, canola, ricino, y palma, dependiendo de la región (Ganduglia, 2009).

Una ventaja del biodiesel es que puede reemplazar parcial o totalmente al aceite mineral en motores de automóviles, ya sea puro o mezclado con diésel en adecuadas proporciones. También puede utilizarse en la generación de electricidad (Pennington, 2015). Las características fisicoquímicas del biodiesel se muestran a continuación en la tabla 1.

Tabla 1.*Características fisicoquímicas del biodiesel comercial, norma ASTM D6751-09.*

Propiedades	Unidad	Valor aproximado
Densidad a 15°C	°C	860 a 900
Viscosidad cinemática	mm ² / s.	1,9 a 6
Punto Inflamación	°C	93
Contenido de Azufre	mg / kg	10
Índice de Cetanos	-	51
Contenido máximo de agua	mg / kg.	500
Contenido de metanol	% (m/m)	0,20
Contenido de mono glicéridos	% (m/m)	0,80
Contenido de di glicéridos	% (m/m)	0,80
Contenido de triglicéridos	% (m/m)	0,20
Glicerol libre	% (m/m)	0,02
Glicerol total	% (m/m)	0,025
Metales del grupo I (Na– K)	mg / kg	5
Metales del grupo II (Ca – Mg)	mg / kg	5
Contenido de fósforo	mg / kg	10,00

Adaptado de (Jachmanián, 2014)

2.4.2. Bioetanol

El bioetanol se obtiene por la fermentación de hidratos de carbono fermentables sintetizados por las plantas (Ramirez, 2008). Las plantas a través del proceso de fotosíntesis, sintetizan moléculas orgánicas simples como los monosacáridos (glucosa, fructosa, etc.), a partir de las cuales, se producen moléculas complejas como el almidón, celulosa y hemicelulosa, que se acumulan en hojas tallos y frutos (García, 2010).

La producción de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos se basa en tecnologías que hidrolizan la biomasa celulósica a azúcares fermentables. El primer paso es el proceso de fermentación lignocelulosa la cual rompe la barrera de la lignina y la estructura cristalina de la celulosa (Araújo, 2016).

Para la obtención del bioetanol es necesario realizar una fermentación previa, la cual produce el alcohol hidratado, con un contenido aproximado del 5 % de agua, que tras ser deshidratado se puede utilizar como combustible (Griffin, Saville, & MacLean, 2016).

El etanol o alcohol anhidro se usa en calidad de combustible, en mezclas con gasolina en concentraciones del 5 o el 10% en volumen. Para el efecto, no se requieren modificaciones en los motores actuales (Ramirez, 2008). El bioetanol, puede emplearse también en calidad de aditivo de la gasolina, en vez de sustituto, para ajustar el octanaje y lograr reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera (García, 2010). El etanol anhidro se clasifica en:

2.4.3. Etanol anhidro grado carburante

Este alcohol es utilizado en mezclas con combustibles líquidos en un porcentaje recomendado del 10% (INEN, Etanol Anhidro. Requisitos 2487, 2009).

2.4.4. Etanol anhidro grado carburante desnaturalizado

Al cual se le agrega una sustancia desnaturalizada en un pequeño porcentaje entre 2 y 3% de nafta (INEN, Etanol Anhidro. Requisitos 2487, 2009).

Hoy por hoy, el bioetanol es el biocombustible con mayor demanda mundial; para su producción, se pueden usar materiales lignocelulósicos de mayor potencial energético que los materiales de primera generación, con la ventaja de que estos son productos no alimentarios, esto es, biomasa residual

(Networks, 2002). Las características fisicoquímicas del bioetanol se muestran en la tabla 2.

Tabla 2.

Características fisicoquímicas del bioetanol comercial, norma NTE INEN-2478.

Propiedades	Unidad	Valor aproximado
Densidad a 20°C	kg/m ³	791,5
Viscosidad cinemática	mm ² / s.	1,9 a 6
Punto de Inflamación	°C	78,3
Viscosidad a 20°C	°C	1,17
Acidez total (Como ácido acético)	mg/100 mL	3
Conductividad eléctrica	µS/m	500
Contenido de cloruros	mg/L	32
Contenido de agua	%	0,3
Contenido de cobre	mg/kg	0,1
Residuo por evaporación	mg/100mL	5

Adaptado de (INEN, NTE 2478, 2009)

2.5. Celulosa

La biomasa celulósica de las paredes de las células vegetales es el recurso orgánico renovable más grande de la Tierra y su uso no compite directamente con el suministro de alimentos. Por lo tanto, junto con su conversión a combustibles, químicos, energía y nuevos materiales; mantener un equilibrio entre su producción y consumo, se convierte en uno de los factores decisivos para resolver los problemas causados por el rápido consumo de recursos fósiles (Faraco, 2013).

Los residuos de frutas son abundantes en la naturaleza; químicamente son polímeros de glucosa; α -D Glucosa y β - D glucosa, para almidón y celulosa respectivamente (Balat, 2008). La celulosa presenta dos regiones: la región

amorfa y la región cristalina. La región cristalina debe ser hidrolizada para liberar las moléculas de glucosa, mientras que la región amorfa es más susceptible a reacciones químicas (Daniel Díez Llorente, 2011).

Las moléculas de amilosa están constituidas de 200 a 2000 moléculas de glucosa, que se encuentran unidas por enlaces glucosídicos α -1,4 en cadenas no ramificadas, tales como se muestran en la figura 1. Las moléculas de amilopectina, son más grandes y los residuos de glucosa y se enlazan mediante enlace α -1,6 (Rodríguez, 2004).

La producción de bioetanol desempeña un papel central en el sistema de conversión de celulosa debido a su alta productividad y aplicabilidad como combustible líquido y recurso químico (Faraco, 2013).

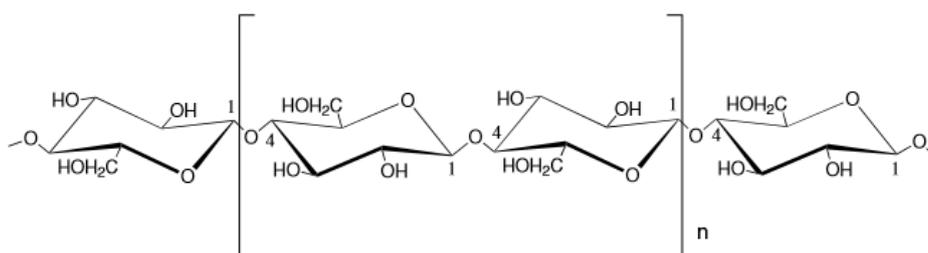


Figura 1. Composición de la celulosa.

Tomado de (Huang, 2014)

2.5.1. Lignina

La producción de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos se basa en tecnologías que hidrolizan la biomasa celulósica a azúcares fermentables. El primer paso en el proceso general de fermentación lignocelulósica es romper la barrera de lignina y alterar la estructura cristalina de la celulosa (Fengel & Wegener, 1984). Esto se logra mediante un pretratamiento que involucra procesos físicos, químicos y termoquímicos. Después del pretratamiento, la biomasa lignocelulósica recalcitrante es hidrolizada con enzimas y fermentada por levaduras o bacterias a etanol (Delgenes, Penaud, & Moleta, 2013).

La hidrólisis enzimática puede tener lugar en una etapa separada, seguida de fermentación, o puede tener lugar junto con la fermentación en un proceso simultáneo de sacarificación y fermentación de hexosas (Goldemberg, Sugarcane Ethanol Strategies to a Successful Program in Brazil, 2013).

La biomasa lignocelulósica es la sustancia orgánica más abundante en las plantas después de la celulosa, presente en tejidos vegetales cuyas paredes celulares contienen microfibrillas de celulosa recubiertas de hemicelulosa y en las que se ubica la lignina figura 2. Estos materiales proveen a la célula vegetal mayor resistencia a lesiones mecánicas y a la acción de patógenos (Boot, 2016).

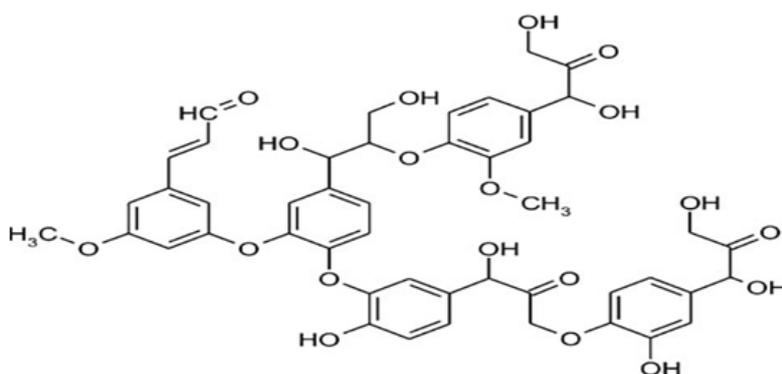


Figura 2. Composición de la lignina.

Tomado de (Taiz & Zeigerq, 2006)

2.5.2. Hemicelulosa

La hemicelulosa está compuesta por polímeros de diferentes azúcares, con cadenas más cortas y ramificadas, lo que la hace más amorfa y más fácil de hidrolizar en sus azúcares constituyentes de celulosa (Laureano, Teymouri, Alizaedh, & Dale, 2005). La hemicelulosa garantiza la fusión entre la lignina y la celulosa, que brinda rigidez a la pared celular y la hace insoluble en agua. Los monosacáridos más comunes de la hemicelulosa son: glucosa, mannososa y galactosa que son hexosas y xilosa y arabinosa que son pentosas mostrados en la figura 3, además de algunos ácidos urónicos (Boot, 2016).

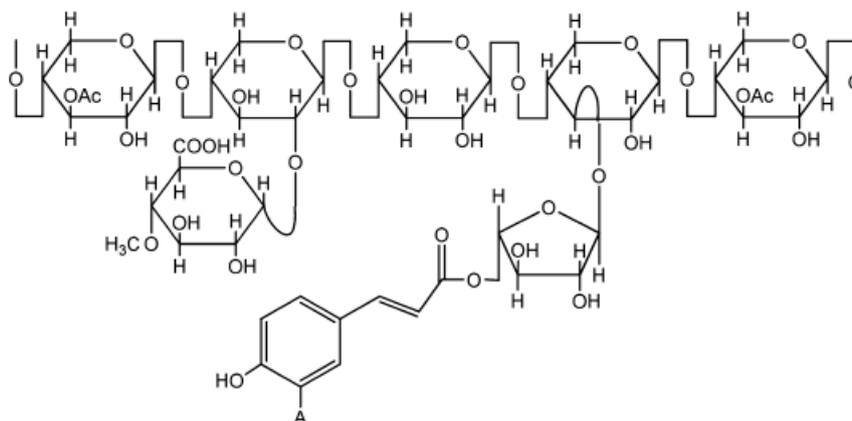


Figura 3. Composición de la hemicelulosa.

Tomado de (Huang, 2014)

Las cáscaras de frutas, que son biomasa desperdiciada, son una fuente abundante de biomasa lignocelulósica, que es convertida en glucosa mediante hidrólisis ácida en jarabes glucosados, para la obtención de bioetanol. (Bansal, 2009).

2.6. Materia prima para la obtención de bioetanol

2.6.1. Naranja

El naranjo (*Citrus sinensis*) es un árbol frutal del género *Citrus*, que forma parte de la familia de las *Rutáceas*. Su fruto es la naranja dulce, de forma oval con un tamaño entre 6-9 cm de diámetro, con la corteza poco plegada de color naranja, pulpa sin vesículas oleosas y semillas blancas (Dhelipan, Arunchandee, Sahu, & Kalpana, 2016).

2.6.2. Cáscara de naranja

La fibra es el principal componente de los residuos cítricos y es un material de la pared celular vegetal, en la cual se puede encontrar: hemicelulosa, celulosa,

pectinas y lignina. Las fibras son aquellas constituyentes que dan resistencia y textura a la estructura externa de las frutas. Las pectinas pertenecen al 70% de la fibra general, la fibra sobrante, está en forma de hemicelulosa, celulosa y lignina (Dergal, 2010).

2.6.3. Carbohidratos

Los carbohidratos de la cáscara de naranja representan el 80,8% de su masa seca, distribuidos de la siguiente manera: del 30% al 50% son pectinas de monosacáridos, del 20% al 40% es celulosa y del 10% al 20% es hemicelulosa (USDA, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2016).

2.6.4. Enzimas

Entre las enzimas de la cáscara de naranja se encuentran la acetil esterasa, peroxidasa, fosfatasa y la pectinesterasa (Agriculture, 2017).

2.6.5. Pigmentos

Los pigmentos predominantes en los residuos de cáscara de la naranja son carotenoides, los cuales son anaranjados y representan el 70% del total de carotenoides presentes (USDA, Branded Food Products Database, 2017).

2.6.6. Ácidos

Los ácidos orgánicos presentes en la cáscara de naranja son: el ácido cítrico, tartárico, málico y oxálico; se encuentran presentes en forma de sales y son responsables de su acidez equivalente a un pH de 5 (Agriculture, 2017).

2.6.7. Aceites esenciales

Los aceites esenciales son sustancias olorosas sintetizadas por los tejidos de la cáscara, que contienen clorofila. El compuesto predominante en el aceite de naranja es el limoneno, que es un derivado del isopreno. El limoneno representa alrededor de un 95 %, de los aceites, se emplea como disolvente de resinas, pigmentos, tintas y en la fabricación de adhesivos (Viña, 2013).

2.7. Piña

Científicamente es conocida como *Ananas Comosus*, presenta una gran diversidad y cantidad de vitaminas en el total de su composición, esencialmente del complejo vitamínico B. Las vitaminas más destacadas son: Niacina (B3), Riboflavina (B2) y Piroxidina (B6). Las tres están en una proporción de 0,42 mg, respectivamente por cada 100 g de piña (Monte, Brienza, & Milagres, 2011).

2.7.1. Cáscara de piña

En la cáscara de piña, la fibra corresponde al 2% y el 0.5 % es proteína. La fibra está compuesta de: polisacáridos estructurales, y polisacáridos de reserva, mientras que las proteínas de la cáscara se encuentran en forma de vitaminas y calcio (Milena, 2008).

2.7.2. Carbohidratos

El nivel de hidratos de carbono simples en los residuos de cáscara de piña es del 13,12%, azúcares totales el 9,85% valores referenciales por cada 100 g. La celulosa presente en la cáscara de piña es de alrededor de un 6,9%, la lignina representa un 2,3% (USDA, Branded Food Products Database, 2017).

2.7.3. Enzimas

La enzima que contiene la cáscara de piña es la bromelina, la cual es una enzima proteolítica, es decir, rompe las proteínas dejando libres a las unidades que forman los aminoácidos (USDA, Branded Food Products Database, 2017).

2.7.4. Pigmentos

Los pigmentos presentes en la cáscara de piña son carotenoides, compuestos funcionales que pueden actuar como pigmentos naturales antioxidantes, los cuales poseen una actividad provitamínica A en la que β -caroteno y la β -cripxantina son los más dominantes (Rivera, 2014).

2.7.5. Ácidos

Los principales componentes de acidez en la cáscara de piña son los ácidos málicos y cítricos (USDA, Branded Food Products Database, 2017).

2.7.6. Aceites esenciales

El compuesto predominante en el aceite es el limoneno el cual representa alrededor del 75 % en los residuos de la cáscara de piña (Azarakhsh & Osman, 2014).

En la producción de bioetanol a partir de fuentes lignocelulósicas, para la obtención de azúcares fermentables es necesario un pretratamiento de hidrólisis ácida que rompa la parte cristalina de la celulosa, y que incremente la producción de azúcares fermentables hasta el 90%, en tal forma que el proceso sea económicamente rentable y ambientalmente sustentable (Zhang, 2010).

2.8. Hidrólisis ácida

La hidrólisis ácida de materiales lignocelulósicos, es una de las tecnologías más usadas para la obtención de azúcares reductores, los mismos que posteriormente serán convertidos a bioetanol. Los ácidos empleados a nivel industrial, son el clorhídrico y el sulfúrico en concentraciones del 5% y 30% de su volumen, con temperaturas entre 130°C y 190°C y con largos tiempos de reacción entre 60 y 120 minutos. En algunos casos utilizan ácidos diluidos que oscilan entre el 1% y el 5% del volumen, con temperaturas aproximadas de 240°C y con tiempos de reacción de 30 a 45 minutos (Sánchez, 2010).

El aprovechamiento de la hidrólisis ácida de biomasa lignocelulosa puede resultar como una mejora en la obtención de azúcares fermentables. Los ácidos tales como H_3PO_4 , H_2SO_4 y HCl se han utilizado para el tratamiento de materiales lignocelulósicos. Las condiciones de concentración y temperatura son variables (Boot, 2016).

Entre los ácidos más utilizados para la hidrólisis se encuentran el ácido acético, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, siendo el último ácido el cual presenta grandes ventajas como la degradación de la hemicelulosa, transformación de la lignina y no forma compuestos inhibidores en el proceso de hidrólisis (Perdersen, Meyer, & Vilksø, 2010).

2.9. Fermentación

La fermentación es la fase primordial de todo el proceso de obtención de bioetanol, no solo porque en ella se produce el etanol anhidro, sino porque se origina la masa fundamental de microorganismos, que a través de sus enzimas catalizan las reacciones de hidrólisis, oxidación y reducción. (Daniel Díez Llorente, 2011). Los sustratos orgánicos sobre los que crecen los microorganismos constituyen una fuente de nutrientes y de energía (Ariel Ávila, 2010).

Bajo la acción de estos microorganismos o biocatalizadores, (levaduras o bacterias), la glucosa en condiciones anaeróbicas se transforma en piruvato, quien, por acción de la enzima piruvato decarboxilasa genera acetaldehído, liberando dióxido de carbono, para luego este ser transformado en etanol a partir de iones de hidrógeno y electrones tal como se muestra en la figura 4 (Mosier, 2015).

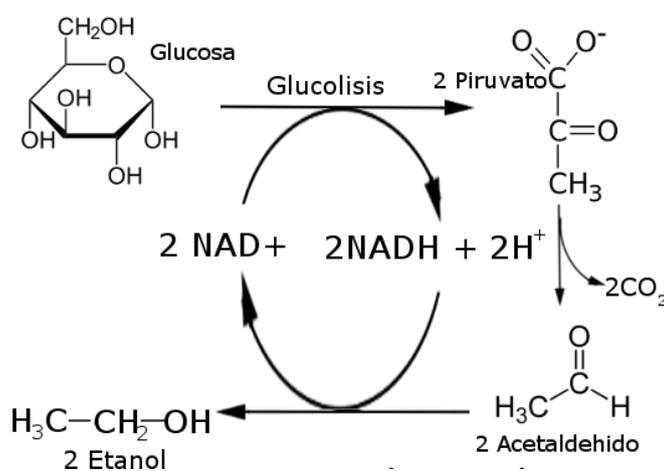


Figura 4. Proceso de la fermentación.

Tomado de (Voet & Voet, 2004)

Son buenos productores de etanol las cepas de: *Saccharomyces cerevisiae* y *Clostridium acetobutylicum*, que presentan altos rendimiento y tienen un amplio uso en la industria de los alcoholes.

2.10. Levadura: *Saccharomyces cerevisiae*

Saccharomyces cerevisiae es el microorganismo más empleado en la producción de bioetanol de importancia industrial. Es un organismo eucariota de fácil manipulación, no es difícil de cultivar, de bajo costo, resistente a altas concentraciones de etanol y a altas cantidades de azúcar, esto es, es osmo resistente, presenta alta viabilidad celular para el reciclaje, floculación y sedimentación; cualidades útiles para el procesamiento posterior (Fajardo,

Erika, Sarmiento, & Sandra, 2008) (Leal Granadillo, Tarantino Rodríguez, & Hernández Motzezak, 2014).

2.11. Destilación

La destilación es un método comúnmente usado para purificar líquidos cuyos puntos de ebullición son cercanos. A medida que se alcanzan las temperaturas específicas, los componentes de una mezcla se van separando en forma de vapor y posteriormente son condensados para su aprovechamiento (Zhu & Lu, 2013) (Sarathy, 2016). Se distinguen tres tipos de destilación; simple, fraccionada y al vacío.

a) Destilación simple

En la destilación simple, la mezcla líquida se calienta y el vapor se eleva a través de un tubo, donde se condensa por cambio de la temperatura. El líquido recondensado posee una concentración más alta del componente volátil que la mezcla original. Si los dos líquidos en la mezcla original tienen puntos de ebullición muy diferentes, el proceso de evaporación y recondensación, es suficiente para obtener su separación en un solo paso (Hedden, 2015).

b) Destilación Fraccionada

La destilación fraccionada es similar a la destilación simple, excepto en que el mismo proceso se repite en varios ciclos sucesivos. Cada ciclo produce una mezcla más rica del compuesto más volátil, que la mezcla anterior. La destilación fraccionada es necesaria cuando los puntos de ebullición de los líquidos sujetos a separación son muy cercanos, por lo tanto; la destilación simple no es suficiente para purificar cualquiera de los compuestos (Hedden, 2015).

c) Destilación al vacío

La destilación al vacío ofrece otra alternativa, ya que el punto de ebullición de un líquido disminuye cuando se reduce la presión. El punto de ebullición del agua, por ejemplo, es menor a gran altitud que al nivel del mar. Mediante la reducción de la presión en el recipiente, el punto de ebullición del líquido tratado, puede reducirse y por lo tanto ser destilada a una temperatura más baja (Hedden, 2015).

3. CAPÍTULO III Metodología

3.1. Materiales y Métodos

Una vez receptada la materia prima, se llevó a cabo el procedimiento para la obtención de bioetanol a nivel de laboratorio. En el diagrama mostrado en la figura 5 se presenta el proceso desde la entrada de materia prima hasta la obtención de alcohol.

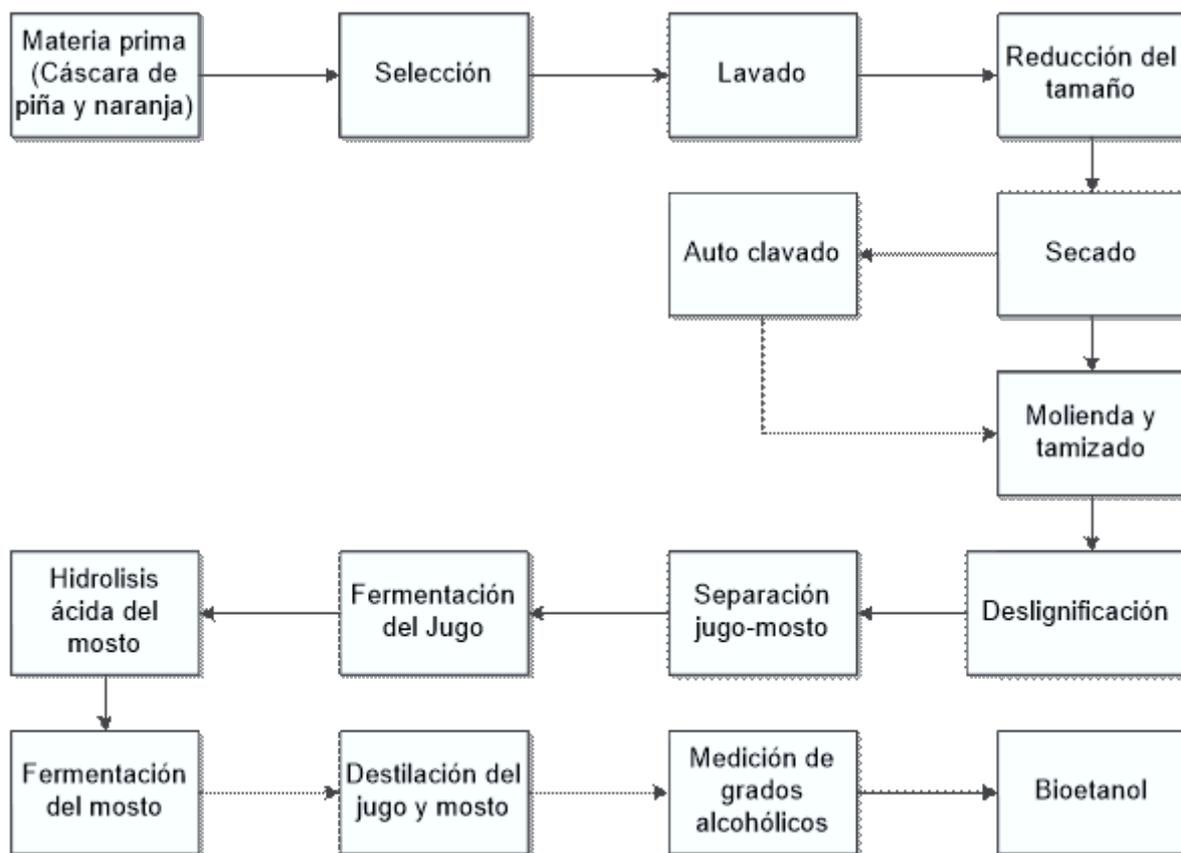


Figura 5. Proceso de obtención de bioetanol.

3.1.1. Recepción de materia prima

El desarrollo de este proyecto, se realizó en los laboratorios de Ingeniería Ambiental en la Universidad de Las Américas, que cuenta con los equipos para la fermentación y destilación de las materias primas.

La materia prima de cáscara de naranja y piña fue provista por la empresa “Alimentos del Huerto S.A. HUERTOSA” ubicada en las Calles de los Arupos y Avenida Eloy Alfaro, Quito-Ecuador. La empresa se dedica al procesamiento de frutas para la elaboración y distribución de pulpas congeladas. “HUERTOSA”, no cuenta con un gestor ambiental especializado, para sus residuos, ni ellos realizan procesos de tratamiento para la obtención de subproductos como: compost o elaboración de té, por esta razón “HUERTOSA” entrega sus residuos a la Empresa Pública Metropolitana de Aseo (EMASEO), quién dispone estos residuos en el relleno sanitario de Quito. Las cantidades de

residuos que la empresa genera anualmente son: 24 toneladas de cáscara de naranja y limón, 10 toneladas de cáscara de piña y 24 toneladas de cáscara de toronja.

La cantidad prevista para las pruebas fue de 18 kg de cáscara de naranja y 18 kg de cáscara de piña.

3.1.2. Selección de materia prima

La materia prima seleccionada fue analizada detalladamente para cerciorarse de su homogeneidad, su pureza, tamaño y ausencia de material en estado de putrefacción que pudieren afectar a los resultados de las pruebas experimentales.

3.1.3. Determinación del tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra se definió en función de la disponibilidad de reactivos necesarios para la hidrólisis ácida; de la capacidad de los fermentadores del sistema de destilación y del volumen necesario de etanol para las pruebas de eficiencia como biocombustible. En base a estos criterios, se definió el empleo de 18 kg de materia prima de cada fuente. Las muestras fueron tomadas 24 horas después del proceso de producción de pulpas, en conformidad con la cadena de custodia de las muestras, como se puede ver en el anexo 1.

3.1.4. Reducción del tamaño de materia prima

Para la reducción del tamaño de la materia prima se necesitó una molienda por medio de un procesador de alimentos denominado despulpadora Molinex de 6 cuchillas. La fragmentación de la materia prima se realizó durante 30 a 45 segundos, con ello se puede incrementar el área superficial para la extracción de azúcares fermentables (**Graíela, 2009**). Según Cristancho, 2005, para la

hidrólisis ácida, el tamaño de partícula es determinante por lo que recomienda un tamaño medio de 0,5 cm a 2 cm.

3.1.5. Proceso de secado y de esterilizado en un autoclave.

Las pruebas experimentales se ejecutaron con material seco (de naranja y piña) esterilizado y sin esterilizar. Estas operaciones unitarias se efectuaron de la siguiente manera:

- El material no esterilizado se sometió a un secado en la estufa marca Witeg WiseVen WOF del laboratorio, a 70°C por 36 horas con el fin de aumentar los sólidos solubles en la materia prima y disminuir los sólidos insolubles por medios físicos, tal como señala (Devlin, 2010).

Al finalizar el proceso de secado, se determinó la humedad perdida mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{A*100}{B} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Dónde:

A: Es el peso en gramos perdido por el calentamiento.

B: Peso en gramos de la muestra.

- El esterilizado de la materia prima se realizó en un autoclave marca BIOBASE BKQ-B75II 75L Automatic LED Digital Display Vertical Pressure Steam Sterilizer del laboratorio LQ11 de la Universidad de Las Américas. Los materiales se sometieron a una temperatura de 120°C, bajo 1,020 Atm (15 psi), durante 90 minutos, condiciones ideales para la liberación de azúcares fermentables (Sánchez, 2010).

3.1.6. Determinación de la pureza de lejía al 98% en relación al Hidróxido de Sodio.

Para la eliminación de la lignina se usa un catalizador básico, el más comúnmente empleado, es el hidróxido de sodio (Nenkova, 2008), pero debido a las limitaciones de la Secretaría Técnica de Drogas, su adquisición no fue factible, razón por la cual se recurrió al empleo de un producto alternativo como lejía, de amplio uso comercial; cuyo componente principal es el hidróxido de sodio al 98%, tal como se muestra en la ficha técnica de seguridad en el anexo 2.

Para saber la pureza real del hidróxido de sodio comercial (lejía) se efectuó la titulación correspondiente con HNO_3 al 0,1 N empleando como indicador la fenolftaleína, mediante la siguiente ecuación:

$$V_1 N_1 = V_2 N_2$$

(Ecuación 2)

$$N_2 = \frac{N_1 * V_1}{V_2}$$

A partir de este resultado, se preparó una solución 0,1 N de NaOH (lejía) que fue utilizada para la deslignificación de toda la materia prima.

3.1.7. Deslignificación

Después del secado de las muestras de naranja y piña, se procedió a realizar una molienda utilizando la licuadora Oster cromada 3V 465-5 del laboratorio de la Universidad de Las Américas, con el fin de obtener un tamaño de partícula entre 6 mm y 9 mm, para favorecer el contacto de la biomasa con el hidróxido de sodio y facilitar la deslignificación (Méjia, 2007).

Debido a la alta presencia de lignina en las paredes celulares de los tejidos vegetales, es necesario aplicar tratamientos químicos o enzimáticos para la degradación de la misma (Pantoja Matta, Inguilán, & Muñoz, 2015).

Una vez obtenido el peso seco final de todas las muestras, se dio lugar a la eliminación de la lignina, aplicando un tratamiento químico con una solución de NaOH (lejía) al 0,1 N según lo reporta la metodología de (Hoyos & Pérez, 2005) en el cual el material biológico a deslignificar se sumerge en la solución.

3.1.7.1. Aplicación de la solución de NaOH en las muestras para deslignificación.

De acuerdo al método descrito por Hoyos & Pérez, 2005, la muestra se sumerge en una solución de 300 mL de hidróxido de sodio 0,1 N, con el fin de romper los enlaces existentes de lignina y generar una mayor cantidad de azúcares disponibles para facilitar el proceso fermentativo, dejando en reposo los tratamientos no esterilizados durante un tiempo de 24 horas y los tratamientos esterilizados en un tiempo de reacción de 48 horas. Transcurrido este proceso, se realizó la separación de sólidos y líquidos. El líquido obtenido fue sometido a su correspondiente fermentación, mientras que los sólidos fueron transferidos al proceso de hidrólisis ácida.

3.1.8. Hidrólisis Ácida

La hidrólisis ácida se produjo adicionando 50 mL de ácido sulfúrico al 5% por cada 100 g de materia prima según lo reporta Sun & Cheng, 2002. Parámetros de importancia en la obtención de bioetanol, son la medición de los grados brix de las materias primas y el pH; este último es determinante para la actividad de las levaduras empleadas en la fermentación.

3.1.9. Medición de Grados °Brix y pH

✓ Grados Brix

Después de que se obtuvo la deslignificación de todas las muestras de cáscara de piña y naranja, se procedió a medir los °Brix. Con el refractómetro portátil del laboratorio marca Digital Refractometer NR101 (Brix and Refractive Index) y NR-101 (Brix, Refractive Index and Salinity). La medición de grados brix se realiza para determinar los azúcares totales presentes en el líquido obtenido del procesamiento de las materias primas experimentales.

✓ pH

El pH también fue analizado con las tirillas de pH del laboratorio. El pH de todas las muestras se debió mantener entre 5,5 a 6 ya que es el valor, bajo el cual la levadura crece y se desarrolla en condiciones óptimas (Ruiz & Arias, 1997).

3.1.10. Armado de celdas fermentativas

Las celdas de fermentación se armaron a nivel de laboratorio usando materiales accesibles tales como botellas de vidrio de 1 litro (12), botes de 3,47 litros (12) y botellones de agua de 15 litros (6). Se utilizaron 28 mangueras de 0,5 cm de diámetro que se colocaron en cada una de las celdas con el fin de obtener una fermentación exitosa, como se ve en la figura 28 del anexo 4.

3.1.11. Fermentación de las muestras

Para la fermentación, es necesario asegurar las condiciones anaeróbicas ya que las condiciones de aireación producen un efecto inhibitorio sobre el consumo de sustrato y el crecimiento microbiano. (Pandye, Soccol, & Dussap, 2088). La levadura que se usó en el proceso fermentativo fue la cepa comercial de *Saccharomyces cerevisiae*. Se emplearon 1,5 g de levadura por cada 400 mL de jugo (Maserà & Coralli, 2010).

3.1.12. Destilación de las muestras

La destilación de las 28 muestras, para la obtención de bioetanol se realizó en el laboratorio de química de la Universidad de las Américas, el equipo usado fue un destilador automático tipo Kjeldahl 2127602. Debido a los bajos valores de los grados alcohólicos de las muestras, se efectuó un proceso de tridestilación, con el propósito de aumentar el grado alcohólico y obtener un etanol anhidro grado carburante para mezclas con gasolina.

3.1.13. Pruebas de octanaje

Para las pruebas de octanaje, se escogieran dos muestras, una muestra de residuos de naranja y otra de piña. Las muestras escogidas de etanol anhidro fueron las que poseían un grado alcohólico entre un 65% a 78%, en comparación con las demás muestras que tenían un grado alcohólico inferior al 60%. Para las pruebas de octanaje, el bioetanol obtenido de los dos tipos de residuos, se mezcló en una proporción de 10% de etanol anhidro y 90% de gasolina extra según (INEN, Etanol Anhidro. Requisitos 2487, 2009). La gasolina que se escogió para este trabajo fue extra, ya que la misma contiene bajo octanaje en relación a la gasolina súper (INEN, NTE INEN 935 Enmienda 2, 2015). Las pruebas de octanaje se realizaron en la Escuela Politécnica Nacional en el Laboratorio de Petróleos con el equipo Octanómetro 4331.

3.1.14. Balance de masa

Se realizó el balance de masa para la obtención de bioetanol, definiendo el sistema para dicho balance, identificando las entradas y salidas de los procesos y las pérdidas durante cada etapa de la obtención de bioetanol. En las figuras 6 y 7 se encuentran el balance de masa de la cáscara de piña y de la cáscara de naranja.

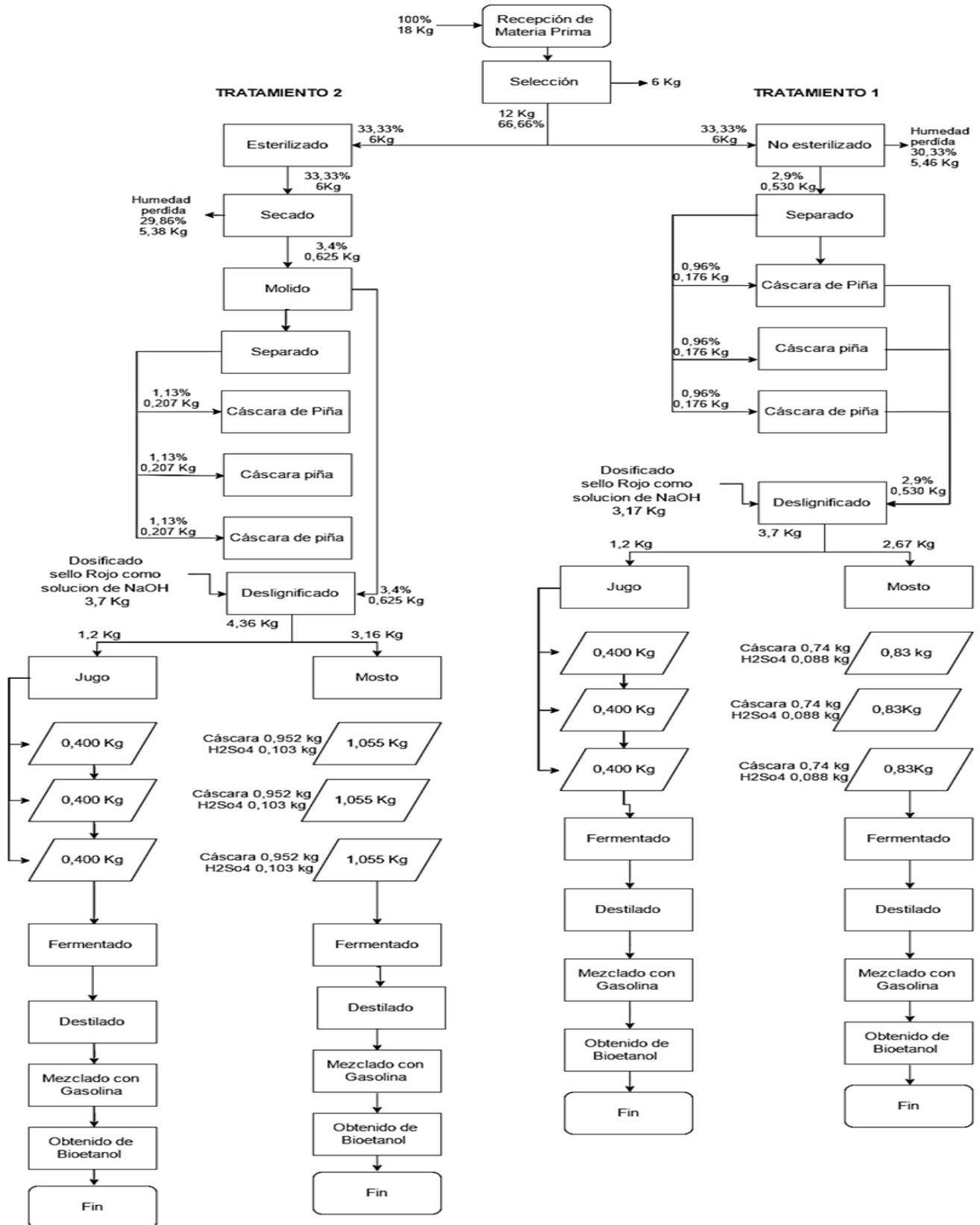


Figura 6. Balance de masa de la cáscara de piña.

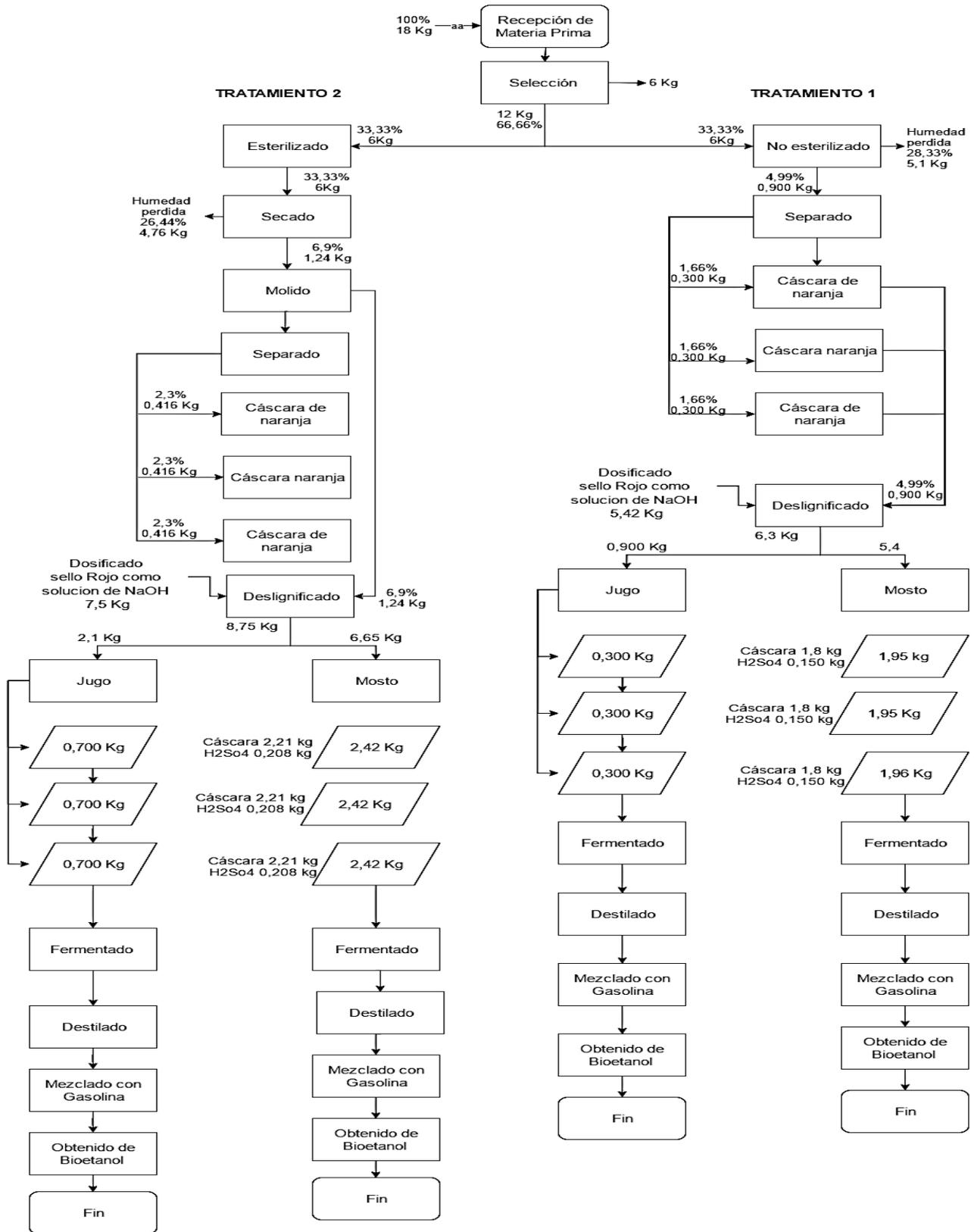


Figura 7. Balance de masa de la cáscara de naranja.

3.1.15. Diseño experimental

El diseño experimental es una técnica estadística, la cual permite equilibrar todas las posibles causas y los efectos de una investigación experimental, mediante la manipulación de variables de entrada en un proceso, con el fin de investigar los efectos sucedidos en las variables de respuestas.

Para el diseño experimental se utilizó un diseño factorial completamente aleatorio 2^3 . Se construyeron 28 celdas para la evaluación de la fermentación controlada, se implementaron dos tratamientos para cada materia prima, esterilizado y sin esterilizar, para el jugo y para el mosto, con tres réplicas cada una y dos testigos generales.

En este diseño factorial 2^3 , se analizaron factores como: Esterilizado que elimina la microflora natural de los residuos, dejando la fermentación solo a la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Sin esterilizar para ver si la microflora natural de los residuos influyen sobre la calidad y rendimiento de la fermentación.

El análisis estadístico de datos fue realizado con la ayuda del programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), y para los resultados obtenidos se les aplicó un análisis de varianza ANOVA con una comparación de medias mediante la prueba de confianza de Tukey.

Tabla 3.

Protocolo experimental para la obtención de bioetanol.

Tratamientos	Materia Prima	Fermentación
T 0	Micro flora natural del material	Basada en que los microorganismos autóctonos de la materia prima se fermenten y generen alcohol.
T 1	No esterilizado del material	La fermentación depende de factores como la adición de la levadura y los microorganismos autóctonos de las cáscaras.
T 2	Esterilizado del material	La fermentación depende de un solo factor que es la adición de la levadura en el proceso.

En las figuras 8 y 9 se muestra el diseño experimental de todos los tratamientos con sus réplicas respectivas.

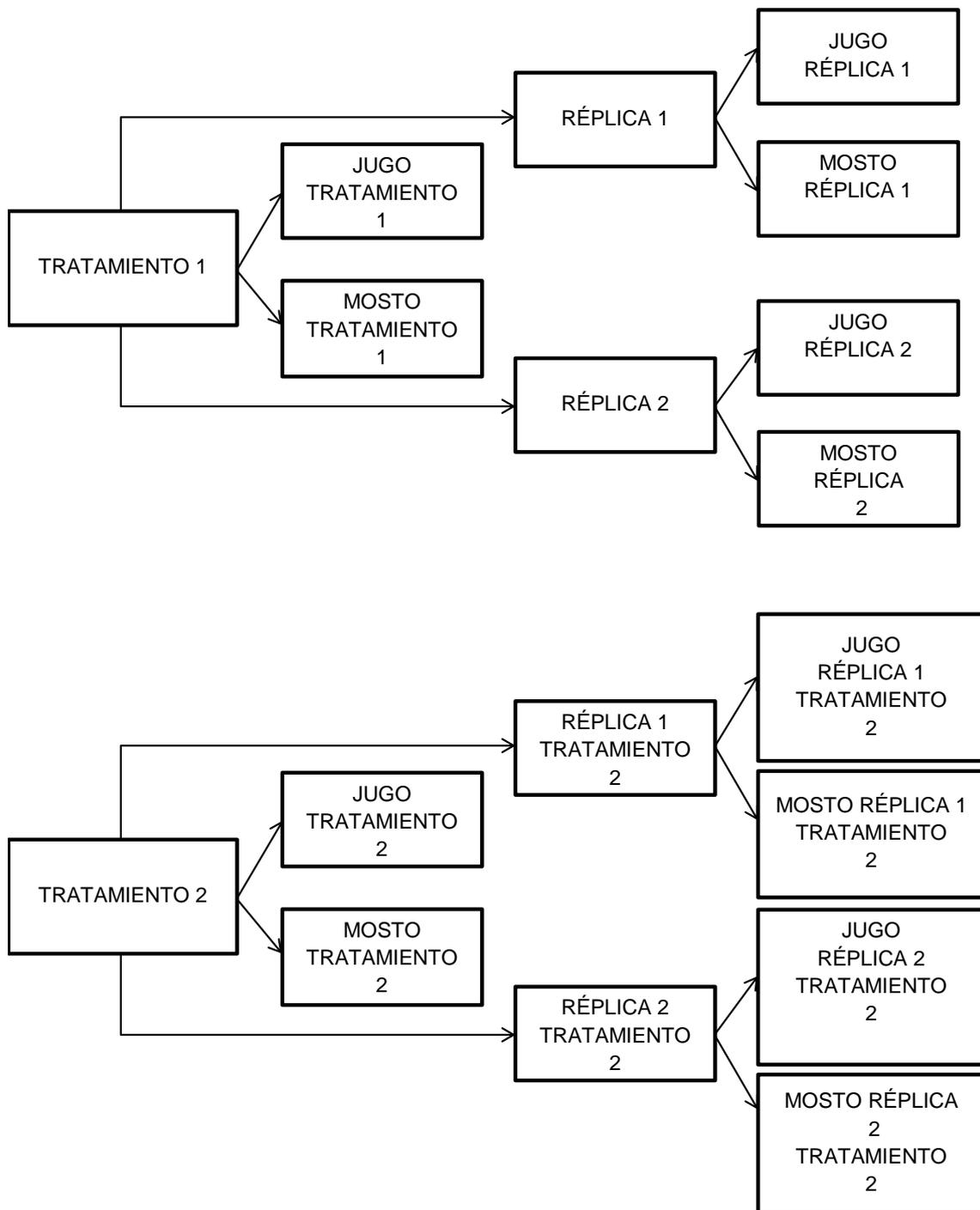


Figura 8. Diseño experimental de la cáscara de piña.

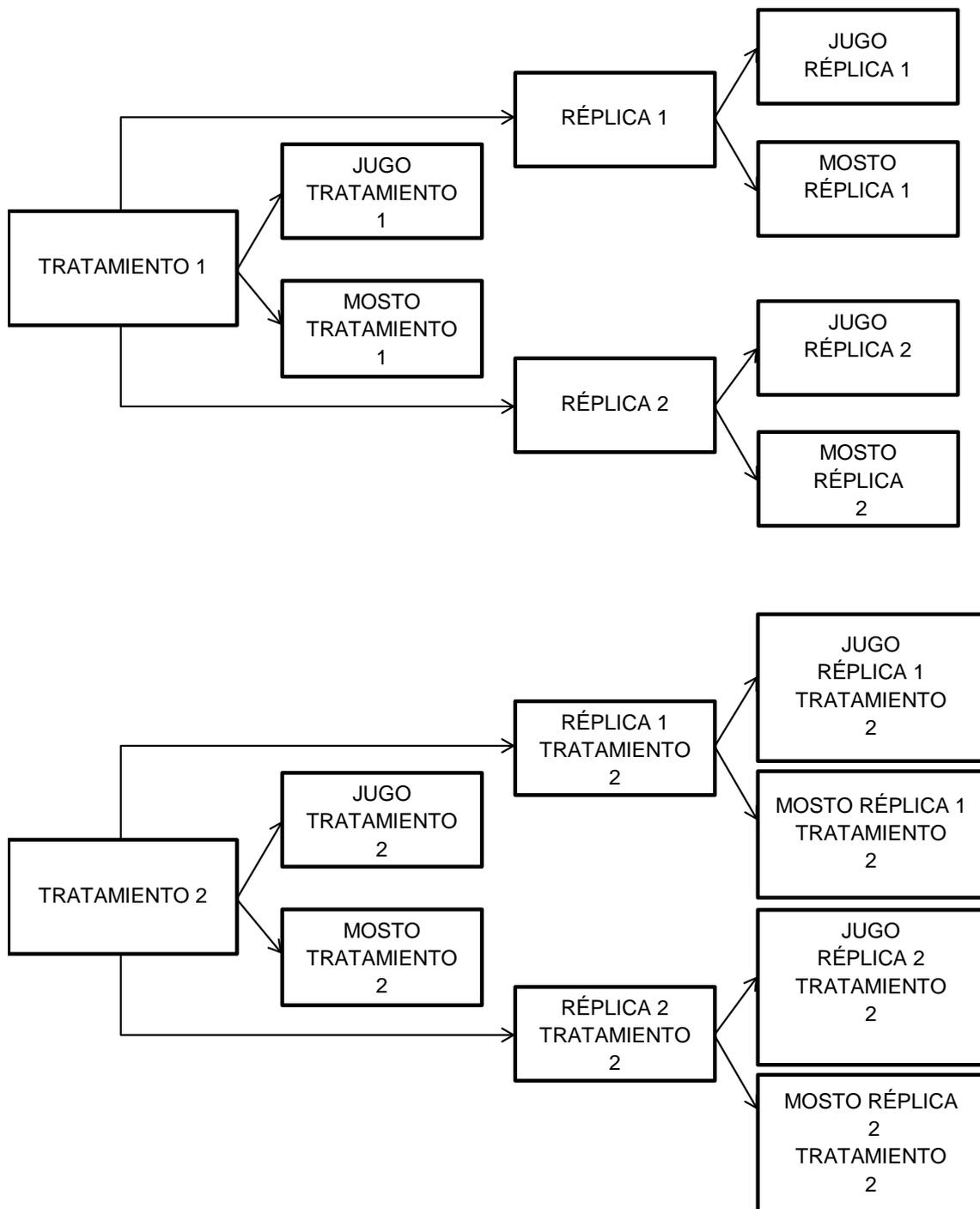


Figura 9. Diseño experimental de la cáscara de naranja.

4. CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de resultados

4.1.1. Requisitos de materia prima

Los requisitos de calidad de la materia prima fueron controlados estrictamente. Se comprobó la ausencia de deterioro, putrefacción y golpes en las mismas con el fin de evitar alteraciones en los resultados de las pruebas. La cantidad de materia prima en buen estado, tanto de cáscara de piña como de naranja se encuentra adjuntada en la tabla 4.

Tabla 4.

Cantidad de la materia prima de cáscara de naranja y piña.

Materia Prima	Tratamientos	Materia Prima
Cáscara de Piña	1	6 kg
	2	6 kg
Cáscara de Naranja	1	6 kg
	2	6 kg

4.1.2. Tamaño de la materia prima

La reducción del tamaño de las partículas de la materia prima es primordial para incrementar la superficie de contacto, que incide sobre el aumento del rendimiento de la hidrólisis ácida (Delgenes, Penaud, & Moletta, Pretreatments for the enhancement of anaerobic digestion of solid wastes, 2011). El tamaño establecido para las pruebas experimentales fue de 0,5 cm a 1,5 cm para toda la materia prima.

4.1.3. Secado y esterilizado de las muestras

En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos del peso de la materia prima antes y después del secado, esterilizado para cada muestra probada.

Tabla 5.*Peso inicial y final de las muestras de materia prima.*

Muestra	Réplicas	Peso inicial kg	Peso final kg
Cáscara de piña T1	1	2	0,176
	2	2	0,176
	3	2	0,176
Cáscara de piña T2	1	2	0,207
	2	2	0,207
	3	2	0,207
Cáscara de naranja T1	1	2	0,300
	2	2	0,300
	3	2	0,300
Cáscara de naranja T2	1	2	0,416
	2	2	0,416
	3	2	0,416

4.1.4. Determinación del porcentaje de humedad

Las humedades iniciales de las cáscaras de naranja y piña presentan un valor alrededor de 90,3% para piña y 81,8% para naranja, valores cercanos a los determinados por otros autores (Tejeda, y otros, 2010). Según otros autores, los porcentajes de humedad presentes en las cáscaras de naranja y piña varían desde un 78% a un 92% de humedad. (Montesalve, Medina, & Ruiz, 2012). En la tabla 6 se indican los resultados de la humedad perdida en la muestras de materia prima de cáscara de piña que varían en un porcentaje de 90,5% para los dos tratamientos y para la cáscara de naranja el porcentaje que varía es de 82,1% para los dos tratamientos.

Tabla 6.*% Humedad perdida en las muestras de materia prima.*

Muestra	Réplicas	% Humedad
Cáscara de piña T1	1	91.20
	2	
	3	
Cáscara de piña T2	1	89,65
	2	
	3	
Cáscara de naranja T1	1	85
	2	
	3	
Cáscara de naranja T2	1	79,20
	2	
	3	

4.1.5. Extracción de lignina en la materia prima

Luego de las pruebas de deslignificación ejecutadas en conformidad con la metodología descrita en el capítulo 3 en la sección 3.1.7.1. Aplicación de la solución de NaOH en las muestras para deslignificación, se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la tabla 7. Se calculó la pureza del hidróxido de sodio en la lejía que fue de 0,54 kg en 1 litro de solución el cual es el valor promedio para todos los tratamientos esterilizados y no esterilizados.

Como se muestra en la tabla 7 el porcentaje utilizado de NaOH (lejía) varió según el peso de cada muestra.

Tabla 7.

Tasa de consumo de hidróxido de sodio con respecto al peso seco de las muestras.

Muestra	Peso final kg	NaOH (lejía) kg	Solución ml
Cáscara de piña T1	0,176	0,577	1,056
Cáscara de piña T2	0,207	0,678	1,24
Cáscara de naranja T1	0,300	0,984	1,80
Cáscara de naranja T2	0,416	0,136	2,49

La mayor parte de los estudios relacionados con la extracción de lignina presente en diferentes fuentes biológicas utilizan ácido fórmico o ácido acético con el objetivo principal de degradar las moléculas de lignina disolviéndolas en la solución. (Watkins, Nuruddin, Hosur, Tcherbi-Narteh, & Jeelani, 2014).

Otros estudios demuestran que los compuestos que contienen benceno son absorbentes de biomasa lignocelulósica, ya que constituyen los principales componentes de la lignina y se logra obtener mayor cantidad de azúcares fermentables (Nuruddin, Chowdhury, Haque, & Farhad, 2011).

En este estudio se utilizó como deslignificador, el hidróxido de sodio (lejía), este material; presenta mayor uso debido a su bajo costo y mayor accesibilidad (López, Cárdenas, & Zambrano, 2013).

Para la eliminación de la lignina y la generación de azúcares fermentables, es necesario considerar el tiempo de acción del hidróxido de sodio, por cuanto las muestras no esterilizadas que estuvieron sumergidas en esta solución durante 24 horas produjeron 4,2 a 4,5 °Brix para las cáscaras de piña y para las cáscaras de naranja los °Brix presentaron un valor de 6,6. En comparación a las muestras del material esterilizado, el tiempo de reacción fue de 48 horas obteniendo resultados de °Brix desde 7,6 hasta 8,8 en las muestras de piña y para las muestras de naranja los °Brix estuvieron entre 8,3 y 9,5. Los resultados se indican en la figura 10. Los tiempos de acción empleados por otros autores para materias primas como cáscara de banano, fueron de 15 minutos, logrando valores de 6,7 a 9,9 °Brix (Hoyos & Pérez, 2005). Otros estudios obtuvieron valores de azúcares reductores alrededor de 6,4 a 14 °Brix presentes en residuos de cítricos y los tiempos empleados de reacción fueron de 25 minutos (Díaz, Mussag, Pozo, Hernández, & Bermúdez, 2015).

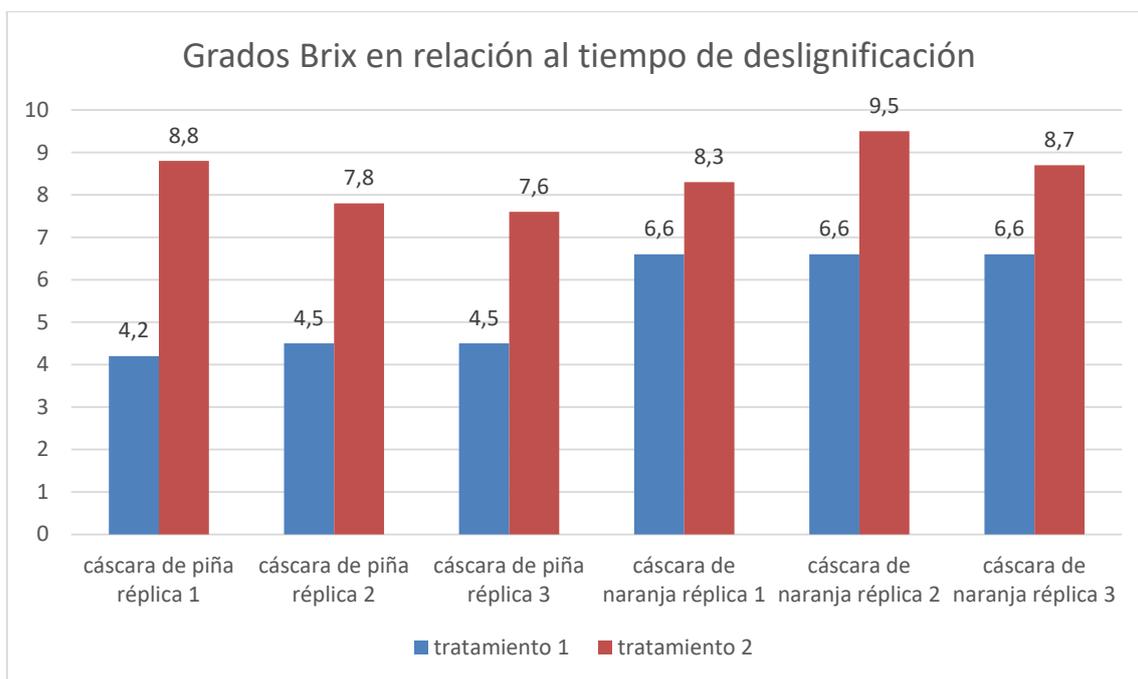


Figura 10. Tiempo de deslignificación en relación a la asimilación de °Brix.

4.1.6. Eficiencia de la hidrólisis ácida en las muestras

Luego de haber eliminado completamente la lignina, se realizó la hidrólisis ácida del mosto de todos los tratamientos para eliminar los polímeros aromáticos que afectan a la fermentación (Chakiath, Lyons, Kozak, & Laufer, 2010). En las tablas 8 y 9 se pueden observar las condiciones empleadas para la hidrólisis de los mostos de las muestras de las materias primas.

Tabla 8.

Condiciones de hidrólisis ácida aplicadas en el mosto de piña.

Muestra	Réplicas	Ácido Sulfúrico (mL)	Tiempo (minutos)	Temperatura °C
Cáscara de piña T1	1	88	30	130
	2	88	30	130
	3	88	30	130
Cáscara de piña T2	1	103,5	45	130
	2	103,5	45	130
	3	103,5	45	130

Tabla 9.

Condiciones de hidrólisis ácida aplicadas en el mosto de naranja.

Muestra	Réplicas	Ácido Sulfúrico (mL)	Tiempo (minutos)	Temperatura °C
Cáscara de naranja T1	1	150	30	130
	2	150	30	130
	3	150	30	130
Cáscara de naranja T2	1	208	45	130
	2	208	45	130
	3	208	45	130

En la hidrólisis ácida del presente estudio se empleó ácido sulfúrico al 5%. La dosificación del ácido se seleccionó en base a la metodología descrita por Tejeda, y otros, 2010 se indican en las tablas 9 y 10.

Se observó una tendencia creciente en la obtención de azúcares fermentables, al realizar la hidrólisis con ácido sulfúrico al 5% en comparación con los jugos obtenidos de todas las muestras como se muestra en la figura 11.

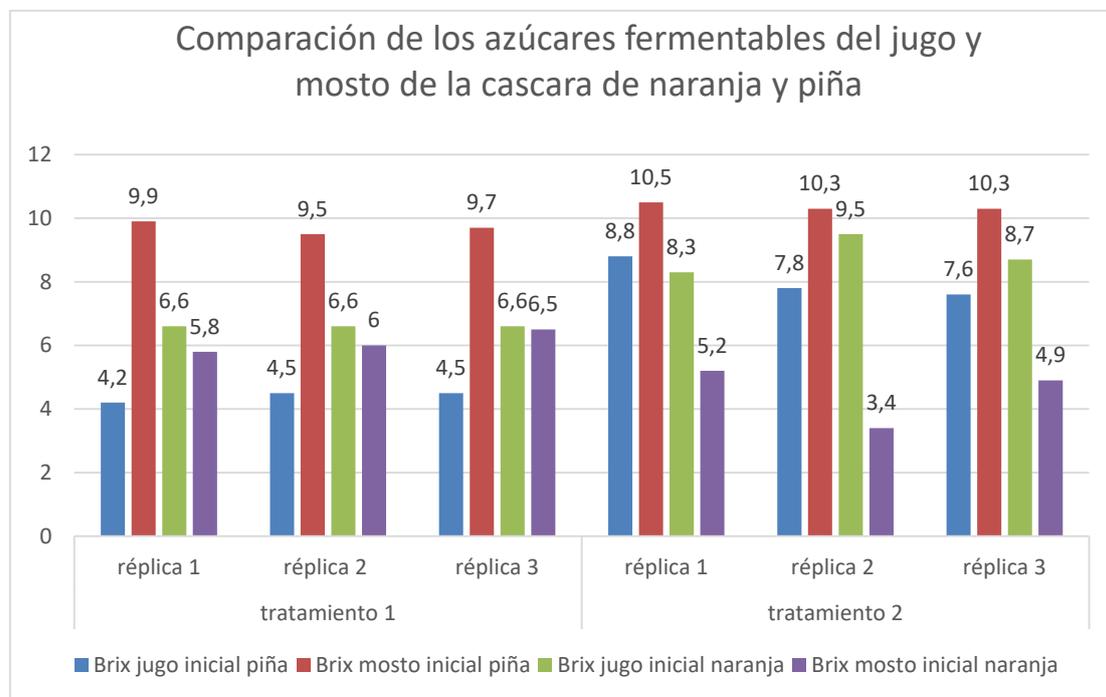


Figura 11. Comparación de azúcares fermentables entre los tratamientos.

La hidrólisis ácida realizada a una temperatura de 130 °C durante 45 minutos, permitió incrementar el contenido de °Brix o azúcares fermentables del mosto de las cáscaras de piña y naranja. Los resultados obtenidos fueron de 4,2 a 9,9 en la piña para el tratamiento 1, para el tratamiento 2 los valores fueron de 8,8°Brix a 10,5°Brix, correspondiente a la naranja los valores que se obtuvieron fueron, para el tratamiento 1 de 6,6 °Brix a 8,7°Brix y en el tratamiento 2 los grados de obtención de azúcares fermentables fueron de 8,3°Brix a 12°Brix.

Según otros trabajos, la hidrólisis ácida realizada con ácido sulfúrico a temperatura de 50°C durante 60 minutos, logró incrementar los grados Brix a 10 (Sarrouh, Jover, & Gonzalez, 2015). Razón por la que la acción de la hidrólisis ácida para el aumento de azúcares fermentables o grados Brix es relativamente eficiente y ayudaría a una mejor obtención de grados alcohólicos.

Similares comportamientos de hidrólisis ácida se han conseguido en la cascarilla de arroz que durante 25 minutos a temperatura de 190°C los grados Brix presentes son de 12 (Castro, Velasco, Proaños, Cortes, & Ballesteros, 2011).

4.1.7. Cuantificación de azúcares fermentables

La concentración de azúcares fermentables que se obtuvo inicialmente, manifiesta un valor bajo en el tratamiento 1 (no esterilizado) del jugo de piña en donde las muestras presentan un valor de 4,2 a 4,5 en comparación de las muestras del tratamiento 2 (esterilizado), que presentan un valor alto entre 7,6 y 8,8 °Brix. Los detalles se observan en la tabla 10.

Tabla 10.

Determinación de azúcares fermentables del jugo de piña.

Muestra	Réplicas	°Brix Iniciales
Cáscara de piña T1	1	4,2
	2	4,5
	3	4,5
Cáscara de piña T2	1	8,8
	2	7,8
	3	7,6

En relación a las muestras de naranja, para la cuantificación de azúcares fermentables iniciales en el jugo de cáscara de naranja, los valores no difieren tanto en los dos tratamientos, los mismos que van desde 6,6 hasta 7,4 para el tratamiento 1 y para el tratamiento 2 los valores son desde 8,3 a 9,5. Los resultados se pueden observar en la tabla 11.

Tabla 11.*Determinación de azúcares fermentables del jugo de naranja.*

Muestra	Réplicas	°Brix Iniciales
Cáscara de naranja T1	1	6.6
	2	7.4
	3	6.7
Cáscara de naranja T2	1	8.3
	2	9.5
	3	8.7

En cuanto a la determinación de azúcares fermentables del mosto de piña en el tratamiento 1 y tratamiento 2 presentan valores relativamente altos, en comparación a las muestras de jugo de cáscara. Esto se debe a que, las muestras de mosto fueron sometidas a hidrólisis ácida. Las mediciones generaron los resultados que se pueden observar en la tabla 12.

Tabla 12.*Determinación de azúcares fermentables del mosto de piña.*

Muestra	Réplicas	°Brix Iniciales
Cáscara de piña T1	1	6,9
	2	5,5
	3	6,7
Cáscara de piña T2	1	9,5
	2	9,3
	3	9,3

En lo que respecta a las muestras de mosto de cáscara de naranja en la medición de °Brix se obtuvieron valores de 8,3 a 8,7 en los tratamientos 1 y 2 los valores fueron de 10,8 a 11,3. Los mismos valores que al ser sometidos a hidrólisis ácida aumenta el contenido de azúcares fermentables generando una diferencia entre los tratamientos de jugo de cáscara de naranja. Los siguientes resultados de medición se muestran en la tabla 13.

Tabla 13.

Determinación de azúcares fermentables del mosto de naranja.

Muestra	Réplicas	°Brix Iniciales
Cáscara de naranja T1	1	8,8
	2	8,3
	3	8,7
Cáscara de naranja T2	1	11,3
	2	10,8
	3	10,9

Al comparar los resultados obtenidos en esta investigación, con los registrados por otros autores a partir de residuos de poda, donde se obtuvieron valores de °Brix iniciales de 9,4 en residuos de tallos, de 8.9 en residuos de hojas y en residuos de flores de 8,2; se observa que los resultados de este trabajo, son relativamente buenos y propios para este tipo de materias primas (Tejeda, Quintana, Pérez, & Young, 2011).

En comparación con estos resultados, al emplear otras materias primas alimenticias como el sorgo blanco y colorado, la hidrólisis ácida produce valores de 16 °Brix para sorgo blanco y 20 °Brix para sorgo colorado (Barletta, Sánchez, & Valazza, 2014).

Según Montañez, Victoria, Flores, & Vivar, 2011, la concentración de azúcares fermentables presentes en las hojas de *Agave tequilama Weber Azul* a las 24 horas de ser hidrolizadas, es de 11 °Brix mientras que a las 72 horas, la medición de grados Brix fue de 15.

4.1.8. Fermentación de las muestras y medición de grados Brix

De acuerdo a la metodología descrita se utilizaron 1,5 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por cada 400 ml de jugo y mosto.

La concentración de los azúcares finales del jugo y del mosto, se determinó finalizada la fermentación por medio de la medición de los grados Brix, analizándolos semanalmente como se muestran en las tablas 14 y 15.

Tabla 14.

Variación de los grados Brix durante la fermentación por semana, en el jugo y mosto de piña.

Muestras de Jugo					
Muestra	Réplicas	°Brix Iniciales	Semana 2	Semana 3	°Brix Finales
Cáscara de piña T1	1	4,2	4	3,7	3,5
	2	4,5	4,2	3,9	3,9
	3	4,5	4,1	3,9	3,9
Cáscara de piña T2	1	8,8	7,1	5,3	4,4
	2	7,8	7,6	7,4	7,3
	3	7,6	6,6	5,6	5,3
Muestras de Mosto					
Muestra	Réplicas	°Brix Iniciales	Semana 2	Semana 3	°Brix Finales
Cáscara de piña T1	1	9,9	7,3	4,2	2
	2	9,5	7,5	3,9	2,2
	3	9,7	7,6	4,1	2,4
Cáscara de piña T2	1	10,5	7,7	5,1	2,5
	2	10,3	6,8	4,7	2,7
	3	10,3	7,2	4,6	2,8

Como se observa en la tabla 14, los grados Brix del tratamiento 1 difieren del tratamiento 2, pertenecientes al jugo de cáscara de piña, que corresponde a la materia prima no esterilizada. El tratamiento 2 al ser esterilizado elimina la microflora de la materia prima, permitiendo interactuar la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Las condiciones de pH, de azúcar y de temperatura para que la levadura actué fueron relativamente óptimas Roquel, Jimenez, & Castro, 2013, la variación de los grados Brix en el mosto de piña, tanto el tratamiento 1 como el tratamiento 2 presenta valores iniciales desde 9,5 hasta 10,5 °Brix, y para los datos finales medidos los °Brix van desde 2 hasta 2,8 los mismos que reflejan una diferencia significativa del tratamiento.

El mosto debido a la acción de la hidrólisis ácida, obtuvo una mayor presencia de azúcares fermentables, los mismos que fueron convertidos de manera directa a alcohol por el ácido catalizador (Muthineni, y otros, 2015). los grados Brix iniciales del jugo van desde 4,2 hasta a 8 °Brix. Los tratamientos que

proviene del jugo de cáscara de piña no fueron hidrolizados, razón por la cual la presencia de azúcares finales son altos en comparación a las del mosto de piña, que tienen valores de 3,5 a 7,3.

Tras analizar otros resultados obtenidos de biomasa como la paja de cebada, el rendimiento de azúcares fermentables varían desde 4,7 a 8,6 °Brix (Morales, 2015). Viendo los resultados de esta investigación, se puede llegar a obtener mayor cantidad de azúcares fermentables en la biomasa mediante la acción de la hidrólisis ácida, utilizando como catalizadores los ácidos como clorhídrico y sulfúrico, con el fin de evitar la pérdida de los hidratos de carbono o subproductos como el pH y oxígeno que puedan impedir en la etapa de fermentación (Serrano & Dumesic, 2011).

Tabla 15.

Variación de los grados Brix durante la fermentación por semana, en el jugo y mosto de naranja.

Muestras de Jugo					
Muestra	Réplicas	°Brix Iniciales	Semana 2	Semana 3	°Brix Finales
Cáscara de naranja T1	1	6,6	6,4	6,1	5,8
	2	6,6	6,9	6,4	6
	3	6,6	6,6	6,5	6,5
Cáscara de naranja T2	1	8,3	6,7	5,8	5,2
	2	9,5	7,4	5,2	3,4
	3	8,7	6,3	5,6	4,9
Muestras de Mosto					
Muestra	Réplicas	°Brix Iniciales	Semana 2	Semana 3	°Brix Finales
Cáscara de naranja T1	1	8.7	7.2	6.7	6.2
	2	8.4	7.1	6.4	6
	3	9.7	8.6	7.9	7.3
Cáscara de naranja T2	1	12	8.8	4.3	2.6
	2	12.5	8.9	4	2.8
	3	11.9	9.1	4.3	3.2

Como se observa en la tabla 15, los tratamientos 1 y 2 pertenecientes al jugo de naranja, que corresponden a la materia prima no esterilizada; muestran valores constantes durante toda su etapa de medición. Los grados Brix iniciales y finales varían desde 3,4 hasta 9,5. La presencia de microorganismos en la materia prima es un factor de inhibición para la generación de carbohidratos, por esta razón las necesidades de adaptación de la levadura es relativamente escasa y el consumo de energía es mayor en la etapa de fermentación (Rosa, 2015).

La variación de los grados Brix en el mosto de naranja, tanto como en el tratamiento 1 y el tratamiento 2, presenta valores iniciales desde 6,6 hasta 12,5 °Brix, y para los datos finales medidos los °Brix oscilan entre 2,6 y 7,3. Los resultados obtenidos demuestran que el consumo de azúcares en el mosto de los dos tratamientos, por acción de la hidrólisis ácida, es de gran efectividad para la generación de alcohol (Shi, Choi, Zhao, Tan, & Ang, 2017).

Al comparar los resultados de °Brix alcanzados en esta experimentación con otros autores, se demuestra que la formación de azúcares fermentables para materias a partir de biomasa lignocelulósica presentan un promedio de 16°Brix (Orozco, y otros, 2013). Otros resultados manifiestan que la obtención de °Brix de los residuos de madera para bioetanol presentan valores de 33°Brix por cada 100 g del residuo (Senila, Senila, Varaticeanu, Roman, & Silaghi-Dumitrescu, 2015).

4.1.9. Destilación

Los grados de alcohol del bioetanol de las muestras de piña y naranja procedentes de la destilación, obtuvieron los resultados mostrados en las figuras 12 y 13.

4.1.9.1. Bioetanol del jugo

En el destilado de los jugos de piña del tratamiento 1, se observaron valores desde 5°gl a 6°gl mientras que los resultados del tratamiento 2 fueron desde 4°gl a 37°gl.

Para los jugos de naranja del tratamiento 1, se observaron valores desde 2°gl hasta 12°gl y para los del tratamiento 2 los grados alcohólicos fueron a partir de 26°gl hasta 52°gl. La destilación que se usó en este trabajo fue una destilación simple. Los grados de alcohol del tratamiento 1 en comparación del tratamiento 2 son relativamente bajos, y se deduce que el factor con mayor influencia en el proceso fue netamente la acción de la levadura, ya que las necesidades de la misma para la producción de alcohol no se encontraba de manera óptima, tales podrían ser el pH que es uno de los factores más influyentes en este proceso, otros factores como la temperatura, la disponibilidad de agua y oxígeno podrían ser posibles afectaciones para el crecimiento y reproducción de la levadura (Reis, Antonangelo, Bassi, Colombi, & Ceccato Antonini, 2016).

Los tratamientos pertenecientes a las muestras no esterilizadas del jugo de las cáscaras de los tratamientos 1, presentan valores relativamente bajos ya que la microflora de las cáscaras de piña y naranja podría ser un factor de intervención en el proceso de fermentación, consumiendo los azúcares fermentables.

La microflora presente en las frutas tanto de naranja como de piña *Penicillium roquefortii* podría ser un factor de competencia directa con la *S. cerevisiae* en el consumo de los azúcares fermentables provocando una posible disminución en la obtención de etanol (Scholtz, Siyoum, & Korsten, 2017) (Hayashi, y otros, 2014). Adicionalmente, las muestras no hidrolizadas produjeron bajas cantidades de azúcares fermentables y por ende bajo contenido alcohólico en el destilado, los volúmenes que se alcanzaron se encuentran en la tabla 16.

Tabla 16.

Grados de alcohol de los jugos de piña y naranja (tratamiento 1).

Muestra	Réplicas	° Alcohol	Volumen (mL)
Cáscara de piña T1	1	6	250
	2	5	250
	3	5	250
Cáscara de naranja T1	1	7	260
	2	12	265
	3	2	300

La literatura reporta que los grados alcohólicos de etanol a partir de residuos de poda fueron de 62°gl. Los mismos que utilizaron una destilación fraccionada para poder obtener el alcohol (Tejeda, Quintana, Pérez, & Young, 2011).

Mientras que la destilación que se realizó en este trabajo fue una destilación simple, ya que no se contaba con otros equipos para una mejor destilación. Otros resultados pertenecientes a estudios de biomasa líquida con presencia de *S. cerevisiae*, en materias primas derivadas de pastizales y sorgo presentan grados alcohólicos de 10°gl (d'Espaux, Ghosh, Runguphan, Wehrs, & Xu, 2017), son valores relativamente iguales en comparación a los de las materias primas que a su vez alcanzan valores de 5 hasta 12°gl pertenecientes al tratamiento 1.

Al comparar los resultados del jugo de las cáscaras esterilizados (tratamiento 2), los valores de grado alcohólico son mayores en comparación con los del tratamiento 1, esto se debe a la presencia netamente de la levadura *S. Cerevissiae*, por lo que no existe una competencia directa con otros microorganismos, también hay que considerar que el tratamiento 2 fue hidrolizado y transforma los azúcares a etanol, razón por la cual que el aumento de los niveles de azúcar son evidentes Azhar, y otros, 2017, la obtención de alcohol oscila entre 4°gl y 52 °gl. Los volúmenes de obtención y los grados alcohólicos de las muestras de jugo de cáscara de naranja y piña se muestran a continuación en la tabla 17.

Tabla 17.

Grados de alcohol de los jugos de piña y naranja (tratamiento 2).

Muestra	Réplicas	° Alcohol	Volumen (mL)
Cáscara de piña T2	1	37	160
	2	4	280
	3	20	140
Cáscara de naranja T2	1	26	155
	2	52	135
	3	32	140

4.1.9.2. Bioetanol del mosto

Los grados de alcohol obtenidos, para las muestras de mosto de los sustratos, tienen una relación relativamente alta en comparación a la de los jugos:

El alcohol obtenido de la cáscara de piña del tratamiento 1 presenta valores de 63.66°gl promedio y para el tratamiento 2 los valores oscilan desde 62°gl y 67°gl, que se muestran en la tabla 18.

Tabla 18.

Grados de alcohol de los mostos de piña y naranja (tratamiento 1)

Muestra	Réplicas	° Alcohol	Volumen (mL)
Cáscara de piña T1	1	67	110
	2	62	110
	3	62	110
Cáscara de piña T2	1	63	115
	2	63	115
	3	63	215

Para la cáscara de naranja los resultados promedio son de 20.3°gl presentes en la tabla 19 para el tratamiento 1, mientras que el tratamiento 2 presenta valores desde 74°gl hasta 80°gl.

Tabla 19.*Grados de alcohol de los mostos de piña y naranja (tratamiento 2)*

Muestra	Réplicas	° Alcohol	Volumen (mL)
Cáscara de naranja T1	1	21	180
	2	20	195
	3	20	195
Cáscara de naranja T2	1	80	102
	2	80	107
	3	74	115

Como se muestra en las figuras 12 y 13, las réplicas del tratamiento 2 del mosto de las cáscaras de piña y naranja, superaron significativamente a las del tratamiento 1 del jugo, debido al proceso de hidrólisis ácida de biomasa lignocelulósica, resulta como una mejora en el aprovechamiento de azúcares fermentables ya que el contenido de los mismos se encuentran en una mayor disponibilidad en el sustrato, y a que el material fue sometido a una esterilización en un autoclave, evitando la competencia directa con los microorganismos propios de las cáscaras de las materias primas (Rosa, 2015). Obteniendo grados alcohólicos de hasta 80°gl.

Los resultados de los grados alcohólicos presentes en los sustratos de biomasa lignocelulósica, se encuentran muy cerca a lo reportado por (Scarlata, Davis, Tao, Tan, & Bidy, 2015) quienes hallaron 50°gl de bioetanol en la cáscara de banana y 61°gl en la cáscara de naranja.

Otros procesos para la obtención de un grado alcohólico elevado, usan procesos como hidrólisis enzimática pertenecientes a residuos de espárrago y alcachofa. Han obtenido un grado de bioetanol de 4,5° gl y 1,7°gl razón por la cual los rendimientos son bajos y no aprovechables. Al usar el mismo mecanismo de enzimas optimizando las condiciones de un tratamiento previo con deslignificación y mejorando el tipo de enzimas presentes con el fin de obtener etanol a base de residuos de poda, el grado alcohólico alcanzado fue de 56°gl mejorando en un 70% la producción de bioetanol (Tejeda, y otros, 2010).

Algunos autores (Cárdenas, Pérez, & Rodríguez-Ramos, 2015) han obtenido resultados de bioetanol, mediante hidrólisis ácida de 68°gl, considerando que la hidrólisis posee un alto porcentaje de ácido concentrado, lo cual hace que la concentración de azúcares fermentables se encuentre disponible en todo el sustrato y facilite la obtención de etanol anhidro.

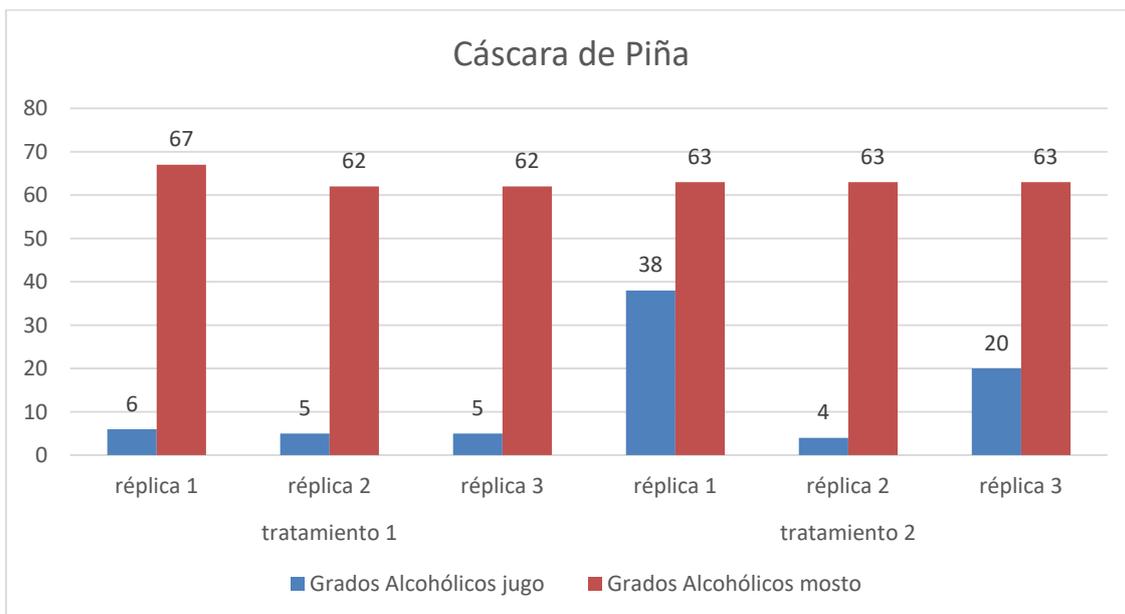


Figura 12. Obtención de alcohol en la cáscara de piña.

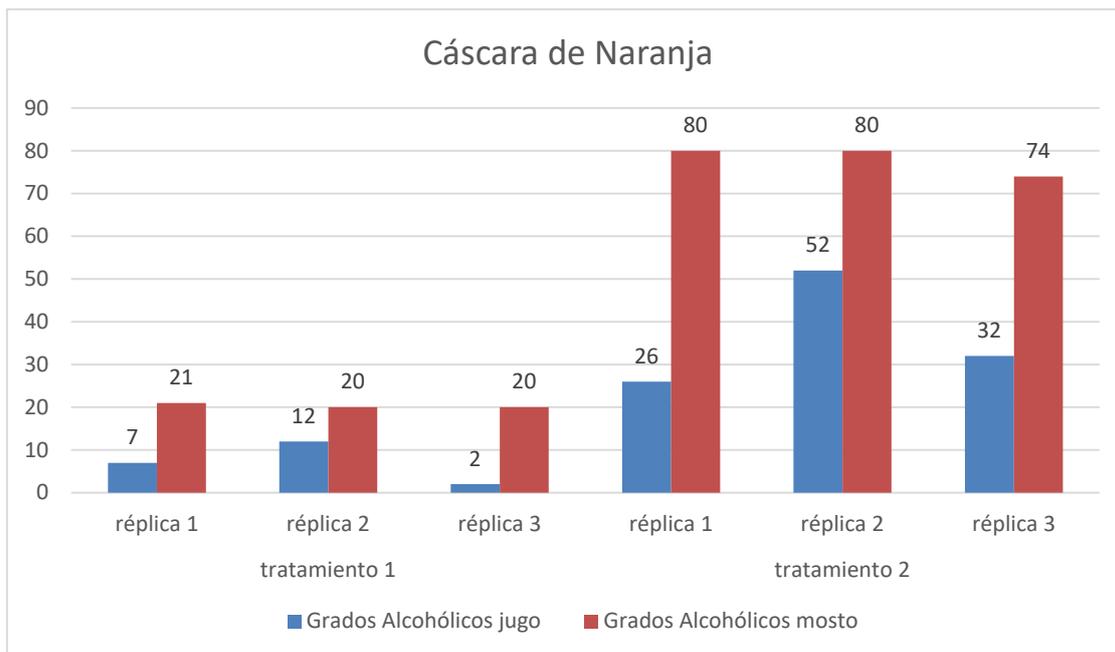


Figura 13. Obtención de alcohol en la cáscara de naranja.

En este estudio, después de la destilación de las muestras se obtuvieron valores relativamente bajos de etanol, razón por la cual se procedió a destilar dos veces más con el fin de aumentar los grados de alcohol y disminuir la concentración de agua.

4.1.10. Determinación del octanaje en el etanol anhidro.

Una vez obtenido los grados de alcohol de todos los tratamientos, se realizó la medición de octanaje de las muestras que obtuvieron mayor grado alcohólico tanto de piña como de naranja.

El número de octano presente en la gasolina, es uno de los requerimientos primarios, ya que refleja que tan expuesto está un combustible a provocar problemas internos en el motor. El etanol anhidro tiene una fácil vaporización en la gasolina, siendo esta de las razones para que el RON de este tipo de biocombustible suba en relación a las gasolinas comerciales (Hernández, Dominguez, & Matta, 2011).

Como el objetivo de este estudio, es evaluar la eficiencia comparativa del biocombustible obtenido a partir de mezclas de gasolina con etanol generado por la hidrólisis ácida de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y piña (*Ananas comosus*), se procedió a mezclar el alcohol obtenido en proporciones de 10% alcohol y 90% gasolina (extra) para 1 litro, conforme a la norma INEN 2102. Las pruebas de octanaje generaron los resultados mostrados en la figura 14.

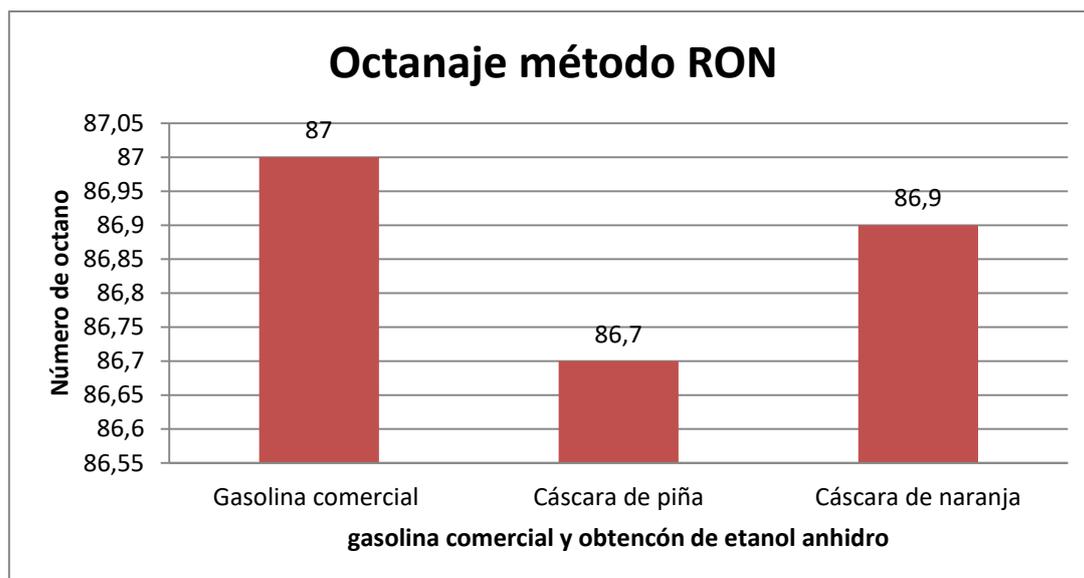


Figura 14. Comparación del octanaje de la gasolina comercial frente a la mezcla con etanol anhidro.

La figura 14 muestra que la variación del octanaje de la gasolina extra, con el biocombustible representa un 0,3% en la piña y 0,1% en la naranja, es decir, que la variación del octanaje de la gasolina extra es mínima. Los datos muestran que la adición de bioetanol redujo el octanaje, sin embargo, se estima que esto no debe generar problemas a los motores que lo empleen, por cuanto, datos obtenidos de otros autores, demuestran que mezclas de etanol anhidro con gasolina extra con un octanaje de 90, en porcentajes de 5% 10% y 15%, no presentan ninguna afectación de corrosión en la lámina de cobre ni en líneas de transporte (Rondón & Gonzáles, 2015).

Otros investigadores han realizado estudios previos en la mezcla de etanol anhidro con gasolina y demuestran que las mezclas formuladas con gasolina

regular a concentraciones de bioetanol de 10%, 20% y 30%; mantienen una estabilidad relativamente buena, disminuyendo las emisiones a la atmósfera y logrando una combustión completa (Torres, Molina, Pinto, & Rueda, 2012).

Otras investigaciones señalan que las gasolinas con un número de octano de 90 al adicionar un 10% de etanol, incrementan su poder calorífico en comparación a gasolinas mezcladas en proporciones de 15% y 20% (Ahmed, Espinosa, & Borroto, 2012).

Las ventajas al producir etanol anhidro en mezclas con gasolina, permitirían disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, con el fin de mejorar la seguridad energética tanto en los países que se encuentran en vías de desarrollo, como en los que presentan una inestabilidad económica (IEA, International Energy Agency, 2017)

El etanol anhidro al ser un aditivo oxigenante, reemplaza los aditivos nocivos para la salud humana, como el metil ter-butil éter y plomo, los mismos que son causantes de enfermedades cancerígenas o capacidades mentales (FAO, Increase of Biofuels in the world, 2017).

Los resultados de las pruebas de octanaje realizados por la Universidad Politécnica Nacional en el laboratorio de petróleos se encuentran en el anexo 3.

4.1.11. Análisis de la varianza

El análisis de la varianza nos permite identificar si existen o no diferencias estadísticas significativas, entre las medias de los tratamientos empleados.

Para este caso se plantea dos hipótesis:

H_0 : No tiene diferencia significativa en la variación de octanaje.

H_1 : Si tiene diferencia significativa en la variación de octanaje.

Si se admite la H_1 , se acepta que los resultados planteados de los tratamientos 1 y 2 son diferentes, con el fin de evaluar la independencia o la dependencia de los efectos considerables entre los tratamientos.

Los resultados del análisis de la varianza de las muestras de piña y naranja de los dos tratamientos se muestran en las tablas 20, 21, 22 y 23.

Tabla 20.

Análisis de la varianza de los tratamientos esterilizados y no esterilizados en los jugos de cáscara piña y de naranja.

ANOVA					
Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Brix_jugo_inicialn1	233,127	1	233,127	1051,699	,001
Brix_jugo_finaln1	357,282	1	357,282	1914,009	,000
Brix_jugo_inicial_p2	604,007	1	604,007	22650,250	,000
Brix_jugo_final_p2	133,482	1	133,482	118,300	,003

Tabla 21.

Análisis de la varianza de los tratamientos esterilizados y no esterilizados en los mostos de cáscara de piña y de naranja.

ANOVA					
Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Brix_mosto_inicialn1	665,707	1	665,707	2349,553	,002
Brix_mosto_finaln1	131,602	1	131,602	451,206	,001
Brix_mosto_inicial_p2	604,007	1	604,007	22650,250	,002
Brix_mosto_final_p2	35,527	1	35,527	1121,895	,001

Tabla 22.

Análisis de la varianza para la hidrólisis ácida (H_2SO_4) de los mostos de cáscara de piña y naranja (T1 y T2).

ANOVA					
Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Brix_mosto_inicial n 1	665,707	1	665,707	2349,553	,002
Brix_mosto_final n 1	131,602	1	131,602	451,206	,001
hidrólisis_mosto_ n 1	192246,000	1	192246,000	.	.
Brix_mosto_inicial_p2	604,007	1	604,007	22650,250	,000
Brix_mosto_final_p2	35,527	1	35,527	1121,895	,000
hidrólisis_mostop2	55008,375	1	55008,375	.	.

Tabla 23.

Análisis de la varianza para el tiempo de deslignificación de los jugos de cáscara de piña y naranja (T1 y T2).

ANOVA					
Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Brix_jugo_inicialn1	357,282	1	357,282	1914,009	,003
Brix_jugo_finaln1	168,540	1	168,540	318,000	,000
Brix_jugo_inicial_p1	233,127	1	233,127	1051,699	,001
Brix_jugo_final_p2	133,482	1	133,482	118,300	,000

Como se muestran en las tablas 20, 21, 22 y 23 las probabilidades de ser menor a 0,05 de fiabilidad, comprueba que la hipótesis alternativa es aceptable ya que los resultados de octanaje son diferentes para los dos tratamientos.

Los efectos del presente estudio son positivos; es decir los tres factores: esterilizado y no esterilizado, grados Brix e hidrólisis ácida, inciden en la variación del octanaje de las muestras de cáscara de piña y naranja.

El esterilizado y no esterilizado de las muestras, ejerce influencia directa sobre el rendimiento de los grados brix experimentales del mosto y jugo, tanto en las cáscara de piña como en la naranja. Los resultados se pueden observar en la tabla 20 y 21. El análisis estadístico confirma esta afirmación mediante el planteamiento de la (H_1) que testifica los resultados son completamente diferentes y refuerza la idea de que el esterilizado elimina la microflora natural asociada a la materia prima que consume los azúcares presentes, reduciendo su disponibilidad para la producción de alcohol y a su vez la acción solo de la levadura conduce a obtener un gran incremento de bioetanol, la misma que es tolerante a elevadas concentraciones de alcohol (Scholtz, Siyoum, & Korsten, 2017) (Azhar, y otros, 2017).

El análisis estadístico de la influencia de la hidrólisis ácida sobre el rendimiento de los grados Brix en la cáscara de piña y naranja de ambos tratamientos indicados en la tabla 22, afirma que la cantidad de grados Brix en el mosto inicial y final de naranja y piña son significativos (H_1) y que existe una clara influencia de la hidrólisis ácida sobre el rendimiento de obtención de azúcares. Resultados que se confirman por autores como Tejeda, Quintana, Pérez, & Young, 2011, Haldara, Dwaipayana, & Gayen, 2016 que señalan altos incrementos en los grados brix desde 4°Brix hasta 33°Brix, de las materias primas sometidas a hidrólisis ácida.

La influencia del tiempo de deslignificación de las muestras, con hidróxido de sodio comercial (lejía), también es significativa cumpliendo con la hipótesis

alternativa planteada para los dos tratamientos, tanto en piña como en naranja, como se observa en la tabla 23. Según la bibliografía estudiada, se emplean tiempos de tratamiento de 90 a 120 minutos que generan rendimientos de deslignificación hasta un 38,7% (Senila, Senila, Varaticeanu, Roman, & Silaghi-Dumitrescu, 2015); que confirman los datos obtenidos por esta investigación.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Los objetivos planteados al inicio de esta investigación se lograron finalizar con éxito, cumpliendo con todos los parámetros establecidos para la obtención de biocombustible a partir de residuos de cáscara de piña y naranja.

La eficiencia comparativa de los biocombustibles obtenidos de la mezcla de gasolina con etanol, procedente de la hidrólisis ácida de residuos de piña y naranja, muestra que son eficientes y seguros, por cuanto su octanaje apenas si se diferencia de la gasolina comercial.

El deslignificado alcalino y su posterior hidrólisis ácida, con fermentación y destilación subsecuentes, permitió obtener etanol con un grado alcohólico de 67°gl para piña y de 80°gl, para naranja.

Los parámetros que influyeron sobre la eficiencia de la producción de etanol fueron el tiempo de deslignificación de 48 horas, la hidrólisis ácida H_2SO_4 al 5% y el esterilizado de la materia prima,

En relación al deslignificado, el reemplazo del hidróxido de sodio por el comercial (lejía), es una buena alternativa tecnológica, que reduce costos y elimina las restricciones de su uso por parte de los organismos de control.

El esterilizado, de la materia prima, elimina la microflora natural asociada que consume los azúcares y el calor facilita la liberación de azúcares fermentables del material lignocelulósico.

Las condiciones empleadas en la hidrólisis, fueron adecuadas para un buen rendimiento en la liberación de azúcares fermentables.

Las pruebas de octanaje efectuadas a los biocombustibles obtenidos de la mezcla gasolina con etanol procedente de la hidrólisis ácida de residuos de piña y naranja, muestran que la variación del octanaje entre estas dos materias primas no es significativa, 86,7 RON para piña y 86,9 RON para la naranja, valores ligeramente distintos al octanaje de la gasolina comercial (extra) de 87 RON.

Los mejores valores de grados alcohólicos se obtuvieron con el empleo de los mostos de ambas materias primas los cuales fueron de 67°gl para la cáscara de piña y de 80°gl para la cáscara de naranja.

Los materiales lignocelulósicos de rechazo como cáscara de piña y de naranja, constituyen una fuente importante de biocombustibles que debe ser aprovechada y estimulada por el estado.

5.2. RECOMENDACIONES

Efectuar pruebas de hidrólisis ácida a otras concentraciones de ácido sulfúrico y con otros ácidos como el ácido clorhídrico.

Ampliar las pruebas de deslignificado, con mayores tiempos de inmersión y comparando el hidróxido de sodio con el comercial (lejía).

Si bien la literatura recomienda mezclas del 90% de gasolina y 10% de etanol; estimamos necesario ampliar las pruebas con distintas relaciones de mezcla que permitan un mayor ahorro de combustible fósil.

Trabajos posteriores podrían combinar la hidrólisis ácida con la hidrólisis fermentativa para ver si existe un mayor efecto en la liberación de azúcares fermentables.

Con el propósito de garantizar la calidad y la eficiencia del proceso, se recomienda verificar la integridad de las materias primas, esto es, que se halle en proceso de descomposición, por cuanto los azúcares fermentables son consumidos por otros microorganismos y por la producción de metabolitos secundarios que reducen sensiblemente la producción de etanol.

REFERENCIAS

- Abril, A., & Navarro, E. (2012). *ETANOL A PARTIR DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA*. Mexico : Aleta Ediciones.
- Agreste. (2015). *Responsabilidad social*. Recuperado el 10 de mayo de 2017, de <http://agreste.org/?gclid=CKe8wKP15tMCFUxYDQoda9UAYg>
- Agriculture, U. S. (2017). *United States Department of Agriculture*. Recuperado el Febrero de 2017, de <https://www.usda.gov/>
- Ahmed, E., Espinosa, M., & Borroto, S. (2012). Evaluación de un motor de encendido por chispa trabajando con mezclas etanol-gasolina . Recuperado el 23 de mayo de 2017 de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012012000200002
- Araújo, W. (2016). Ethanol Industry: Surpassing Uncertainties and Looking Forward. Recuperado el 23 de mayo de 2017 de https://www.researchgate.net/publication/305081679_Ethanol_Industry_Surpassing_Uncertainties_and_Looking_Forward
- Azarakhsh, N., & Osman, A. (2014). Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. Recuperado el 23 de mayo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521413002792>
- Azhar, S. H., Abdulla, R., Jambo, S. A., Marbawi, H., Gansau, J. A., Faik, A. A., & Rodrigues, K. F. (2017). Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. Recuperado el 28 de febrero de 2017 , de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405580816302424>
- Balat, M. (2008). Global Trends on the Processing of Bio-fuels. *International Journal of Green Energy*.
- Bansal, P. (2009). Modeling cellulase kinetics on lignocellulosic substrates. En P. Bansal, *Biotechnology Advances* (págs. 833-848.).

- Barletta, A., Sánchez, Y., & Valazza, L. (2014). OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA FERMENTACIÓN DE SORGO. *Grupo de Investigación en Simulación para Ingeniería Química*.
- Battison, L. (2011). *BBC MUNDO* . Recuperado el 28 de febrero de 2017 , de http://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/09/110921_cascara_naranja_biocombustible_rg
- Biofuels, A. (2017). *Defense Production Act (DPA) Title III Advanced Drop-In Biofuels Production Project (ADBPP) Biofuels 2. Environmental Protection Agency*, 6.
- Boot, M. (2016). *Biofuels from Lignocellulosic Biomass*. The Netherlands: Wiley-VCH.
- Botero, V., Perez, R., & Alzate, C. (2014). Effect of Change in Land Use due to Oil Palm Cultivation for Biodiesel Production in Colombia. *Ingeniería y Universidad*. Recuperado el 15 de mayo de 2017 de [http://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT45,5-6\(2011\)/p.347-354.pdf](http://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT45,5-6(2011)/p.347-354.pdf)
- Bravo, E. (2010). *Biocombustibles, Cultivos Energéticos y soberanía alimentaria en América Latina* . Quito: Manthra Editores.
- Brennan, J. (2017). *Chemistry*. Recuperado el 5 de mayo de 2017 de <http://sciencing.com/types-distillation-6924000.html>
- Bret, A. (2014). The Energy- Climate Continuum. *Springer International*.
- Burns, R. (2003). Fundamentos de Química. En R. Burns, *Derivados del petróleo* (pág. 2). México: Pearson. Recuperado el 20 de mayo de 2017 de <http://studylib.es/doc/5222444/gasolina-e-%C3%ADndices-de-octano>
- Carvalho, C. D., Barros, A. K., Vinicius, M., Silva, F. C., Santa, E. E., & Mendes, F. S. (2015). *Determination of the composition of biodiesel-diesel blends using the dielectric constant*. Recuperado el 25 mayo de 2017 de <http://sciencing.com/types-distillation-6924000.html>
- Chakiath, C., Lyons, M. J., Kozak, R. E., & Laufer, C. S. (2010). Thermal Stabilization of Erwinia chrysanthemi Pectin Methyltransferase A for Application in a Sugar Beet Pulp Biorefinery. *Applied and Environmental Microbiology*. Recuperado el 15 de mayo de 2017 de <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10739149.2015.1131714>

- Christian Diniz Carvalho, A. K. (2015). Determination of the composition of biodieseldiesel blends using the dielectric constant. *Instrumentation Science & Technology*, 44(4), 377–385.
- Constitución de la República del Ecuador, artículo 275 (2008).
- Dahiya, A. (2015). BIOENERGY BIOMASS TO BIOFUELS: AN OVERVIEW. En A. DAHIYA, *Bioenergy Biomass to Biofuels*. Vermont: Elsevier .
- Darby, H., & Callahan, C. (2015). ON-FARM OIL-BASED BIODIESEL PRODUCTION . En A. Dahiya, *Bioenergy Biomass to Biofuels* Vermont: Elsevier .Recuperado el 15 de mayo de 2017 de <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10739149.2015.1131714>
- Dergal, S. B. (2010). *Química de los alimentos*. México: Pearson Educación.
- desastrosa, E. d. (Diciembre de 2008). *technologyreview*. Recuperado el 2017 de 2017 de 2008, de http://wrm.org.uy/oldsite/publicaciones/Etanol_sp.pdf
- Development, U. N. (2014). *Trade Remedies: Targeting the Renewable Energy Sector*. Geneva : UNITED NATIONS .
- Dhelipan, M., Arunchandee, A., Sahu, A., & Kalpana, D. (2016). Activated carbon from orange peels as supercapacitor electrode and catalyst support for oxygen reduction reaction in proton exchange membrane fuel cell. *Journal of Saudi Chemical Society*, 488-494.
- Díaz, M. S., Mussag, C. U., Pozo, M. I., Hernández, A. A., & Bermúdez, R. C. (2015). Valorization of Pectin-rich Agroindustrial Wastes by Fermentation. *Ciencias Naturales*.
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., & Sokona, Y. (2011). *Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*. Stanford: ©Michael Melford/National Geographic Stock.
- Edward, D. (Septiembre de 2011). *Global Healing Center*. Recuperado el Febrero de 2017, de <http://www.globalhealingcenter.net/salud-natural/bromelina.html>
- Energy, D. o. (2014). *FOSSIL*. Recuperado el 15 de mayo de 2017 de <https://energy.gov/science-innovation/energy-sources/fossil>.

- FAO. (2013). *Food Agriculture Organization*. Recuperado el 22 de Abril de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/017/i3126e/i3126e.pdf>
- Faraco, V. (2013). *Lignocellulose Conversion*. Italia: Springer.
- Geographic, N. (2012). *Petroleum*. Recuperado el 11 de Mayo de 2017, de <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/petroleum/>
- Graiel, C. A. (2009). Producción de etanol a partir del almidón de papa mediante acción combinada con *Aspergillus niger* y *Saccharomyces cerevisiae*, y evaluación de los procesos intermedios formados durante el bioproceso. Madrid: UIS . Recuperado el 10 de Mayo de 2017, de <https://www.iea.org/newsroom/news/2011/april/biofuels-can-provide-up-to-27-of-world-transportation-fuel-by-2050-iea-report-.html>
- Herguedas, A. I., Taranco, C. d., García, E. R., & Paniagua, P. P. (2012). *BIOMASA, BIOCOMBUSTIBLES Y SOSTENIBILIDAD*. Madrid: Palencia.
- Hernández, A. G., Vázquez-Duhalt, R., Sánchez, M. d., Carreón, L. S., & Jiménez, A. M. (2009). Biodiesel a Partir de Microalgas. *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada*. Recuperado el 10 de Mayo de 2017, de <https://www.iea.org/newsroom/news/2011/april/biofuels-can-provide-up-to-27-of-world-transportation-fuel-by-2050-iea-report-.html>
- Hoyos, L., & Pérez, Y. (2005). *Pretratamiento del Material Lignocelulósico de la planta de banano y su fruto para la producción de jarabe*. Medellín: UNC.
- IEA. (2011). *Biofuels can provide up to 27% of world transportation* . Recuperado el 10 de Mayo de 2017, de <https://www.iea.org/newsroom/news/2011/april/biofuels-can-provide-up-to-27-of-world-transportation-fuel-by-2050-iea-report-.html>
- IEA. (2017). Recuperado el 10 de mayo de 2017, de International Energy Agency: <https://www.iea.org/newsroom/news/2011/april/biofuels-can-provide-up-to-27-of-world-transportation-fuel-by-2050-iea-report-.html>
- INEN. (2009). *Etanol Anhidro. Requisitos 2487*. Quito: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.
- INEN. (2009). *ETANOL ANHIDRO. REQUISITOS 2487:2009*. Quito: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.

- INEN. (2009). NTE 2478. *ETANOL ANHIDRO. REQUISITOS*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- INEN. (2015). NTE 935. *PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. GASOLINA.*, 6. Quito, Pichincha, Ecuador.
- INEN. (2015). *NTE INEN 935 Enmienda 2*. Recuperado el 26 de abril de 2017, de GASOLINA. REQUISITOS: http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/nte_inen_935_enmienda.pdf
- Jachmanián, I. (2014). *Tecnología de la producción*. Uruguay: Facultad de Química.
- Jimenez, D., Arbrey, A., López, V., Tellez, A., & Gracida, J. (2012). OBTENCIÓN DE AZÚCARES FERMENTABLES MEDIANTE HIDRÓLISIS ÁCIDA DE *Beta vulgaris* L. . *Int. Contam. Ambie*, 152-158.
- Johansson, H. (2016). Fossil Fuel Free Växjö. *International Journal of Environmental Studies*, 186-185.
- Laboratory, N. R. (agosto de 2015). *Biomass Energy Basics*. Recuperado el 10 de mayo de 2017, de <https://www.nrel.gov/workingwithus/re-biomass.html>
- Laureano, P., Teymouri, E., Alizaedh, H., & Dale, B. (2005). *Understanding factors that limit enzymatic hydrolysis of biomass. Applied Biochemistry and Biotechnology*. Standford: Chemistry.
- Leal Granadillo, I., Tarantino Rodríguez, G., & Hernández Motzezak, R. (2014). Efecto de la temperatura y el pH en la fermentacion . *multiciencias* , 380.
- Lee, J. W. (2013). An Overview of Advanced Biofuels and Bioproducts . En J. W. Lee, *Advanced Biofuels and Bioproducts* (págs. 3-12). Norfolk, VA, USA: Springer Science+Business Media.
- López, L. N., Cárdenas, A. A., & Zambrano, R. G. (2013). Evaluación de pretratamientos químicos para la hidrólisis enzimática de residuos lignocelulósicos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 12.
- Masera, O., & Coralli, F. (2010). *La Bioenergía en México: situación actual y perspectivas*. México: Rembio. Recuperado el 25 de Mayo de 2017, de

- <https://www.iea.org/newsroom/news/2011/april/biofuels-can-provide-up-to-27-of-world-transportation-fuel-by-2050-iea-report-.html>
- Méjia, G. (2007). *Degradación de la lignina para obtención de la celulosa*. Química organica .Recuperado el de mayo de 2017 de http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/2013/Vol4/Nro4/3-ACI1184-13-full.pdf
- Moore, B. (2016). Fueling Good: Planning Design and Program Management for Alternative Fuels. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 53-80.
- Morales, R. (2015). *Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos*. Madrid: CSIC. Recuperado el 28 de abril de 2017 de http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/2013/Vol4/Nro4/3-ACI1184-13-full.pdf
- MUNDIAL, M. E. (1 de Septiembre de 2013). *Prospectiva 2020*. Recuperado el 20 de Febrero de 2017, de GDB network : <http://www.prospectiva2020.com/es/informes/6?fecha=&page=1>
- Muthineni, N., M. S., Bojja, S., Meshram, H. M., Srivastava, A. K., & Adar, B. R. (2015). Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic. *Catalysis* , 233-237.
- OMS. (2016). *Contaminación del aire de interiores y salud*. Recuperado el 23 de Mayo de 2017, de Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/es/>
- ONU. (2016). Renewable and Alternative Energies. *Ciencia y tecnología*. Israel: UNESCO.
- Pandye, A., Soccol, C., & Dussap, G. (2088). *Advances in fermentation technology*. Porstland: Asiatech Publishers. .
- Pennington, D. (2015). BIOENERGY CROPS . En A. Dahiya, *Bioenergy Biomass to Biofuels* (págs. 111-134). Michigan: Elsevier .
- Perdersen, M., Meyer, A., & Vilksø, A. (2010). *Monosaccharide yields and lignin removal from wheat straw in response to catalyst type and pH during mild thermal pretreatment*. Recuperado el 15 de mayo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359511310000978>

- Pogaku, R., & Sarbatly, R. (2013). *Advances in Biofuels* Recuperado el 15 de mayo de 2017 de <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v16n3/v16n3a8.pdf>
- Preinversión, I. N. (2014). ATLAS BIOENERGÉTICO DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. En E. C. S.A., *ATLAS BIOENERGÉTICO DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR* (primera ed., Vol. 1, pág. 150). Ecuador.
- Proskurina, S., Heinimo, J., Schipfer, F., & Vakkilainen, E. (2017). Biomass for industrial applications: The role of torrefaction. *Renewable Energy*, 266-274.
- ReEnergy. (2011). *re energy holdings*. Recuperado el 10 de 5 de 2017, de <http://www.reenergyholdings.com/renewable-energy/what-is-biomass/>
- Rivera, J. C. (7 de Junio de 2014). Pigmentos naturales para industria de alimentos. *UN Periódico*(178).
- Rodríguez, C. (2004). Hydrolysis of sugarcane bagasse using nitric acid. En M. Vázquez, *A kinetic assessment* (págs. 143-152).
- Rosa, S. M. (2015). *HIDRÓLISIS ÁCIDA DE CELULOSA Y BIOMASA*. Madrid: CSIC.
- Ruiz, A., & Arias, L. (1997). *Fermentación Alcohólica de Muncíalago de Café con Levaduras UNC*. Colombia: UNC.
- Sánchez, R. (2010). *Producción de bioetanol a partir de subproductos Agroindustriales lignocelulósicos*. Tolima: CEDEGRITOL.
- Sánchez-Ramírez, J., Martínez-Hernández, J. L., Segura-Ceniceros, E. P., Contreras-Esquivel, J. C., Medina-Morales, M. A., Aguilar, C. N., & Iliná, A. (2014). Inmovilización de enzimas lignocelulolíticas en nanopartículas magnéticas. *Quimica Nova*, 219-227.
- Scarlata, C. J., Davis, R. E., Tao, L., Tan, E. C., & Bidy, M. J. (2015). *Perspectives on Process Analysis for Advanced Biofuel Production*. Recuperado el 12 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780444595928>
- ScienceDaily. (2016). *Fossil fuels are hydrocarbons, primarily coal, fuel oil or natural gas, formed from the remains of dead plants and animals*. Recuperado el 11 de mayo de 2017, de https://www.sciencedaily.com/terms/fossil_fuel.htm

- Serrano, J. C., & Dumesic, J. (2011). Catalytic routes for the conversion of biomass into liquid hydrocarbon transportation fuels. Recuperado el 15 de abril de 2017 de <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2011/ee/c0ee00436g#!divAbstract>
- Shi, S., Choi, Y. W., Zhao, H., Tan, M. H., & Ang, E. L. (2017). Discovery and engineering of a 1-butanol biosensor in *Saccharomyces cerevisiae*. Recuperado el 10 de enero de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417310180>
- Sifontes, M. C., & Domine, M. (2013). LIGNIN, STRUCTURE AND APPLICATIONS: DEPOLYMERIZATION METHODS FOR OBTAINING AROMATIC DERIVATIVES OF INDUSTRIAL INTEREST. *ISSN*;, 15-46.
- SOCIAL, M. D. (2017). *FRUTAS*. Recuperado el 9 de mayo de 2017, de https://members.wto.org/crnattachments/2011/tbt/COL/11_2297_00_s.pdf
- Sun, Y., & Cheng, J. (2002). *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. Bioresource Technology* (Vol. 83). Algeria: UNAM.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología Vegetal*. Recuperado el 9 de mayo de 2017, de https://members.wto.org/crnattachments/2011/tbt/COL/11_2297_00_s.pdf
- TEEIC. (2016). *Energy Transmission Corridor Siting Guidance Manual Available*. Recuperado el 10 de mayo de 2017, de <https://teeic.indianaffairs.gov/er/biomass/restech/uses/whatis/index.htm>
- Torres, J., Molina, D., Pinto, C., & Rueda, F. (2012). ESTUDIO DE LA MEZCLA DE GASOLINA CON 10% DE ETANOL ANHIDRO. EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS. *Ciencia y Tecnología y Futuro*, 72-82.
- Tumuluru, J., Wright, C., Kenney, K., & Hess, R. (2010). A technical review on biomass processing: densification, preprocessing, modeling, and optimization. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 1-16.

- Urbina. (2011). Temperaturas y sus controles en la fermentacion. *produccion alcoholica* , págs. 4-6.
- USDA. (2016). *Departamento de Agricultura de los Estados Unidos*. Recuperado el 22 de Abril de 2017, de <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/200289?fgcd=&manu=&lfacet=&format=&count=&max=50&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=orange+&ds=&qt=&qp=&qa=&qn=&q=&ing=>
- USDA. (2017). *Branded Food Products Database*. Recuperado el 12 de Marzo de 2017, de <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/100971?fgcd=&manu=&lfacet=&format=&count=&max=50&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=orange+&ds=&qt=&qp=&qa=&qn=&q=&ing=>
- Voet, D., & Voet, J. (2004). *Bioquimica*. Uruguay: Liberned Verlag .
- Watkins, D., Nuruddin, M., Hosur, M., Tcherbi-Narteh, A., & Jeelani, S. (2014). Extraction and characterization of lignin from different biomass resources. Recuperado el 17 de febrero de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785414000982>
- Wilkinson, J., Afiff, S., Carriquiry, M., Jumbe, C., & Searchinger, T. (2013). *Biofuels and food security*. Recuperado el 17 de febrero de 2017 de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_Reports/HLPE-Report-5_Biofuels_and_food_security.pdf
- Williams, C., Dahiya, A., & Porter, P. (2014). *INTRODUCTION TO BIOENERGY* . En A. Dahiya, Bioenergy Biomass to Biofuels (págs. 5-36). Madison, WI, USA: ACADEMIC PRESS.
- Zhang, Y. (2010). *Pretreatments of cellulose pyrolysate for ethanol production by Saccharomyces cerevisiae*. Recuperado de 24 de mayo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953402001472>
- Zhu, X.-f., & Lu, Q. (2013). Selective Fast Pyrolysis of Biomass to Produce Fuels and Chemicals .Recuperado el 5 de enero de 2017 de https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-1-4614-3348-4_10.pdf

ANEXOS

Anexo 1: Cadena de custodia

CADENA DE CUSTODIA

NOMBRE DEL PROYECTO		EFICIENCIA COMPARATIVA DE LA OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE RESIDUOS DE NARANJA (CITRUS SINENSIS) Y PIÑA (ANANAS COMOSUS) EN MEZCLAS CON COMBUSTIBLE.				UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS UDLA		
NOMBRE DE LA LOCALIDAD		CIUDAD	BARRIO	SECTOR	PROVINCIA	FACULTAD DE INGENIERÍAS		
Alimentos del Huerto		Quito	San Isidro del Inca	Eloy Alfaro	Pichincha	INGENIERÍA AMBIENTAL EN PREVENCIÓN Y REMEDIACIÓN		
RESPONSABLE DEL MUESTREO		Pamela del Pilar Acosta Castro						HORA: 9:30 am
Nº	CÓDIGO	COORDENADAS		TIPO	CANTIDAD	PROCESO	ANOTACIONES	
1	CP	-0.112876	-78.469755	Cascara de piña	30 Kg	Procesamiento de frutas para elaboración y distribución de pulpas congeladas.	Se recibió de manera conforme la materia prima de acuerdo a lo requerido	
2	CN	-0.112876	-78.469755	Cascara de naranja	30 Kg	Procesamiento de frutas para elaboración y distribución de pulpas congeladas.	Se recibió de manera conforme la materia prima de acuerdo a lo requerido	
RESPONSABLE EMPRESA				RESPONSABLE LABORATORIO			HORA Y FECHA INGRESO 11:00am del 24/03/2017	

Alimentos del Huerto S.A.
R.U.C.: 1791295161001

Anexo 2: Ficha técnica de seguridad

**HOJA DE SEGURIDAD
HIDROXIDO DE SODIO (LEJÍA)**

FÓRMULA	NaOH
PESO MOLECULAR	40,01 g/mol
COMPOSICION	Na. 57,048% H.2,52% y O.40,00%
GENERALIDADES	El hidróxido de sodio es un sólido blanco e industrialmente se utiliza como disolución al 50 % por su facilidad de manejo. Es soluble en agua, desprendiéndose calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo de metales y tejidos
SINONIMOS	Sosa, Sosa Caústica, Lejía, Lejía
PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS	
Punto de ebullición:	1388°C (a 760 mm de Hg)
Punto de fusión:	318,4 °C
Índice de refracción a 589.4 nm:	1,433 (a 320 °) y 1,421 (a 420 °C)
Presión de vapor:	1 mm (739 °C)
Densidad:	2,13 g/ml (25 °C)
Solubilidad:	Soluble en agua, alcoholes y glicerol, insoluble en acetona (aunque reacciona con ella) y éter. 1 g se disuelve en 0.9 ml de agua, 0.3 ml de agua hirviendo, 7,2 ml de alcohol etílico y 4,2 ml de metanol
pH de disoluciones acuosas (peso/peso):	0,05 %:12; 0,5 %: 13 y 5 %: 14
NIVELES DE TOXICIDAD	
LD ₅₀ en conejos	500 ml/ kg de una disolución al 10 %.
Niveles de irritación a piel de conejos:	500 mg/ 24 h, severa
Niveles de irritación a ojos de conejos:	4 mg, leve; 1 % o µg/24 h, severo
MANEJO	
Para el manejo del NaOH es necesario el uso de lentes de seguridad, bata y guantes de neopreno, nitrilo o vinilo. Siempre debe manejarse en una campana y no deben utilizarse lentes de contacto al trabajar con este compuesto. En el caso de trasvasar pequeñas cantidades de disoluciones de sosa con pipeta NUNCA ASPIRAR CON LA BOCA.	
RIESGOS	

Riesgos de fuego o explosión:	Este compuesto no es inflamable sin embargo, puede provocar fuego si se encuentra en contacto con materiales combustibles. Por otra parte, se generan gases inflamables al ponerse en contacto con algunos metales. Es soluble en agua generando calor
Riesgos a la salud	El hidróxido de sodio es irritante y corrosivo de los tejidos. Los casos más comunes de accidentes son por contacto con la piel y ojos, así como inhalación de neblinas o polvo.
ALMACENAMIENTO	
El hidróxido de sodio debe ser almacenado en un lugar seco, protegido de la humedad, agua, daño	

Anexo 3:



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE PETRÓLEOS

Página 1 de 1

HI01

REPORTE DE ANÁLISIS Nº. ALPEP 023-017
ORDEN DE TRABAJO 5235

INFORMACIÓN GENERAL:

CLIENTE	PAMELA DEL PILAR ACOSTA		
MUESTRA	GASOLINA	NÚMERO DE MUESTRAS	3
FECHA RECEPCIÓN	15-05-2017	FECHA DE ENTREGA INFORME	16-05-2017

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CAPACIDAD
MUESTRA 1	LPM062-MAY	GASOLINA	Plástico	1 L

RESULTADOS OBTENIDOS:

MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	VALOR OBTENIDO
LPM062-MAY	Número de octano (RON)	NTE INEN 2102	---	86.7

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CAPACIDAD
MUESTRA 2	LPM063-MAY	GASOLINA	Plástico	1 L

RESULTADOS OBTENIDOS:

MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	VALOR OBTENIDO
LPM063-MAY	Número de octano (RON)	NTE INEN 2102	---	86.9

Ing. Liliana Guzmán	Ing. Tania Parra
Jefe del Laboratorio de Petróleos	Especialista de Laboratorio de Petróleos

NOTA: El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.

Ladrón de Guevara E11-253-Edif. Eléctrica Química - 5to piso
 022976-300 Ext. 4329/4317/4328
 lab.petroleos_ing.quimica@epn.edu.ec

Anexo 4:



Figura 15. Recepción y selección de la materia prima (piña y naranja).



Figura 16. Triturado de la materia prima (piña y naranja) usando el molino Pome Fruit Grinde.



Figura 17. Secado de la materia materia prima (piña y naranja).



Figura 18. Esterilizado de la materia prima (piña y naranja).



Figura 19. Tratamiento 1(no esterilizado) después del secado de la cáscara de piña.



Figura 20. Tratamiento 1(esterilizado) después del secado de la cáscara de naranja.



Figura 21. Tratamiento 1(no esterilizado), deslignificación de la cáscara de piña y naranja.



Figura 22. Tratamiento 2(esterilizado), de la cáscara de piña y naranja.



Figura 23. Tratamiento 2(esterilizado), deslignificación de la cáscara de piña y naranja.



Figura 24. Tratamiento 1(no esterilizado), separación del mosto y del jugo piña y naranja.



Figura 25. Tratamiento 2(esterilizado), separación del mosto y del jugo piña y naranja.



Figura 26. Equipo para la medición de los grados Brix del mosto y del jugo piña y naranja.



Figura 27. Levadura activa para fermentación de las muestras de jugo y mosto para piña y naranja.



Figura 28. Celdas fermentativas de los tratamientos 1 y 2 de las muestras de piña y naranja.



Figura 29. Destilación simple de todas las muestras de los tratamientos 1 y 2 de las materias primas de piña y naranja.



Figura 30. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 1 del jugo de la cáscara piña.

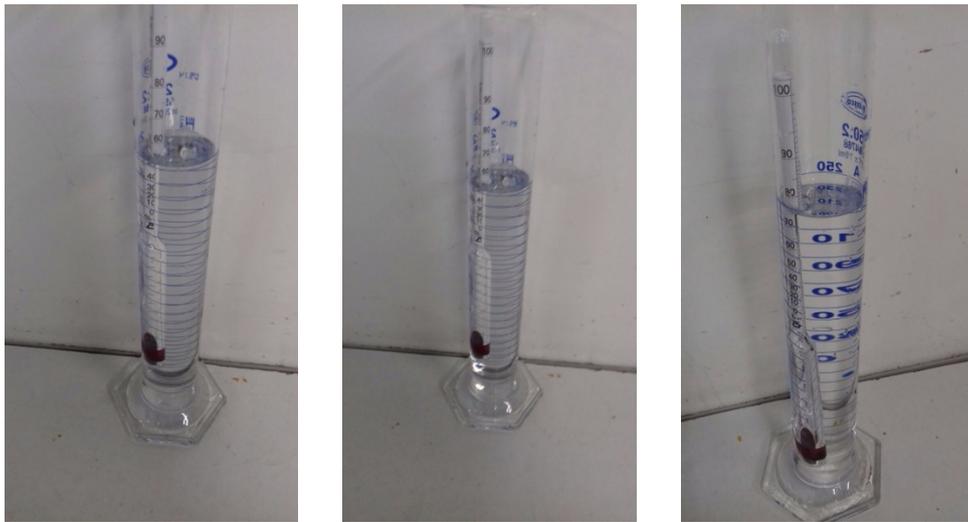


Figura 31. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 1 del mosto de cáscara de piña.

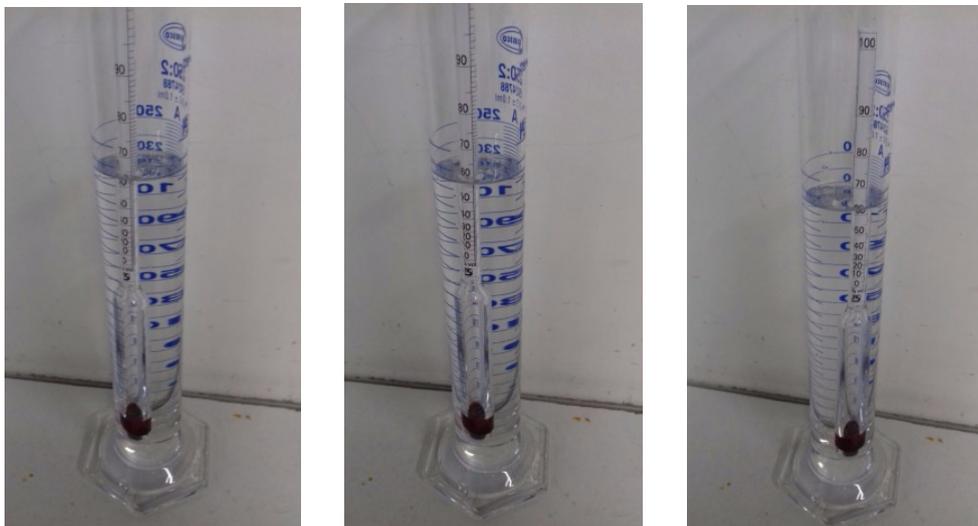


Figura32. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 2 del jugo de cáscara de piña.

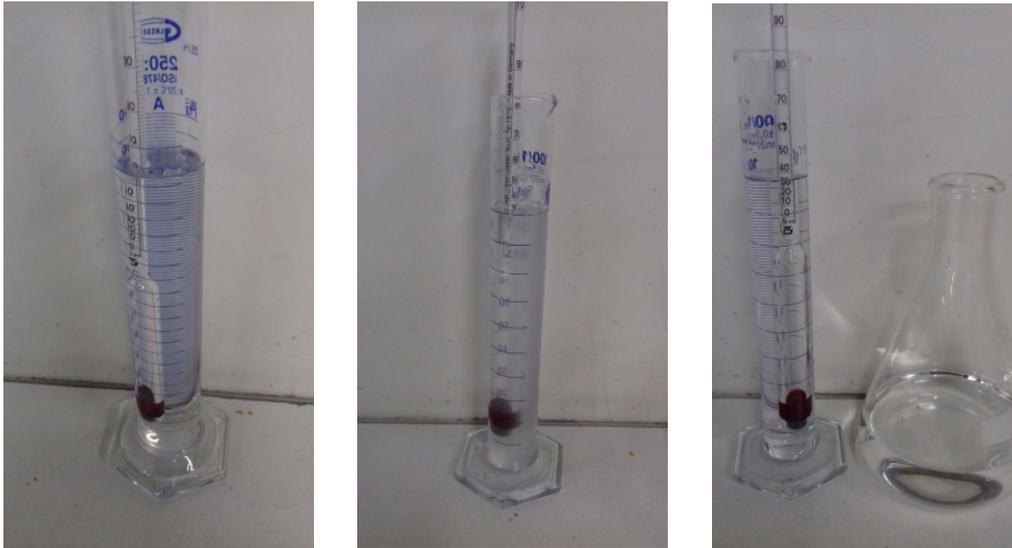


Figura 33. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 2 de cáscara de piña del mosto.



Figura 34. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 2 del mosto de cáscara de piña.



Figura 35. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 1 del jugo de cáscara de naranja.



Figura 36. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 2 del jugo de cáscara de naranja.



Figura 37. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 1 del mosto de cáscara de naranja.



Figura 38. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 2 del jugo de cáscara de naranja.



Figura 39. Medición de los grados del bioetanol de las muestras del tratamiento 2 del mosto de cáscara de naranja.



Figura 40. Bioetanol de cáscara de piña y naranja, en mezclas con gasolina.

