

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

"COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA CÁSCARA DE PIÑA (*Ananás Comosus*) DE LA VARIEDAD HAWAIANA Y DE LA VARIEDAD MD2 POR MÉTODO DE FERMENTACIÓN Y DESTILACIÓN A NIVEL LABORATORIO"

TESIS DE GRADO

MANUEL ANGEL PEREZ PAYES
CARNET 10769-11

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, NOVIEMBRE DE 2018
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

"COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA CÁSCARA DE PIÑA (*Ananás Comosus*) DE LA VARIEDAD HAWAIANA Y DE LA VARIEDAD MD2 POR MÉTODO DE FERMENTACIÓN Y DESTILACIÓN A NIVEL LABORATORIO"

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA

POR
MANUEL ANGEL PEREZ PAYES

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, NOVIEMBRE DE 2018
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA DE ZUNIGA
VICEDECANO: MGTR. OSMAN CARRILLO SOTO
SECRETARIA: MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN
DIRECTOR DE CARRERA: DR. MARIO RENE SANTIZO CALDERON

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. ISIS ARACELY LÓPEZ CIFUENTES DE GALVEZ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. JOSE ANTONIO ROSAL CHICAS
MGTR. RYAN RENE RAMIREZ RODAS
LIC. CRISTIAN FERNANDO GUZMÁN QUAHARRE



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante MANUEL ANGEL PEREZ PAYES, Carnet 10769-11 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA, del Campus Central, que consta en el Acta No. 02285-2018 de fecha 30 de octubre de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado

"COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA CÁSCARA DE PIÑA (*Ananás Comosus*) DE LA VARIEDAD HAWAIANA Y DE LA VARIEDAD MD2 POR MÉTODO DE FERMENTACIÓN Y DESTILACIÓN A NIVEL LABORATORIO"

Previo a conferírsele el título de INGENIERO QUÍMICO en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 13 días del mes de noviembre del año 2018.

MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN, SECRETARIA
INGENIERÍA
Universidad Rafael Landívar



Guatemala, 11 de septiembre 2018

Mgtr. Marya Alejandra Ortiz
Secretaría de Facultad
Facultad de Ingeniería

Estimada Mgtr. Ortiz:

Por este medio me es grato saludarle y desearle toda clase de éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente es para informarle que he revisado el informe final del trabajo de graduación titulado: **"COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE CASCARA DE PIÑA (Ananás Comosus) DE LA VARIEDAD HAWAIANA Y DE LA VARIEDAD MD2 POR MÉTODO DE FERMENTACIÓN Y DESTILACIÓN A NIVEL LABORATORIO."** Del estudiante Manuel Angel Pérez Payes, quien se identifica con número de carnet 10769-11.

Después de haber revisado el informe final y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar doy como aprobado dicho trabajo de graduación.

Sin otro particular, me suscribo de Ud.

Atentamente,



Mgtr. Isis López de Gálvez
Asesor de Tesis

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida y permitirme llegar hasta a la meta esperada. Gracias darme las fuerzas para enfrentar cada dificultad que se ha presentado a lo largo del camino.

A la Universidad Rafael Landívar y a todos los catedráticos, por haber brindado herramientas y conocimientos necesarios para alcanzar esta meta. Especialmente a la Ingra. Isis López, por todo su conocimiento, acompañamiento y asesoría brindada en esta tesis.

A mi mamá, Blanca Payes, por darme su amor, su ánimo y su fuerza para salir adelante.

A mi papá, Víctor Pérez, por sus enseñanzas, palabras de ánimo y apoyo, que me dio a lo largo del camino para lograr este éxito.

A mis hermanos y familia, por acompañarme, su cariño y apoyo.

A mis amigos, por la amistad, por los momentos que la pasamos bien y por todo lo bueno que se logró a lo largo de la universidad.

DEDICATORIA

A Dios, por su bondad, amor y todos los logros obtenidos, ya que sin él esto no fuera realidad. A la Virgen María por su intersección en mí y por toda mi familia.

A mis padres, Víctor y Blanca, por brindarme educación, apoyarme en mis decisiones y por ser un ejemplo para mí.

A mi hermano, Ricardo por los momentos alegres que hemos pasado y el apoyo que nos hemos dado.

A mis Amigos, Christian, Emilio, Omar, Mafer, Chilena, Roque, porque con cada uno tengo un buen recuerdo y por brindarme su amistad todo este tiempo.

Al Departamento de Promoción, por brindarme su apoyo en el tiempo que estuve con ellos.

A la Universidad Rafael Landívar, por haberme brindado su apoyo con beneficio de beca y por creer en mí para desarrollarme en el área.

RESUMEN EJECUTIVO

El estudio se realizó con el objetivo de comparar la obtención bioetanol a partir de cáscara de piña de dos diferentes variedades como lo es la MD2 y HAWAIANA por medio de una fermentación y destilación, así mismo, determinar la curva de consumo de sustrato, determinar los parámetros del destilado, realizar un balance de masa para el proceso de fermentación y destilación, caracterizar el destilado por medio de densidad y de cromatografía de gases, por último comparar el porcentaje de etanol obtenido para cada variedad de piña.

Para ello se adquirieron las piñas de las variedades mencionadas, posteriormente se retiró la cáscara de las mismas, se realizó el corte de la misma cáscara y con porciones de agua se realizó la mezcla, con lo que queda la misma lista para ser pasteurizada. Seguidamente la mezcla se pasteurizó a una temperatura de 70°C por un tiempo de 15seg. y a este proceso se le midió los grados Brix y el pH antes de pasteurizar y posterior a la pasteurización, además de ello se ajustó el pH en un promedio de 4.99 ± 0.029 y 4.95 ± 0.029 respectivamente, con lo que ya se procedió a agregar la levadura activada y se distribuyó en recipientes para tener muestras de cada variedad.

Se dejó en fermentación la mezcla, donde se determinó la curva de consumo de sustrato mostrándose en cada una de las gráficas una ecuación polinomial de segundo grado y la cual describe el comportamiento de la misma, seguidamente hacer una destilación simple para cada muestra, al destilado se le determinó los parámetros de destilado del volumen – flujo de cabeza, cuerpo y cola. A los dos procesos anteriores se le realizó un balance de masa donde se detalla las entradas, salidas de materia y las pérdidas que el proceso tiene a las cuales se puede mejorar.

Se caracterizó el destilado de las muestras por densidad el cual fue 0.9981 ± 0.0025 g/mL y 1.0087 ± 0.0030 g/mL respectivamente y cromatografía de gases con espectrómetro de masas, donde se detalla los compuestos y su porcentaje contenido en cada muestra. Por último se determinó el porcentaje de extracción del etanol para la variedad de piña MD2 fue de $11.12 \pm 0.024\%$ y para la variedad de piña HAWAIANA fue de $9.88 \pm 0.024\%$.

Palabras Claves: bioetanol, Ananás Comosus, fermentación, destilación.

ÍNDICE GENERAL

I.	Introducción	1
1.1	Lo escrito sobre el tema	2
1.2	Marco teórico	4
	cultivo de piña	4
	Producción de piña en guatemala.....	4
	Componentes de la piña	5
	Desechos de piña	5
	Levaduras	6
	Condiciones requeridas para las levaduras	7
	Saccharomyces cerevisiea	8
	Crecimiento celular	9
	Azucares	10
	Fermentación alcoholica	11
	Azeótropo.....	12
	Destilación	13
	Producción de etanol	22
	Bioetanol	22
	Grados brix	23
	cromatografía	23
II.	Planteamiento del problema	26
2.1.	Objetivos	27
2.2.	Hipótesis	27
2.3.	Variables	27
2.4.	Definición de variables	28
2.5.	Alcances y límites	30
2.6.	Aportes.....	31
III.	Metodología.....	32
3.1.	Sujetos y unidades de análisis	32
3.2.	Instrumentos	33
3.3.	Procedimiento	38
3.4.	Diseño y metodologia estadistica.....	40

IV.	Resultados.....	43
4.1.	Curvas de consumo de sustrato.	43
4.2.	Parámetro de volumen de destilado.....	46
4.3.	Balances de masa.....	46
4.4.	Caracterización del destilado por medio de densidad.....	50
4.5.	Caracterización del destilado por medio de cromatografía de gases – espectrometro de masas.....	51
4.6.	Comparación de porcentaje de etanol obtenido.....	51
V.	Discusión de resultados	53
VI.	Conclusiones.....	58
VII.	Recomendaciones.....	59
VIII.	Referencias	60
IX.	Glosario	62
X.	Anexo	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1:	Clasificación taxonómica.	4
Tabla No. 2:	Composición química de piña.....	5
Tabla No. 3:	Composición química de los desechos líquidos de piña En el procesamiento de piña enlatada de variedad no reportada.	6
Tabla No. 4:	Deterioro de alimentos por levaduras.	7
Tabla No. 5:	Carbohidratos fermentables de la levadura saccharomyces cerevisiae.	8
Tabla No. 6:	Azeótropos comunes.	13
Tabla No. 7:	Instrumentos o equipos utilizados.....	33
Tabla No. 8:	Equipo de protección utilizado.	37
Tabla No. 9:	Experimentos.	40
Tabla No. 10:	Variables respuesta.	41
Tabla No. 11:	Volumen de destilado promedio, variedad MD2.	46
Tabla No. 12:	Volumen de destilado promedio, variedad hawaiana.....	46
Tabla No. 13:	Densidad promedio, variedad MD2.....	50
Tabla No. 14:	Densidad promedio, variedad hawaiana.....	50
Tabla No. 15:	Porcentaje de área reportado promedio, variedad MD2.	51
Tabla No. 16:	Porcentaje de área reportado promedio, variedad hawaiana.	51
Tabla No. 17:	Porcentaje promedio de etanol, variedad MD2.....	51
Tabla No. 18:	Porcentaje promedio de etanol, variedad hawaiana.	52
Tabla No. 20:	pH iniciales para la mezcla sin pasteurizar variedad MD2.....	63
Tabla No. 21:	pH iniciales para la mezcla pasteurizada variedad MD2.....	63

Tabla No. 22: Grados Brix iniciales para la mezcla sin pasteurizar y pasteurizada variedad MD2.	63
Tabla No. 23: pH iniciales para la mezcla sin pasteurizar variedad hawaiana.	64
Tabla No. 24: pH iniciales para la mezcla pasteurizada variedad hawaiana.	64
Tabla No. 25: Grados Brix iniciales para la mezcla sin pasteurizar y pasteurizada variedad hawaiana.	64
Tabla No. 26: Masa de bagazo retirada después de la operación de fermentación, variedad MD2.	64
Tabla No. 27: Masa de bagazo retirada después de la operación de fermentación, variedad hawaiana.	65
Tabla No. 28: Masas y volúmenes para el cálculo de densidad variedad MD2. ...	65
Tabla No. 29: Masas y volúmenes para el cálculo de densidad variedad hawaiana.	65
Tabla No. 30: Volumen de destilado M1, variedad MD2.	65
Tabla No. 31: Volumen de destilado M2, variedad MD2.	66
Tabla No. 32: Volumen de destilado M3, variedad MD2.	66
Tabla No. 33: Volumen de destilado M4, variedad hawaiana.	66
Tabla No. 34: Volumen de destilado M5, variedad hawaiana.	66
Tabla No. 35: Volumen de destilado M6, variedad hawaiana.	67
Tabla No. 36: Densidades para muestras M1, M2, M3, variedad MD2.	67
Tabla No. 37: Densidades para muestras M4, M5, M6, variedad hawaiana.	67
Tabla No. 38: Reporte de porcentajes de áreas para M1, variedad MD2.	67
Tabla No. 39: Reporte de porcentajes de áreas para M2, variedad MD2.	68
Tabla No. 40: Reporte de porcentajes de áreas para M3, variedad MD2.	68
Tabla No. 41: Reporte de porcentajes de áreas para M4, variedad hawaiana.	68
Tabla No. 42: Reporte de porcentajes de áreas para M5, variedad hawaiana.	69
Tabla No. 43: Reporte de porcentajes de áreas para M6, variedad hawaiana.	69
Tabla No. 44: Porcentaje de etanol para muestras M1, M2, M3, variedad Md2.	69
Tabla No. 45: Porcentaje de etanol para muestras M4, M5, M6, variedad hawaiana.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1: Estructura de levadura.	7
Figura No. 2: Ciclo de vida de las levaduras ascosporadas.	9
Figura No. 3: Crecimiento celular.	10
Figura No. 4: Azúcares reductores y no reductores.	11
Figura No. 5: Fermentación alcohólica.	12
Figura No. 6: Azeótropo en punto de ebullición máxima y mínima.	12
Figura No. 7: Destilación simple.	14
Figura No. 8: Destilación fraccionada.	14
Figura No. 9: Curva de composición Etanol-Agua.	15
Figura No. 10: Presión en la composición azeotrópica etanol-agua.	16

Figura No. 11: Sistema de destilación al Vacío.	16
Figura No. 12: Sistema de destilación Azeotrópica.	17
Figura No. 13: Sistema de destilación Extractiva con Solvente.....	18
Figura No. 15: Sistema de absorción con tamices moleculares.....	20
Figura No. 16: Sistema de pervaporación.	21
Figura No. 17: Sistema de procesos Híbridos.	21
Figura No. 18: Refractómetro.	23
Figura No. 19: Cromatografía gases – espectrómetro de masas.....	24
Figura No. 20: Cromatograma para la M1, variedad MD2.....	71
Figura No. 21: Cromatograma para la M2, variedad MD2.....	72
Figura No. 22: Cromatograma para la M3, variedad MD2.....	73
Figura No. 23: Cromatograma para la M4, variedad HAWAIANA.	74
Figura No. 24: Cromatograma para la M5, variedad HAWAIANA.	75
Figura No. 25: Cromatograma para la M6, variedad HAWAIANA.	76
Figura No. 26: Variedad MD2 utilizada.....	77
Figura No. 27: Variedad HAWAIANA utilizada.	77
Figura No. 28: Retiro y corte de la cáscara de las piñas.	78
Figura No. 29: Licuado de las cáscaras para obtener la mezcla.	78
Figura No. 30: Mezcla sin pasteurizar y pasteurizada.	79
Figura No. 31: Medición inicial de grados Brix y pH para las muestras.....	79
Figura No. 32: Levadura activa.	80
Figura No. 33: Distribución de la mezcla para fermentar en muestras variedad MD2.....	80
Figura No. 34: Distribución de la mezcla para fermentar en muestras variedad HAWAIANA.	81
Figura No. 35: Medición de grados Brix durante la fermentación.....	81
Figura No. 36: Separación entre el Bagazo y Fermentado.	82
Figura No. 37: Destilación simple del fermentado.	82
Figura No. 38: Determinación de la densidad.	83

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica No. 1: Curva de consumo de sustrato M1, variedad MD2.	43
Grafica No. 2: Curva de consumo de sustrato M2, variedad MD2.	43
Grafica No. 3: Curva de consumo de sustrato M3, variedad MD2.	44
Grafica No. 4: Curva de consumo de sustrato M4, variedad HAWAIANA.....	44
Grafica No. 5: Curva de consumo de sustrato M5, variedad HAWAIANA.....	45
Grafica No. 6: Curva de consumo de sustrato M6, variedad HAWAIANA.....	45

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama No. 1: Procedimiento para cascara de piña variedad MD2 ó HAWAIANA.	38
Diagrama No. 2: Balance de masa para piña variedad MD2.	46
Diagrama No. 3: Balance de masa para M1, variedad MD2.	47
Diagrama No. 4: Balance de masa para M2, variedad MD2.	47
Diagrama No. 5: Balance de masa para M3, variedad MD2.	48
Diagrama No. 6: Balance de masa para piña variedad HAWAIANA.	48
Diagrama No. 7: Balance de masa para M4, variedad HAWAIANA.	49
Diagrama No. 8: Balance de masa para M5, variedad HAWAIANA.	49
Diagrama No. 9: Balance de masa para M6, variedad HAWAIANA.	50

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación No. 1: Cociente de varianza.	41
Ecuación No. 2: Promedio simple.	42
Ecuación No. 3: Número de repeticiones.	42

I. INTRODUCCIÓN

Los biocombustibles ayudan en gran parte a la reducción de emisiones dañinas de los vehículos y los gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global. En Guatemala existen cinco destilerías que producen actualmente bioetanol, estas son a partir de la melaza que es residuo del proceso de la caña de azúcar y constan de una capacidad instalada de 790 millones de litros al día y actualmente más del 80% del etanol es exportado principalmente a Europa y EEUU. Se propone iniciar con E10 en Guatemala lo que indica es una mezcla de 10% etanol y 90% gasolina, como parte de una Política Energética para beneficiarse del uso de combustibles renovables y tener un desarrollo sostenible. (Asociación de Combustibles Renovables, 2017).

La producción de la piña tiene un aproximado de 2,000 hectáreas y de los cuales son generados en los departamentos de la república como: Guatemala, Izabal, Escuintla, Santa Rosa y Retalhuleu, siendo uno de los productos agrícolas más producidos en Guatemala, desde el año 2008 para el 2015 se aumentó la producción en un 23.58% (MAGA, 2016).

Las variedades de piña como la Hawaiana y MD2 son producidas en Guatemala, ya que estas tienen mucha demanda no solo nacionalmente, sino también en el extranjero por su sabor, consistencia y durabilidad. La diferencia que existe para estas variedades son los azúcares contenidos en cada una, ya que para la variedad MD2 su pulpa es dulce de coloración amarilla y su cáscara color dorada, mientras que la variedad Hawaiana su pulpa es dulce de coloración amarillo oro y cáscara de color rojiza, por lo que el contenido es alto en azúcares para estas variedades teniendo una aproximación de 15° a 17° Brix (Corella, 2013).

El trabajo de graduación tiene por objetivo principal comparar el rendimiento de la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de piña (Ananás Comosus) de la variedad Hawaiana y de la variedad MD2 por método de fermentación y destilación. La piña (Ananás Comosus) es una planta herbácea, terrestre, esta crece aproximadamente un metro de alto y es de tallo corto. Esta pertenece a la familia de las bromeliácea originarias de América del centro y del sur. La temperatura a la cual estas se desarrollan están comprendidas entre los 23 y 30° centígrados, siendo el óptimo de 27° centígrados. Este es uno de los factores más importantes ya que de ello depende la formación, madurez y calidad del fruto (Pac, 2005).

1.1 LO ESCRITO SOBRE EL TEMA

En el trabajo de grado del autor Corella (2013) de la Universidad de Costa Rica, el cual como objetivo principal era evaluar el desempeño de la producción de bioetanol a partir del corazón, la cascara de piña utilizando la levadura *Saccharomyces Cerevisiae*, donde se expresa que la producción máxima que se obtuvo de bioetanol fue de 1.6 %v/v., y esto comparado con las producciones industriales es un valor bajo, y lo que se recomienda para una mejor obtención de bioetanol sería concentrar más el sustrato para tener más licores y una mayor eficiencia en el proceso.

En el trabajo de grado de los autores Hernández, Martínez (2012) de la Universidad de El Salvador, el cual como objetivo principal era obtener etanol por vía fermentativa a partir de cáscaras de Ananás *Comosus* (piña variedad Golden) evaluando dos de sus principales variables (pH y grados Brix) usando como microorganismo productor *Saccharomyces Cerevisiae*, donde la fermentación óptima de máxima producción de etanol se da cuando el medio se obtiene un grado Brix 20, un pH 4 y microorganismo productor, hasta una concentración de células iniciales de 10^6 y con un tiempo de fermentación de 72 horas, y lo que se recomienda es el estudio de otras levaduras que son capaces de producción de etanol para aumentar el comportamiento metabólico en la fermentación alcohólica para obtener mayor etanol.

En el Artículo de los autores Tejeda, Tejeda, Villabona, Alvear, Castillo, Henao, Marimón, Madariaga y Tarón (2010) de la Universidad de Cartagena, el cual como objetivo principal era obtener bioetanol a partir de cáscaras de naranja (*Citrus Sinensis*) y piña (*Ananás Sativus*), donde el etanol obtenido con las cáscaras de naranja fue de 8.4 mg/g y con las cáscaras de piña fue de 1.0 mg/g, por lo cual el etanol fue mayor en naranja que en piña, por lo que se recomienda que los residuos no aprovechados sean estudiados para determinar los azúcares reductores con lo cual obtener mayor contenido de etanol.

En el trabajo de grado del autor Giro (2016) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el cual como objetivo principal era comparar la cantidad de bioetanol por hidrólisis ácida de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) y la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) variando el tamaño de partícula y porcentaje de ácido sulfúrico, obteniendo con la cascara de naranja con un tamaño de partícula de 2 y 1.69mm, de ácido sulfúrico del 4% un porcentaje de 0.21 y 0.089% de etanol

respectivamente y con la cascara de plátano con el mismo tamaño de partícula y mismo ácido sulfúrico un porcentaje de 1.85 y 7.78% de etanol respectivamente, por lo cual el etanol fue mayor para el plátano que la naranja, por lo que se recomienda utilizar otros tipos de pretratamientos como fibras de explosión de amoníaco y autohidrolisis para el favorecimiento de obtención de azúcares reductores durante la hidrolisis ácida.

En el Artículo de los autores Cruz, Mendoza, Chávez, Rivera, Cruz (2011) de Instituto Tecnológico de Ciudad Madero y la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual como objetivo principal era obtener celulosa y bioetanol de la piña, obteniendo que por cada 5 gramos de bagazo de piña se obtienen 1.185 mL de bioetanol dando por consiguiente un rendimiento del 18.70%, por lo que se recomienda que para un mayor rendimiento las condiciones deben de estar a 30°C y 48 horas para el bagazo y 72 horas para la celulosa.

1.2 MARCO TEÓRICO

❖ CULTIVO DE PIÑA

La piña (Ananá Comosus) es una planta herbácea perenne, terrestre, esta crece aproximadamente un metro de alto, es de tallo corto, hojas que actúan como áreas de conducción y contenido como tanques reservorios. Esta misma pertenece a la familia de las Bromeliácea siendo originarias de América del centro y del sur. El nombre de la piña fue asignado por españoles en el cual les recordaba a frutos del pino por lo que su verdadero nombre de origen guaraní es Ananá de donde proviene el nombre científico de esta. Además de ello la clasificación taxonómica que este puede tener es la siguiente:

Tabla No. 1: Clasificación Taxonómica.

Reino:	Vegetal
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Bromeliales
Familia:	Bromeliaceae
Género:	<i>Ananas</i>
Especie:	<i>A. comosus (L) Merr.</i>

Fuente: Pac (2005).

La temperatura anual requerida para el desarrollo de la piña oscila entre los 23 y 30° centígrados, pero para ello el óptimo esperado es de 27° centígrados. Estas temperaturas son factores importantes en la producción ya que es un papel importante en la formación, madurez y calidad del fruto. (Pac, 2005)

❖ VARIEDADES DE PIÑA

La Variedad MD2 es una piña de color amarillo, este es sin espinas, sus flores son de color amarillo con un peso promedio de 1.8 a 2.0 kilos., esta también es conocida como Golden, Extra Sweet y Maya Gold. Es un híbrido desarrollado para la mayor parte de exportación. La piña es uno de los mejores frutos tropicales y por esta razón este es sembrado en las áreas de: Santa Lucía Cotzumalguapa y Nueva Concepción en Escuintla, Santo Domingo Suchitepéquez en Suchitepéquez y en Coatepeque en Quetzaltenango. (Pac, 2005)

La Variedad Hawaiana es una piña de color amarillo, esta no tiene espinas, sus flores son de color verde o rojizo con un peso promedio de 3.2 kilos., esta también es conocida como Cayena Lisa, se caracteriza por su forma cilíndrica alargada con pulpa de color blanco que puede ser utilizada en conservas o consumo en fresco. Esta es sembrada en la zona de Retalhuleu, Escuintla y Suchitepéquez. (Pac, 2005)

❖ PRODUCCIÓN DE PIÑA EN GUATEMALA

El cultivo de la piña fue introducido a Guatemala en 1920 por una empresa alemana siendo variedades como la azucarona, española roja, Cayena lisa en establecerse

en el territorio nacional. La producción de la piña es de un aproximado de 2,000 hectáreas y los cuales son generados en departamentos de la república como: Guatemala, Izabal, Escuintla, Santa Rosa y Retalhuleu. (Pac, 2005)

❖ COMPONENTES DE LA PIÑA

La piña está constituida por 80 a 85% de agua y entre 12 y 15% de azúcares de los cuales las dos terceras partes se encuentran en forma de sacarosa y el resto es fructuosa y glucosa, por lo cual esta misma no contiene almidón y su contenido de proteínas y grasas es bajo, además contiene de 0.6 a 0.9% de ácidos de los cuales un 87% de estos es ácido cítrico y el resto es ácido málico. Sus componentes son muy ricos en Vitamina C y Vitaminas B1, B2 y B6. (Reyes, 2014).

Tabla No. 2: Composición Química de Piña.

Calorías	49.0 cal/g	Manganeso	0.6 mg
Agua	86.2 %	Hierro	0.6 mg
Sacarosa	66 %	Sodio	0.5 mg
Glucosa	17 %	Cobre	0.04 mg
Fructosa	17 %	Vitamina A	80.0 IU
Acido cítrico	0.6 %	Vitamina C	9.0 mg
Cenizas*	0.4 %	Vitamina B ₆	0.76 mg
Proteínas*	0.3 %	Vitamina B ₁	0.05 mg
Grasas*	0.1 %	Vitamina B ₂	0.02 mg
Fibra*	0.1 %	Ac. Pantoténico	0.1 mg
pH	3.7	Ac. Fólico	0.001 mg
Potasio	140.0 mg	Bromelina	41.1 mg
Calcio	15.0 mg	Oxalatos	6.3 mg
Magnesio	12.0 mg	Acido málico	0.5%
Fosforo	8.0 mg		

Fuente: Hernández y Martínez (2012)

❖ DESECHOS DE PIÑA

Los desechos que se industrializan de la piña constituyen en un 55 a un 65% del fruto, entre estos la corona, el corazón y las cascara, que se generan, los residuos se tratan mediante sistemas de presentados y triturados, sedimentado y separado se puede recuperar un 50% de la fase sólida. (Corella, 2013)

Para ello los desechos tienen su composición química residual los cuales se reflejan de la siguiente manera.

Tabla No. 3: Composición química de los desechos líquidos de piña en el procesamiento de piña enlatada de variedad no reportada.

Composición (g/L)	Desecho líquido de la piña	
	Antes de esterilizar	Después de esterilizar
Oxígeno disuelto	100,8	103,7
Azúcares reductores	39,20	41,20
Azúcares totales	100,0	100,9
Dextrano	1,50	1,50
Rafinosa	2,60	1,50
Sacarosa	40,1	40,1
Glucosa	23,6	23,6
Galactosa	1,70	2,10
Fructuosa	14,0	15,6
Proteína	0,90	-

Fuente: Corella (2013).

Los desechos de la cascara de piña son ricos en lignina y celulosa por lo que pueden ser bencilados con finalidad de obtener otros materiales similares a los plásticos. Además de ello los desechos de la piña pueden ser utilizados para agricultura y para aprovechamiento de las fibras de la cascara y hojas, mientras que los desechos internos de la piña pueden ser utilizados para jabones. (Corella, 2013)

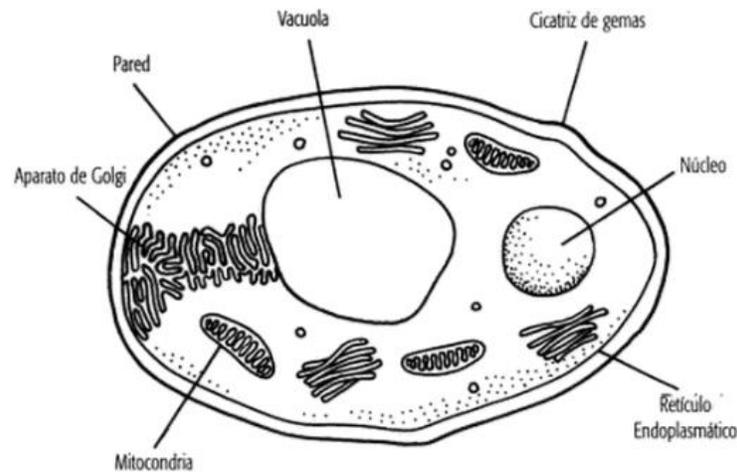
❖ LEVADURAS

Las levaduras se encuentran agrupadas en unas 350 especies lo que muestra que dentro de los hongos constituyen un grupo pequeño, estas son bastante heterogéneas en su morfología y fisiología, ya que la forma habitual en que se les encuentran es la unicelular. Estas levaduras de forma unicelular o de levadura presentan micelio lo cual en ambas formas se dan simultáneamente en el medio donde se encuentran los microorganismos independientemente de las condiciones. (García, 2004)

Las células de las levaduras son relativamente grandes ya que su tamaño varía entre 1 – 5 µm de ancho por 5 a 30 µm de largo, aunque algunas oscilas entre 3 y 8 µm de diámetro. Dentro de ello la levadura tiene forma ovoide pero también las hay de otras formas como las alargadas, esféricas, de forma de pera o de limón e incluso triangulares, para ello el cultivo puro se puede observar que existe variaciones en el tamaño y la forma de la célula, ya que puede depender de la edad del cultivo y del medio donde estas se encuentren. (García, 2004)

La estructura de la levadura es una célula eucariótica, y esta al verla al microscopio se puede observar la pared celular, el citoplasma con vacuolas, glóbulos de grasa y gránulos metacromáticos. Estas a su vez no poseen flagelos ni otro órgano de locomoción. (García, 2004)

Figura No. 1: Estructura de levadura.



Fuente: García (2004)

Deferentes tipos de levaduras que pueden degradar diferentes alimentos para poder producir diferentes productos.

Tabla No. 4: Deterioro de alimentos por Levaduras.

Levadura	Producto que deteriora	Alteración
<i>Kloeckera apiculata</i>	Vinos	Sabor anormal, baja el grado alcohólico
<i>Zygosaccharomyces mellis</i>	Miel de abejas	Sabor anormal, oscurecimiento
<i>Debaryomyces hloeckeri</i>	Salchichas	Viscosidad en la superficie
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Jugos de fruta	Fermentación con producción de CO ₂ y alcohol
<i>Saccharomyces pastorianus</i>	Cerveza	Sabor amargo, turbidez
<i>Candida sp.</i>	Refrescos gaseosos	Turbidez

Fuente: García (2004)

❖ CONDICIONES REQUERIDAS PARA LAS LEVADURAS

❖ OXÍGENO

Las levaduras crecen bajo condiciones aerobias, algunas de estas son estrictamente aerobias y otras son facultativas, estas mismas crecen mejor en aerobiosis y bajo condiciones anaerobias lo que lo hacen más lentamente. Las levaduras aerobias son conocidas como oxidativas ya que son estrictas y estas pueden desarrollarse tanto por medios aerobios como anaerobios donde se le conocen por fermentativas. (García, 2004)

❖ pH

Este se considera como las levaduras al igual que los mohos se desarrollan mejor en condiciones de medios ácidos que es un rango de 3.8 a 5.6 de pH, sin embargo, estas pueden tolerar un rango que va desde 2.0 a 8.0 de pH. (García, 2004)

❖ TEMPRATURA

Existen levaduras las cuales pueden crecer dentro de diversas temperaturas, generalmente estas van en un rango de 0 a 50 °C, para la mayoría de las especies saprófitas tienen temperaturas óptimas en su crecimiento que van en un rango de 22 a 30°C. (García, 2004)

❖ CONCENTRACION DE SOLUTOS

Las levaduras generalmente pueden ser desarrolladas en medios con concentraciones altas de solutos, para ello existe un grupo de levaduras que tolera cantidades de solutos aún mayores, por lo que a estas levaduras pueden ser conocidas como osmófilas. Estas a su vez tienen importancia en el deterioro de alimentos tales como la miel, los siropes y los concentrados de frutas. (García, 2004)

❖ SACCHAROMYCES CEREVISIAE

Esta levadura es una de las más cultivadas, las células de cultivos jóvenes son redondas, ovaladas u oviformes de aproximadamente de 3 – 7 µm de ancho por 4 – 14 µm de largo. Esta relación entre la longitud y la anchura siempre por lo general es menor a 2 µm, ya que con frecuencia se encuentran cadenas celulares rígidas ramificadas, sobre todo en los cultivos que se encuentran en cámara húmeda ya que los límites de temperatura para la formación de células se encuentran en un rango entre los 3 y 40°C. Los carbohidratos fermentables de esta levadura se pueden variar con la excepción de lactosa y del almidón ya que estos no poseen enzimas adecuadas para hidrolizar o fermentar. (Hernández, Martínez, 2012)

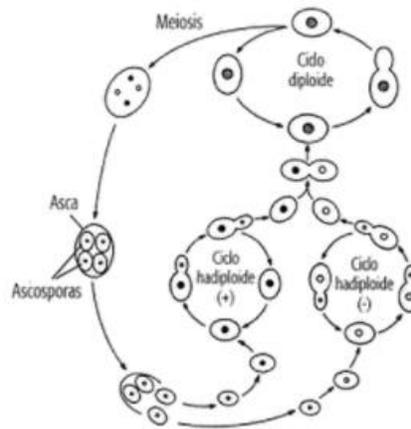
Tabla No. 5: Carbohidratos fermentables de la Levadura *Saccharomyces Cerevisiae*.

Fermentación	
Glucosa	+
Galactosa	+
Sacarosa	+
Maltosa	+
Lactosa	-
Rafinosa	1/3

Fuente: Hernández y Martínez (2012)

La mayoría de las levaduras que son ascosporadas y que es una de las especies más utilizadas para la fermentación alcohólica *Saccharomyces Cerevisiae*, es considerada que el ciclo de esta reproducción es el representativo de la mayoría de levaduras. La reproducción sexual de la misma ocurre cuando la fusión de dos células vegetativas es compatible, estas células que se van a aparear son puestas en contacto y se disuelven en sus paredes en el punto correspondiente, lo cual produce la plasmogamia o fusión de plasmas. (García, 2004)

Figura No. 2: Ciclo de vida de las levaduras ascosporadas.



Fuente: García (2004)

Las levaduras utilizadas en fermentación deben de tener características como la tolerancia al etanol, las altas temperaturas, las altas concentraciones de azúcares, rendimiento alcohólico, eficiencia en la fermentación y productividad. (Hernández y Martínez, 2012)

La tolerancia al etanol es uno de los elementos más importantes en la selección de la levadura ya que su capacidad de mantenerse activa en condiciones crecientes de concentración alcohólica en medios dependerá del proceso. Casi todas las levaduras son sensibles a la temperatura cuando esta es elevada, la productividad de la misma tiende a disminuir y los sistemas de enfriamientos son costosos por lo que la razón económica de cepas de levadura termotolerantes hace que estas trabajen a temperaturas por encima de los 40°C sin tener ninguna pérdida de eficiencia y que se mantenga la estabilidad genética. Cuando se trabaja a concentraciones altas de azúcares se produce una mayor eficiencia y productividad del proceso de fermentación. (Hernández y Martínez, 2012)

❖ CRECIMIENTO CELULAR

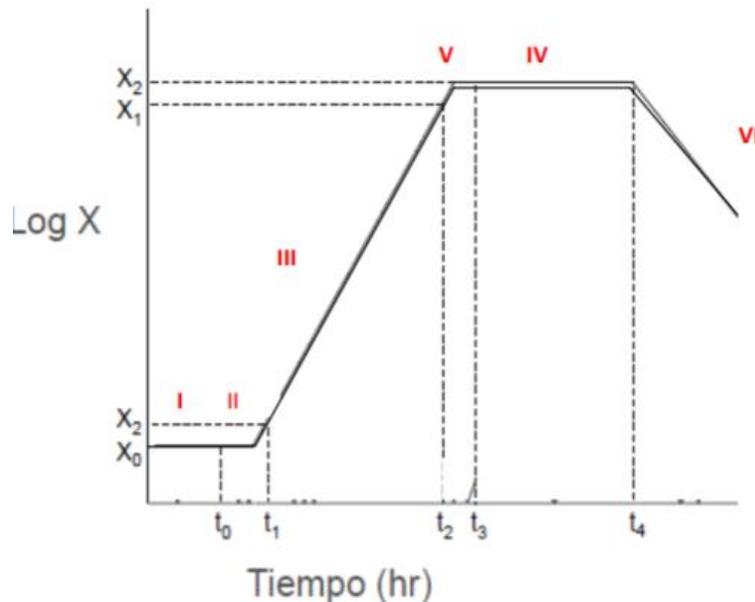
Fase 1: En esta fase se da la adaptación de los microorganismos al medio de producción en la cual no se produce multiplicación celular.

Fase 2: Las células comienzan a dividirse generando una nueva producción elevada de células hijas que poco a poco se adaptan al medio de producción.

Fase 3: En esta parte el cultivo está en estado auto catalítico, donde el crecimiento celular es incrementado exponencialmente en un periodo corto.

Fase 4,5 y 6: Cuando se finaliza el periodo de incremento exponencial, se da el agotamiento de un sustrato, hay acumulación de un inhibidor y por ultimo otras causas ajenas al crecimiento. (Hernández y Martínez, 2012)

Figura No. 3: Crecimiento Celular.



Fuente: Hernández y Martínez (2012)

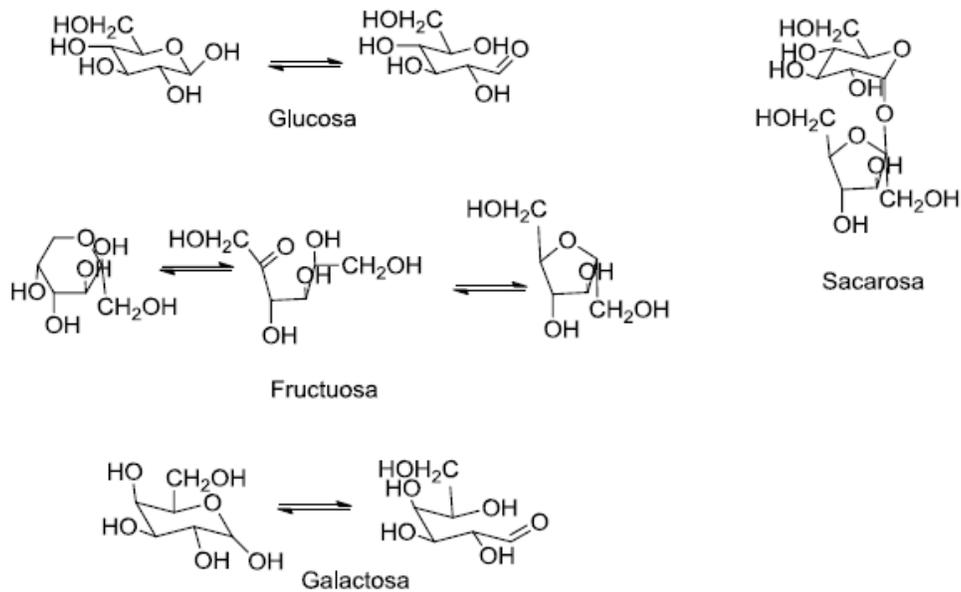
❖ AZUCARES

Los azúcares son divididos en dos clases, los sencillos son los monosacáridos mientras que los complejos son uniones de dos o más monosacáridos donde se encuentran unidos los disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. (Corella, 2013)

❖ AZÚCARES REDUCTORES Y NO REDUCTORES

Los azúcares reductores son aquellos que poseen grupos aldehídos, cetonas, hemiacetal o hemicetal que pueden reducir, por lo que estos son considerados azúcares reductores, si en caso alguno se carece de estos grupos son considerados azúcares no reductores. Los principales azúcares reductores presentes en la piña son: la glucosa, galactosa y fructuosa, además de ello también se encuentra en abundancia la sacarosa que es un azúcar no reductor ya que el enlace glucosídico se establece entre un carbono anomérico de la glucosa y un carbono anomérico de la fructuosa, por lo cual, evita la presencia de enlaces hemiacetales o hemicetales. (Corella, 2013)

Figura No. 4: Azúcares Reductores y no Reductores.



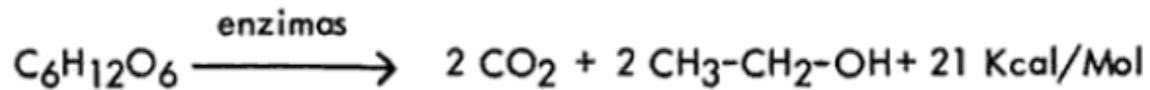
Fuente: Corella (2013)

❖ FERMENTACIÓN ALCOHOLICA

La fermentación es una forma de respiración anaeróbica en la cual también puede ser llamada una respiración intramolecular, esta es generalmente dada por microorganismos como ciertos hongos y bacterias. Dentro de la fermentación sus productos son muy variados, estos dependen del sustrato, el microorganismo y los factores en los que se controla el proceso. Los productos más comunes producidos son: alcohol etílico, ácido butírico, ácido cítrico y ácido acético, estos tipos de fermentaciones son designados según el contenido, por lo que la presencia de oxígeno gaseoso es necesario para algunas fermentaciones. (Müller, 1964)

La fermentación alcohólica es efectuada en ausencia de oxígeno molecular, y se emplea en proceso conocido en el vino y la cerveza que son productos primarios importantes. Uno de los procesos de fermentación como la glucólisis se tiene lugar con respiración aeróbica. En la fermentación alcohólica ocurre una descarboxilación del ácido pirúvico formando un acetaldehído que sirve luego en lugar de oxígeno gaseoso del aire como aceptor de hidrógenos y forma el alcohol etílico, además de ello este proceso es menos eficiente que la respiración aeróbica en lo que se refiere a la energía liberada. (Müller, 1964)

Figura No. 5: Fermentación Alcohólica.



Fuente: Müller (1964)

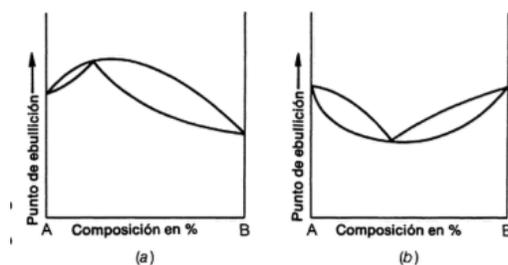
Las materias primas para poder realizar la fermentación alcohólica es generalmente usado jugo de frutas, los cuales contienen glucosa y fructuosa y que son fáciles de fermentar al igual que la sacarosa. Sin embargo, no todas las azúcares funcionan como sustrato para las levaduras, al igual que los almidones no se pueden fermentar por cuanto las células de la levadura ya que carecen de las enzimas amilasa. Durante los procesos de la fermentación uno de los productos más producidos es el CO_2 , este constantemente se escapa mientras el alcohol etílico se acumula, en este caso si la proporción de alcohol llega a cierto nivel inhibe la actividad de la levadura, por lo que, aunque no todo el azúcar no haya sido fermentado. Este nivel de alcohol es una característica de la raza de la levadura empleada ya que por lo general no excede en un 15 a 18% de tolerancia. (Müller, 1964)

❖ AZEÓTROPO

En una mezcla de dos o más líquidos da un vapor que está en equilibrio con la fase líquida y que esta tiene la misma composición que el líquido, cuando este establece un equilibrio entre las fases líquida y vapor se puede decir que se ha formado un azeótropo. La mezcla de componentes se destilará sin variación de la composición hasta que uno de ellos se haya consumido, además de ello, antes que se haya eliminado uno de los dos componentes de la mezcla completamente no se puede lograr la separación sea cual fuese la eficacia de la columna.

Dentro de los azeótropo se conocen de punto de ebullición máximo como mínimo, por lo que los azeótropo de punto de ebullición mínimo son los más comunes representándose de la siguiente manera. (Durst y Gokel, 1985).

Figura No. 6: Azeótropo en punto de ebullición máxima y mínima.



Fuente: Durst y Gokel (1985).

Los azeótropos no se forman solo entre dos componentes tan similares como lo es el etanol y el agua, así mismo, como el hidrocarburo tolueno, que tiene parecido

alguno con el agua, forma un azeótropo con ella. El porcentaje de agua en los azeótropos como el tolueno es mayor al del azeótropo del etanol. Cuando la destilación del tolueno provoca primero la eliminación del azeótropo que deja por último tolueno seco. Cuando la eliminación de los azeótropos sucede en los hidrocarburos se le llama destilación azeotrópica. (Durst y Gokel, 1985).

Tabla No. 6: Azeótropos comunes.

Mezcla	Puntos de ebullición de los azeótropos, °C	Composición
Benceno-agua	69.4	8.9% agua
Tolueno-agua	85.0	20.2% agua
Etanol-agua	78.0	5% agua
Etanol-benceno	67.8	32.4% etanol ol
Metanol-benceno	58.3	39.5% metanol ol
Metanol-tetracloruro de carbono	55.7	20.6% metanol ol
Hexano-agua	61.6	12.9% agua
Clorobenceno-agua	90.0	20% agua

Fuente: Durst y Gokel (1985).

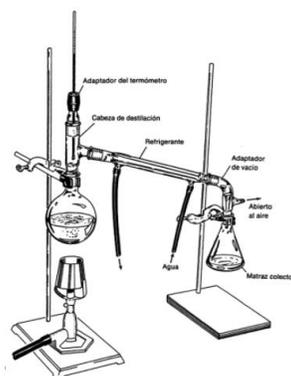
❖ DESTILACIÓN

Este es un método para separar componentes de una solución, y este depende de la distribución de sustancias entre la fase gaseosa y una fase líquida y en la cual se aplica a los casos en que todos los componentes están presentes en las dos fases. Por otra parte, la destilación posee ciertas limitaciones como proceso de separación ya que en la absorción u operaciones similares en donde se ha acordado introducir sustancias donde para obtener una nueva fase con fines de distribución se escoge generalmente una gran variedad de disolventes con el fin de obtener la mayor separación posible. Dentro de las destilaciones se encuentran diferentes clasificaciones como Destilación Simple y Destilación Fraccionada. (Treybal, 1988)

❖ DESTILACIÓN SIMPLE

El vapor que en esta destilación se da abandona el calderín y pasa directamente al condensador total y el líquido condensado se recoge directamente en un recipiente. Además, no hay reflujo, y en el primer vapor que abandona el calderín es mucho más rico en el componente liviano que la carga original ya que en este actúa como una etapa de separación teórica. Dentro de la manera en que avanza el proceso de destilado el componente más ligero se diluye con el componente pesado, y para ello existe una relación en el cual se debe conocer la composición en equilibrio y la composición de alimentación con la de residuo. (Johnson, 1981)

Figura No. 7: Destilación Simple.

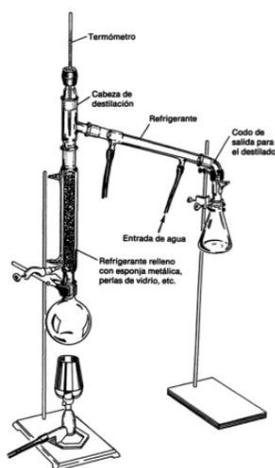


Fuente: Durst y Gokel (1985).

❖ DESTILACIÓN FRACCIONADA

En esta destilación se emplea para separar dos o más compuestos volátiles, el principio de la misma es basado en la ejecución de ciclos teóricos de condensación- evaporación, y en el cual la columna de fraccionamiento se produce un equilibrio entre el líquido del condensado que desciende en el interior y los vapores ascendentes, por lo que produce el efecto de múltiples ciclos de evaporación- condensación. Para la longitud y tipo de columna de fraccionamiento depende del punto de ebullición de los componentes que se necesitan separar, esto a su vez consigue separaciones adecuadas los cuales difieren en los puntos de ebullición entre unos 15 o 20°C. (Johnson, 1981)

Figura No. 8: Destilación Fraccionada.



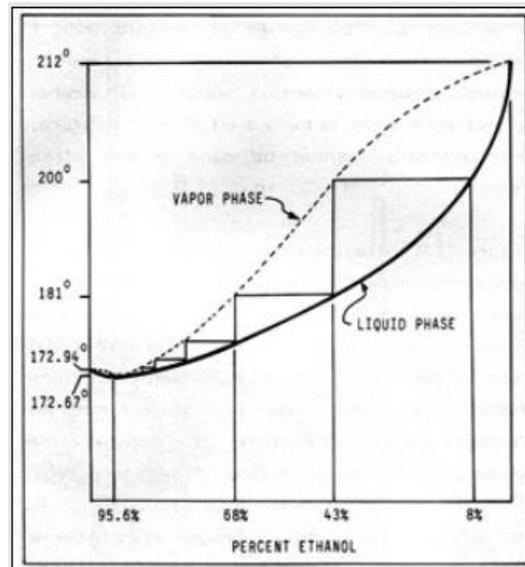
Fuente: Durst y Gokel, (1985).

❖ DESTILACIÓN DE ETANOL

La destilación del etanol se realiza para la separación de componentes de la mezcla que en mayor proporción es agua, esta al producir etanol para combustible debe ser separado completamente del agua ya que se requiere mezclar con la gasolina

o la mayor parte si lo que se quiere es quemarlo en un motor adaptado. La separación se lleva a cabo por la diferencia de temperaturas ya que el etanol hierve a 78°C y el agua a 100°C., cuando la mezcla hierve la mezcla que existen entre el alcohol y el agua, el vapor generado es en mayor proporción alcohol que de agua. Sin embargo, esta mezcla no forma una mezcla ideal por lo que la separación no puede hacerse en un solo paso. (Mathewson S.W., 1980).

Figura No. 9: Curva de composición Etanol-Agua.



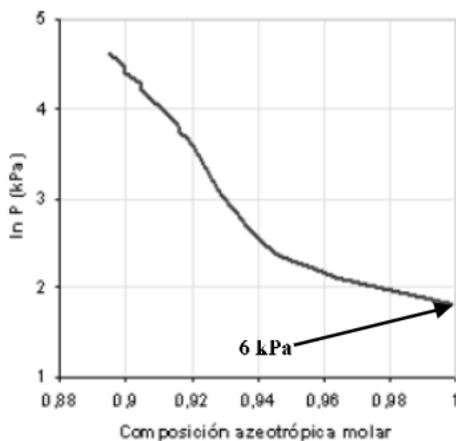
Fuente: Mathewson (1980).

Según la Figura No. 10, la curva continua es la relación que existe entre la temperatura de ebullición y la mezcla líquida, la discontinua es la representación del vapor. Cuando se tiene un porcentaje de 8% de etanol la mezcla se encuentra aproximadamente en 200°F (93°C), al estar en esta temperatura el vapor existente contiene un 43% de etanol, cuando se está a este punto se debería de redestilar el vapor condensado de la primera destilación, al llegar a los 43% de etanol y 57% de agua, esta mezcla hierve a 181°F (83°C), por lo que el vapor contenido será de un 68% de etanol, con esto hay que redestilar nuevamente para que el etanol contenido sea más puro con cada redestilación que se lleve a cabo hasta conseguir un porcentaje de 95.6% de etanol, ya que es lo más puro que se puede contener en etanol, ya que no puede ser terminado de separar el agua de la misma por el azeótropo formado cuyo punto de ebullición es una fracción de grado menor que el del alcohol puro. Para lograr esto existe un sistema en la cual se realizan destilaciones simultaneas llamadas columnas de reflujo o columna rectificadora. (Mathewson, 1980).

❖ DESTILACIÓN AL VACIO

Esta es una de las técnicas empleadas para la eliminación del azeótropo etanol-agua, donde se aprovecha el efecto conseguido al disminuir la presión del sistema para lograr obtener etanol anhidro. Para lograr observar en el punto donde desaparece el azeótropo de la mezcla etanol-agua es necesario ver la Figura No. 11.

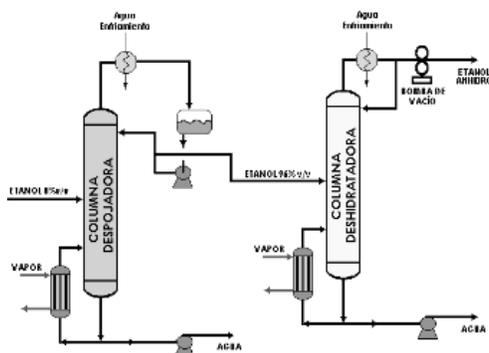
Figura No. 10: Presión en la composición azeotrópica etanol-agua.



Fuente: Ayazán, Aguilar, Rodríguez y Giacedo (2004).

Para obtener el etanol anhidro por este medio se necesita de un sistema de dos columnas consecutivas, donde la primera columna se lleva la composición cercana a la azeotrópica y seguidamente pasa a la segunda columna donde se hace el vacío para deshidratar el etanol. Para lograr la mayor pureza de etanol es necesario utilizar columnas de deshidratación con un número de etapas mayor de 40 y con una alta relación de reflujo. (Ayazán, Gil, Aguilar, Rodríguez y Giacedo, 2004)

Figura No. 11: Sistema de Destilación al Vacío.



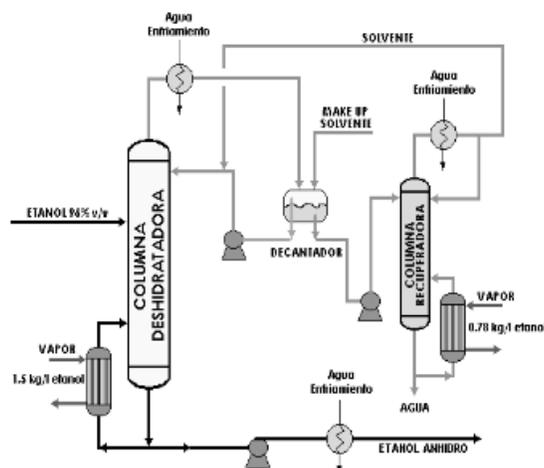
Fuente: Ayazán, Gil, Aguilar, Rodríguez y Giacedo (2004).

❖ DESTILACIÓN AZEÓTROPICA

Esta técnica de destilación azeotrópica es aprovechada por la adición de agente de separación en el cual modifica la condición de la azeotropía de la mezcla la cual la hace más favorable. Estos agentes de separación inducen en la formación de dos fases homogéneas en la que se utiliza para separar mezclas azeotrópicas. Los agentes de separación son seleccionados con criterios económicos, baja toxicidad, eficiencia de separación y conservación de energía. El pentano y el ciclohexano son de los agentes que tienen mejor rendimiento en el punto de vista energético, sin embargo, para la industria el benceno y el dietil-éter son los más utilizados.

El sistema utilizado consta de tres columnas, al igual que en el vacío la primera columna concentra la solución al punto cercano al azeotrópico, la segunda columna que es la deshidratadora y en la que se coloca el agente de separación permite obtener el producto de cima un azeótropo heterogéneo que arrastra el agua y se condensa en un decantador en la cual permite la separación de las dos fases y la recuperación del agente de separación, a esto en el residuo de fondo de la deshidratadora se obtiene el etanol anhidro, por último en la tercera columna conocida como recuperadora se alimenta la fase acuosa del azeótropo de la columna anterior para retirar el solvente remanente y devolverlo a la columna de deshidratación. (Ayazán, Gil, Aguilar, Rodríguez y Giacedo, 2004)

Figura No. 12: Sistema de Destilación Azeotrópica.



Fuente: Ayazán, Gil, Aguilar, Rodríguez y Giacedo (2004).

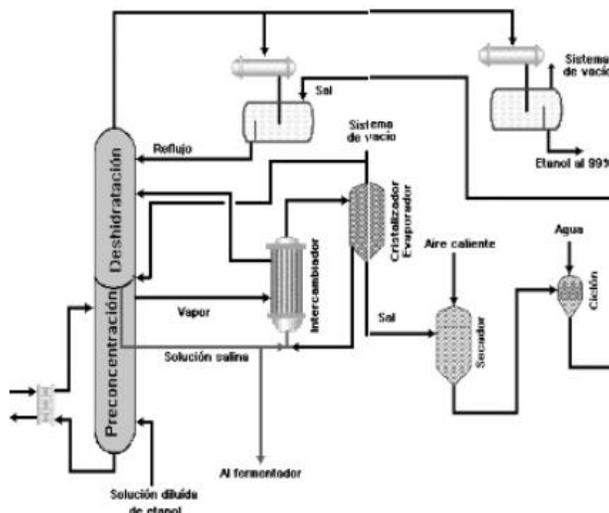
❖ DESTILACIÓN EXTRACTIVA CON SOLVENTE

Esta destilación es un método de separación de azeótropos binarios de mínimo punto de ebullición, y esta se lleva a cabo en presencia de sustancias de alto punto de ebullición llamado solvente, en la cual es completamente miscible con los componentes de la mezcla en todas sus proporciones y no forma azeótropos adicionales. El solvente se adiciona para alterar las volatilidades relativas de los componentes, debido a la baja volatilidad este tiende a permanecer en fase líquida

son capaces de causar efectos superiores y más selectivos que los causados por las moléculas de un solvente líquido.

Para la deshidratación de etanol se han utilizado las siguientes sales: Cloruro de calcio, Cloruro de potasio, Cloruro de cobalto (II), Cloruro cúprico, Cloruro de níquel (II), bromuro de estroncio, acetato de sodio, acetato de potasio, nitrato de calcio, yoduro de sodio y yoduro de potasio. (Ayazán, Gil, Aguilar, Rodríguez y Giacedo, 2004)

Figura No. 14: Sistema de Destilación Extractiva con Sal.



Fuente: Ayazán, Gil, Aguilar, Rodríguez y Giacedo (2004).

❖ ADSORCIÓN CON TAMICES MOLECULARES

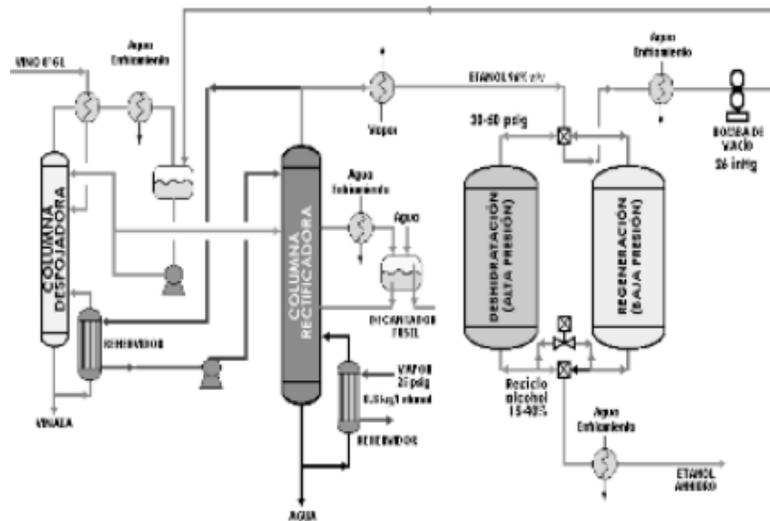
Estos tamices moleculares son sustancias granulares de forma ya sea cilíndrica o esférica denominados zeolitas, que pueden ser fabricados o naturales a partir de aluminosilicatos de potasio. Estos son identificados por el tamaño nominal de los poros y cuyo diámetro generalmente es medido en angstroms (Å). Los tamices moleculares se han caracterizado por su excelente capacidad de retener sobre su superficie tipos de especies químicas por lo general siendo solvente, pero la mayoría de veces es agua.

Una de las características esenciales en las operaciones es que la cantidad de la sustancia a remover por medio de los tamices sea baja, la mayoría de la zeolita con diámetro de 3 Å es utilizada para la deshidratación de etanol, ya que el agua tiene un diámetro de 2.8 Å y el etanol un diámetro de 4.4 Å, las moléculas de agua son atraídas fuertemente dentro de los poros y las moléculas de etanol pasan a través del lecho si experimentar atracción alguna.

El proceso puede ser operado en fase líquida o vapor, en la fase líquida se utiliza gas caliente para la regeneración del lecho de tamices lo que conduce a un deterioro acelerado del mismo a causa del choque térmico, la regeneración se lleva a cabo

pasando gas ya sea de N_2 o CO_2 , este gas debe ser químicamente inerte, de alta pureza y presión cercana a los 200 psig y no debe contener ni oxígeno o aire. En la fase de vapor permite alargar la vida de los tamices ya que la regeneración se hace recirculando parte de los vapores de etanol anhidro sobrecalentando al lecho con el fin de retirar la humedad acumulada. Este sistema en fase de vapor es utilizado típicamente dos lechos de tamices moleculares, donde el primer lecho se lleva a cabo la deshidratación haciendo pasar los vapores de etanol azeotrópico provenientes de la columna de rectificación, en el segundo tamiz se lleva a cabo la operación de regeneración. (Ayazán, Gil, Aguilar, Rodríguez y Giacedo, 2004)

Figura No. 15: Sistema de Absorción con tamices moleculares.



Fuente: Ayazán, Gil, Aguilar, Rodríguez y Giacedo (2004).

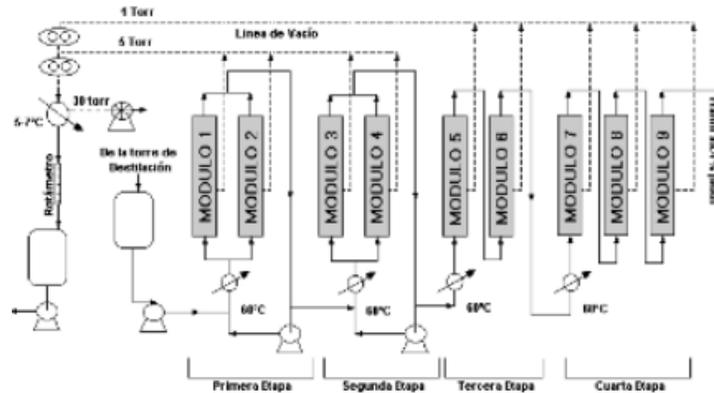
❖ PERVAPORACIÓN

Este es un proceso de separación relativamente nuevo en el que se remueven compuestos orgánicos volátiles de mezclas acuosas por evaporación, esto a través de una membrana que tiene elementos en común con la osmosis inversa y la separación de gases. El principio de este es basado en la fuerza impulsora que permite el transporte de masa a través de la membrana que se mantiene al vacío, la fuerza impulsora presenta diferencias de presiones parciales.

La deshidratación del etano es el proceso más representativo de los sistemas de pervaporación y separación por membranas, este cuenta con nueve módulos agrupados en 4 etapas, a pesar que este puede constar de varias etapas y de módulos puede cambiar, no obstante, el principio es el mismo, donde en las primeras dos etapas son constituidas por dos módulos cada uno, ya que en este circula una buena parte del etanol con el fin de evitar el enfriamiento del mismo. La etapa tres y cuatro tienen módulos que operan en serie ya que el flujo es más bajo y se aproxima al flujo de alimentación. La principal ventaja de este proceso es que el alcohol deshidratado obtenido está exento de trazas de agentes de separación,

en contraste con las técnicas de destilación azeotrópica y extractiva. (Ayazán, Gil, Aguilar, Rodríguez y Giacedo, 2004)

Figura No. 16: Sistema de Pervaporación.

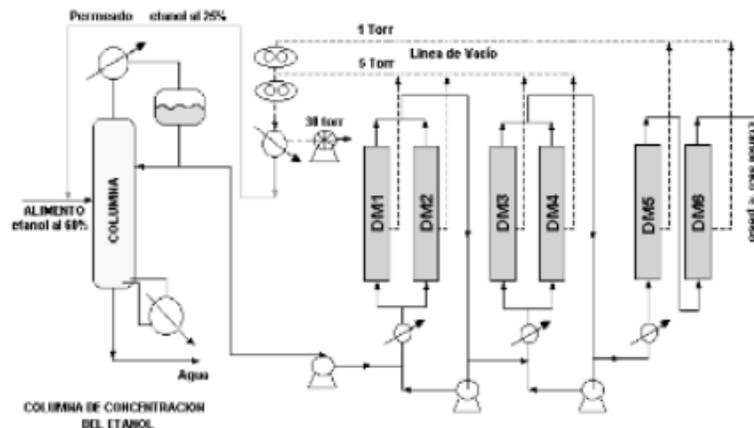


Fuente: Ayazán, Gil, Aguilar, Rodríguez y Giacedo (2004).

❖ PROCESOS HÍBRIDOS

La combinación de procesos y técnicas con el objetivo de mejorar la eficiencia de separación al menor costo posible, estos procesos híbridos son las tecnologías más prometedoras en la deshidratación de etanol ya que la combinación especial del sistema destilación-pervaporación se produce etanol al 99.5% en peso a partir de un alimento del 60% en peso. Esta alimentación es enviada a la columna de destilación que opera a presión atmosférica, donde se produce en el fondo agua casi pura y un destilado rico en etanol, Luego este va a una etapa de pervaporación donde se produce un permeado y un retenido de alcohol del 25 al 99.5%, El vapor condensa bajo condiciones al vacío y se recircula a la columna de destilación. (Ayazán, Gil, Aguilar, Rodríguez y Giacedo, 2004)

Figura No. 17: Sistema de Procesos Híbridos.



Fuente: Ayazán, Gil, Aguilar, Rodríguez y Giacedo (2004).

❖ **PRODUCCIÓN DE ETANOL**

❖ **PREPARACIÓN DEL SUSTRATO**

En esta fase si se utiliza la *Saccharomyces Cerevisiae* y se proporciona un sustrato almidonado, se tiene que adicionar amilasas o hidrolizar dicho almidón el cual este microorganismo no puede hacerlo, por lo cual otros materiales azucarados, como las melazas, jugos azucarados, etc., pueden ser los adecuados, pero se usan más en otros procesos. Para la utilización de la celulosa que son difícilmente hidrolizables, se pueden utilizar cultivos mixtos sobre el sustrato solido de la levadura ya sea con *Clostridium Thermocellum*, *Clostridium Thermosaccharalyticum* o *Trichoderma Reesei*, que estos pueden ser capaces de lograr dicha degradación. Además de ello es posible usar sueros lácticos, pero a su vez no pueden usarse las *Saccharomyces* ya que son incapaces de degradar la lactosa, por lo tanto, se utilizan cepas modificadas como *Torula Cremoris* y *Candida Pseudotropocicalis*. (Hernández y Martínez, 2012)

❖ **FERMENTACIÓN**

Esta se lleva a cabo en tres diferentes fases:

❖ **DESARROLLO CELULAR:**

En esta fase los cultivos son sometidos a fuerte oxigenación durante un periodo de 12 a 24 horas. (Hernández y Martínez, 2012)

❖ **SINTESIS:**

En esta fase se reduce la oxigenación lo cual hace que la producción de crecimiento celular sea reducida y el inicio de producción se da dentro de un periodo de 24 a 36 horas, y con esto se lleva a cabo el proceso de liberar calor lo que produce elevar las temperaturas hasta los 40°C. (Hernández y Martínez, 2012)

❖ **DETENIMIENTO DE SINTESIS:**

En esta fase se detiene la síntesis y se aumenta la oxigenación lo que se vuelve a generar es un aumento en el crecimiento de células, por lo que se puede prolongar hasta un periodo de 72 horas. (Hernández y Martínez, 2012)

❖ **PURIFICACIÓN**

En esta operación el alcohol obtenido de la fermentación es destilado, lo cual han de extraerse las células por sedimentación o centrifugación, por lo que se elimina el CO₂ tras etapas de lavado y se procede a destilar el caldo en columnas de rectificación. (Hernández y Martínez, 2012)

❖ **BIOETANOL**

El bioetanol es uno de los combustibles de origen vegetal que es producido a partir de una fermentación de materia orgánica y que esta es muy rica en azúcares, este es uno de los más utilizados como aditivo de motores de explosión o como un sustituto de la gasolina. En las rutas fermentativas son activadas por diferentes bacterias ya sea aeróbicas o anaeróbicas que son las que compiten con las levaduras, de esta forma al ser mayor la proporción de bacterias en el cultivo, menor

será la cantidad de etanol obtenida como producto final de la fermentación. El bioetanol es uno de los más producidos a nivel mundial, desde el 2004 se han producido alrededor de 40,000 millones y sigue en aumento la producción del mismo.

El bioetanol es utilizado en mezclas con la gasolina en concentraciones desde 5 hasta un 10% que no requieren modificaciones en los motores actuales, otras alternativas para el uso de este mismo como combustible es añadiéndolo como aditivo oxigenante para reducir emisiones contaminantes y ajustar octanajes. (García, 2004)

❖ GRADOS BRUX

Los grados Brix es una medida de concentración de azúcares que se encuentran disueltos en un producto y de un nivel de dulzura del mismo. Este se mide a través de un refractómetro o brixómetro. (Hernández y Martínez, 2012)

El refractómetro es un equipo que proporciona la lectura del índice de refracción de una muestra que está en fase líquida y a la vez da un valor de los grados Brix que están presentes en la misma. Este a su vez consta de dos prismas donde es colocada la muestra, además se posee un ocular donde se observa la lectura. (Hernández y Martínez, 2012)

Figura No. 18: Refractómetro.



Fuente: Hernández y Martínez, (2012)

❖ CROMATOGRAFIA

Esta es una técnica en la cual se pueden separar componentes de una mezcla para analizarlos de forma cualitativa o cuantitativamente, esta se da por medios de componentes que se encuentran en dos fases distintas, la primera que es una fase inmóvil y la otra es una fase móvil. Esto es debido a que las sustancias que se analizan tengan fuerzas de adhesión, donde las más débiles se moverán con mayor rapidez por su falta de adherencia, de esta manera las sustancias que no son miscibles son fácilmente desplazadas y por lo tanto hace un análisis selectivo de

los componentes que se estén buscando. Existen varios tipos de cromatografía como lo es el gas-sólido, gas-líquido, líquido-sólido y líquido-líquido.

Figura No. 19: Cromatografía Gases – Espectrómetro de Masas.



Fuente: (Gutiérrez y Droguet 2002)

❖ CROMATOGRAFIA DE GASES

En esta cromatografía la muestra se inyecta en la fase móvil, la cual la fase móvil es un gas inerte generalmente Helio (He), los componentes pasan de la muestra a través de la fase estacionaria la cual se encuentra en una columna, de las cuales las más empleadas son las columnas capilares. La columna está en un horno con programación de temperatura en la que la velocidad de migración de los componentes es función de su distribución entre la fase móvil y la estacionaria.

Los solutos que están presentes en la muestra tienen afinidad diferente con la fase estacionaria por lo que permite la separación de los mismos. Uno de los factores claves en el equilibrio de estas fases es la presión de vapor de los compuestos ya que a mayor presión de vapor menor será el tiempo de retención en la columna. A través de ello los diversos componentes de la muestra pueden ser analizados cuantitativa y cualitativamente mediante el empleo de los detectores seleccionados.

Existen tres diferentes técnicas para inyectar las muestras líquidas o gaseosas en columnas capilares: Split, Split-less y on column. Siendo las dos primeras en inyectar y vaporizar las muestras en la cámara de vaporización, el sistema Split desvía la mayor parte de la muestra fuera del sistema y envía solo la pequeña fracción a la columna, mientras que el sistema Split-less dirige toda la muestra a la columna lo que es adecuado para el análisis de trazas o componentes que pueden ser más volátiles, por último, el sistema on column la inyección se lleva a cabo en frío por lo que en este se elimina la etapa de vaporización en la cual se podría producir la descomposición de compuestos termolábiles. (Gutiérrez y Droguet, 2002)

❖ ESPECTROMETRIA DE MASAS

La espectrometría de masas ha sido una técnica utilizada analíticamente y es una de las más completas, ya que no solo es para investigación, si no, también en análisis de rutina en procesos industriales, control de calidad, etc., las principales cualidades de esta técnica son:

- Capacidad de identificación de forma práctica inequívoca, ya que proporciona un espectro de cada molécula.
- Cuantitativa que permite medir la concentración de las sustancias.
- Gran sensibilidad en la cual se detectan concentraciones de orden de ppm o ppb y en casos específicos hasta ppt o ppq.
- Universal y específica.
- Proporciona información estructural sobre la molécula analizada.
- Suministra información isotópica.
- Es una técnica rápida ya que se puede realizar un espectro en décimas de segundo, por lo que puede obtenerse información en tiempo real sobre las composiciones trabajadas.

Dentro del proceso del espectrómetro de masas se realiza una ionización de la muestra mediante diferentes métodos, los cuales el sistema más utilizado es el de impacto electrónico que bombardea las moléculas con electrones de una cierta energía que es capaz de provocar la emisión estimulada de un electro de las moléculas y así ionizarlas. (Gutiérrez y Droguet, 2002)

❖ CROMATOGRAFIA - ESPECTROMETRIA

Se da lugar a una técnica combinada de GC-MS que permite la separación e identificación de mezclas complejas, la utilización de la misma requiere un sistema especial de conexión. Esta trata de dos técnicas en las que trabajan en fase gaseosa y necesitan una muy pequeña cantidad de muestra para su análisis por lo que son compatibles, el único obstáculo que presentan estos a la hora de acoplarlos es que el efluente que emerge de la columna cromatográfica sale a presión atmosférica y debe introducirse en el interior del espectrómetro que trabaja a alto vacío.

En el proceso de la espectrometría de masas además de proporcionar los espectros también trabaja como detector cromatográfico al registrar la corriente iónica total generada en la fuente iónica la cual es representada en una gráfica que constituye el cromatograma o TIC (Total Ion Current), en la que la corriente iónica generada por todos los iones da lugar a picos gaussianos de área proporcional a la concentración de los compuestos. En otro caso cuando se desea explícitamente localizar la presencia de uno o varios compuestos que ya son determinados de un espectro conocido con la mayor rapidez y máxima sensibilidad posible se recurre a una técnica denominada SIR (Select Ion Recording) el cual se detectan solamente algunas masas de interés en lugar de trabajar con todos los iones. (Gutiérrez y Droguet, 2002)

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las Industrias guatemaltecas la mayoría de los desechos generados en los procesos de producción de cualquier jugo natural, envasado y deshidratación de frutas, etc., no son aprovechados, por lo que el estudio de su uso para la producción de bioetanol, permite tener una solución alternativa al problema de los desechos y que puedan ser una fuente de biocombustibles, permitiendo procesos más integrales, que en un futuro puedan ser rentables para las empresas que implementen su uso alternativo. La obtención de bioetanol a partir de la cáscara de piña es un proceso que podría dar un factor de importancia a estos desechos para que sean aprovechados y que se puedan generar biocombustibles.

La piña actualmente en Guatemala está aumentando su producción, se produjo para el año 2015 un total de 5 millones 561 mil 73 quintales de piña, con ello la producción ha aumentado del 2008 para el 2015 en un 23.58%, tal, así como el banano, plátano y otras frutas en el comercio agrícola según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Se considera que, a partir de todos los desechos generados de la piña, la cascara de la misma representa un 29% - 40% de toda la fruta utilizada. (Catalán, 2013)

El bioetanol es un combustible extraído de materia orgánica a partir de desechos en ciertos procesos industriales, por lo que la cascara de piña pueden ser aprovechados para la generación de los biocombustibles por método de fermentación y destilación. Las variedades de piña que se utilizaran en la obtención del bioetanol son producidas en Guatemala por lo cual la materia prima es accesible.

Con base en lo anterior se plantea el siguiente enunciado.

¿Es posible la comparación del porcentaje de rendimiento de bioetanol obtenido a partir de la cáscara de piña de dos diferentes variedades?

2.1. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Comparar el rendimiento de la obtención de bioetanol a partir de cascara de piña (Ananás Comosus) de la variedad Hawaiana y de la variedad MD2 por método de fermentación y destilación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la curva del consumo de sustrato de la fermentación.
- Determinar el volumen (flujo de cabeza, corazón y cola) del destilado y realizar un balance de masa para el proceso de fermentación y destilación.
- Caracterizar el destilado por medio de una prueba de cromatografía y densidad.
- Comparar el porcentaje de etanol obtenido con ambas variedades.

2.2. HIPÓTESIS

Hi. Hay diferencia significativa en el rendimiento obtenido de bioetanol de la variedad MD2 respecto del rendimiento obtenido de la variedad hawaiana.

Ho. No hay diferencia significativa en el rendimiento obtenido de bioetanol de la variedad MD2 respecto del rendimiento obtenido de la variedad hawaiana.

2.3. VARIABLES

VARIABLES DEPENDIENTES

- Grados Brix
- Rendimiento
- Densidad
- Cromatografía

VARIABLES INDEPENDIENTES

- Tiempo de fermentado
- Volumen de destilación
- Temperatura de destilado
- Variedad de piña

2.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES

2.4.1. VARIABLES DEPENDIENTES

- Grados Brix

Conceptual: los grados Brix es una medida de concentración de azúcares que se encuentran disueltos en un producto y de un nivel de dulzura del mismo. Este es medido a través de un refractómetro o brixómetro. (Hernández, Martínez, 2012)

Operacional: se midió los Grados Brix Iniciales de cada muestra de piña y posteriormente cada cierto tiempo hasta que los grados Brix ya no cambiaron al finalizar la fermentación.

- Rendimiento

Conceptual: proporción entre el producto o el resultado obtenido y los medios utilizados. (RAE, 2017).

Operacional: se determinó posteriormente a la destilación de cada uno de los productos por variedad de piña, y se comparó para determinar sobre que muestra se obtuvo mayor rendimiento (%).

- Densidad

Conceptual: magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo, y cuya unidad en el sistema internacional es el Kilogramo por metro cúbico. (RAE, 2018)

Operacional: la densidad se determinó para caracterizar las propiedades fisicoquímicas del destilado (g/ml).

- Cromatografía

Conceptual: método de análisis químico para la separación de los componentes de una mezcla por distribución entre dos fases, una estacionaria y otra móvil. (RAE, 2018).

Operacional: la cromatografía se determinó para caracterizar las propiedades fisicoquímicas del destilado (%área/área).

2.4.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

- Tiempo de Fermentado

Conceptual: tiempo disponible para la realización de algo. (RAE, 2017)

Fermentado es un proceso catabólico de oxidación incompleta, que no requiere oxígeno, y cuyo producto final es un compuesto orgánico. (RAE, 2017)

Operacional: esta es la cantidad de tiempo en el cual se fermentó los azúcares de las cáscaras de piña.

- Volumen de Destilación

Conceptual: volumen es una magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones, largo, ancho y alto, y cuya unidad en el sistema internacional es el metro cúbico. (RAE, 2017)

Destilación es un método para separar componentes de una solución, y este depende de la distribución de sustancias entre la fase gaseosa y una fase líquida y en la cual se aplica a los casos en que todos los componentes están presentes en las dos fases. (Treybal, 1988)

Operacional: este es el volumen de destilado recibido al final de cada corrida con cada una de las muestras de variedad de piña del fermentado.

- Temperatura de destilación

Conceptual: temperatura es una magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin. (RAE, 2017)

Destilación es un método para separar componentes de una solución, y este depende de la distribución de sustancias entre la fase gaseosa y una fase líquida y en la cual se aplica a los casos en que todos los componentes están presentes en las dos fases. (Treybal, 1988)

Operacional: esta es la temperatura en el que se obtuvo el destilado dependiendo a la presión a la que se encuentre el ambiente el día de trabajo.

- Variedad de piña

Conceptual: son las especies de piñas encontradas en los cultivos dependiendo de las condiciones donde se da cada una de estas y de los países provenientes. (Pac, 2005).

Operaciones: se trabajaron dos variedades como lo es la HAWAIANA y MD2 para el estudio del rendimiento de la obtención de bioetanol de cada una de las muestras.

2.5. ALCANCES Y LÍMITES

❖ ALCANCES:

El trabajo de investigación abarca el aprovechamiento de los desechos de la piña (Ananás Comosus), siendo la cáscara de la misma para la producción de bioetanol, cada una de estas variedades de las cuales se realizará la extracción son producidas en Guatemala. Este se llevó a cabo en las Instalaciones de la Universidad Rafael Landívar, Edificio B de Laboratorios de Química General. Se trabajó a nivel laboratorio con lo cual se estudiaron dos variedades únicamente, trabajando con parámetros estándares de pH, temperatura para la fermentación, además de ello se realizó el rendimiento por triplicado y se caracterizó por medio de un perfil cromatográfico y densidad.

❖ LIMITACIONES:

La investigación consistió en el rendimiento de la extracción de bioetanol a partir de la cáscara de piña (Ananás Comosus) por medio de una fermentación y una destilación. La cáscara de la piña de la variedad HAWAIANA fue obtenida de un lote de piñas el cual se adquirió en Parcelamiento Rancho Fortaleza Km. 100 Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. La cáscara de la piña de variedad MD2 fue obtenida de un lote de piñas el cual se adquirió en Agropecuaria Popoyan, S.A Km. 101 Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.

Las cáscaras no pudieron ser obtenidas de alguna empresa procesadora de frutas, ya que no se cuenta con la información necesaria sobre que variedad procesan, además de ello, si los desechos que estas empresas generan son utilizados para otros fines.

No hay información actualizada de la producción de bioetanol a partir de cascará piña, por lo que esta realizó solo a nivel laboratorio, por no contar con acceso a una planta piloto o planta industrial de bioetanol, además de ello únicamente los ingenios azucareros son las industrias que tienen producción del mismo.

Por otro lado, la falta de equipo dentro de laboratorio hace difícil la eliminación de la cantidad de agua contenida en las muestras, por lo cual, no se logró obtener únicamente etanol, sino una solución de etanol de las cascaras de piña.

2.6. APORTES

A Guatemala para aumentar la producción de bioetanol, con ello, generar más ingresos de exportaciones o que sea aprovechado como combustible para la generación de energía.

A las industrias guatemaltecas para el aprovechamiento de los desechos orgánicos generados dentro de sus procesos para la generación de bioetanol.

A la Universidad Rafael Landívar para contar con un modelo de investigaciones de biocombustibles para que sean aprovechados en el país y aporten conocimiento del tema.

A los catedráticos y estudiantes como fuente de información en el tema de biocombustibles, su obtención y futuro uso como una energía renovable que puede ser aprovechado para su investigación.

III. METODOLOGÍA

3.1. SUJETOS Y UNIDADES DE ANÁLISIS

❖ SUJETOS

Personas que ayudaron a recabar información y que cuentan con experiencia en el área de estudio de esta investigación.

- a) Ing. Víctor Manuel Pérez Pineda:
Consultor en el área de Agronomía. Conocimiento en variedades de piña.
- b) Sr. Gregorio García Méndez:
Consultor en el área de Agronomía. Variedades de piña producidas en el área de la Costa Sur.
- c) Licda. Ana Luisa Mendizábal:
investigadora del Laboratorio de Instrumentación Química Analítica del Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala.

❖ UNIDADES DE ANÁLISIS

- a) Piñas de variedad hawaiana y variedad MD2.
- b) Rendimiento de bioetanol a partir de cascara de piña de variedad Hawaiana.
- c) Rendimiento de bioetanol a partir de cascara de piña de variedad MD2.
- d) Resultados de los datos obtenidos durante la fermentación de cascara de piña de ambas variedades (hawaiana y MD2).
- e) Resultados de los parámetros obtenidos de la destilación de cascara de piña de ambas variedades (hawaiana y MD2).
- f) Resultados de los parámetros fisicoquímicos – cromatografía y densidad.

3.2. INSTRUMENTOS

Tabla No. 7: Instrumentos o Equipos utilizados.

Instrumentos o Equipo	Imagen	Descripción	Uso
Beaker		Capacidad máxima 1000 ml Incertidumbre: ± 25 ml	Utilizado para preparar soluciones químicas
Beaker		Capacidad máxima 600 ml Incertidumbre: ± 25 ml	Utilizado para preparar soluciones químicas
Beaker		Capacidad máxima 250 ml Incertidumbre: ± 12.5 ml	Utilizado para preparar soluciones químicas
Probetas		Capacidad máxima 100 ml Incertidumbre: ± 0.5 ml	Utilizado para medición de soluciones químicas
Varilla de Agitación		N/D	Utilizado para agitación o mezcla de soluciones químicas

Instrumentos o Equipo	Imagen	Descripción	Uso
Incubadora		<p>Precisión Serial No. 602021172. UL. Temp: Amb + 5°C hasta 65°C. 120 Volts, 15° Watts, 1Ph, 1.3 Amps, 50/60 Hz.</p>	<p>Utilizado para dejar en reproducción de microorganismos</p>
Kit de Destilación		<p>Complete basic chemistry kit has components made from borosilicate glass Code 7740 Manufacturer: Corning Life Sciences Manufacturer Part No: 6949</p>	<p>Utilizado para la destilación de mezclas químicas.</p>
Licuadora		<p>LICUADORA OSTERIZER Base Plástica Potente Motor de 375 Watts Jarra plástica con capacidad para 5 tazas (1,5L)</p>	<p>Utilizado para la trituration de cascara de piña</p>
Balanza		<p>KD-7000 Capacidad máxima 7000 g. Incertidumbre ± 0.5g</p>	<p>Utilizado para medición de peso de las muestras</p>

Instrumentos o Equipo	Imagen	Descripción	Uso
Potenciómetro		<p>Intervalo de medición: 0.00 – 14 pH: 0.0 – 99.0 °C</p> <p>Resolución de la medición: 0.01 pH Calibración 3 puntos Incertidumbre ± 0.05</p>	Utilizado para medir el pH de la solución
Refractómetro		<p>Modelo PAL-1 Measurement Range: Brix 0.0 to 53.0% Resolution: Brix 0.1% Accuracy: Brix $\pm 0.2\%$ Incertidumbre ± 0.05</p>	Utilizado para medir los grados Brix iniciales y finales del fermentado
Balanza Analítica		<p>Denver Instrument APX - 2000 Max 200g d=0.1mg Incertidumbre $\pm 0.00005g$</p>	Utilizado para realizar la medición de masa de las muestras para determinar densidad
Cuchillo		N/D	Utilizado para retirar la cascara de la piña y este mismo cortarlo en trocitos para poder licuarlo
Recipiente de Acero Inoxidable		N/D	Utilizado para colocar la cascara ya licuada de cada piña
Termómetro BI-Metálico		<p>BI-METÁLICO H-B DURAC Catalogo No. B61310-5900 Rango 15/150°C (50/300°F) Incertidumbre: $\pm 0.5^\circ\text{C}$</p>	Utilizado para medir la temperatura de pasteurización

Instrumentos o Equipo	Imagen	Descripción	Uso
Tabla para Picar		N/D	Utilizada para retirar la cascara de la pulpa de la piña y para picar en trozos la cascara
Termómetro Keroseno		Manufacturer: Thermco Products Biodegradable Blue Spirit Manufacturer Part No: ACC1503BLS Rango -20 to 150°C Incertidumbre $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Utilizado para medir la temperatura de destilación del etanol
Balón Aforado		Manufacturer: Corning Life Sciences Manufacturer Part No: 5642-10 PYREX® 10mL Class A Incertidumbre $\pm 0.025\text{mL}$	Utilizado para medir la densidad en la caracterización del etanol
Balón Aforado		Manufacturer: Corning Life Sciences Manufacturer Part No: 5642-5 PYREX® 5mL Class A Incertidumbre $\pm 0.02\text{mL}$	Utilizado para medir la densidad en la caracterización del etanol

Fuente: elaboración propia, (2018).

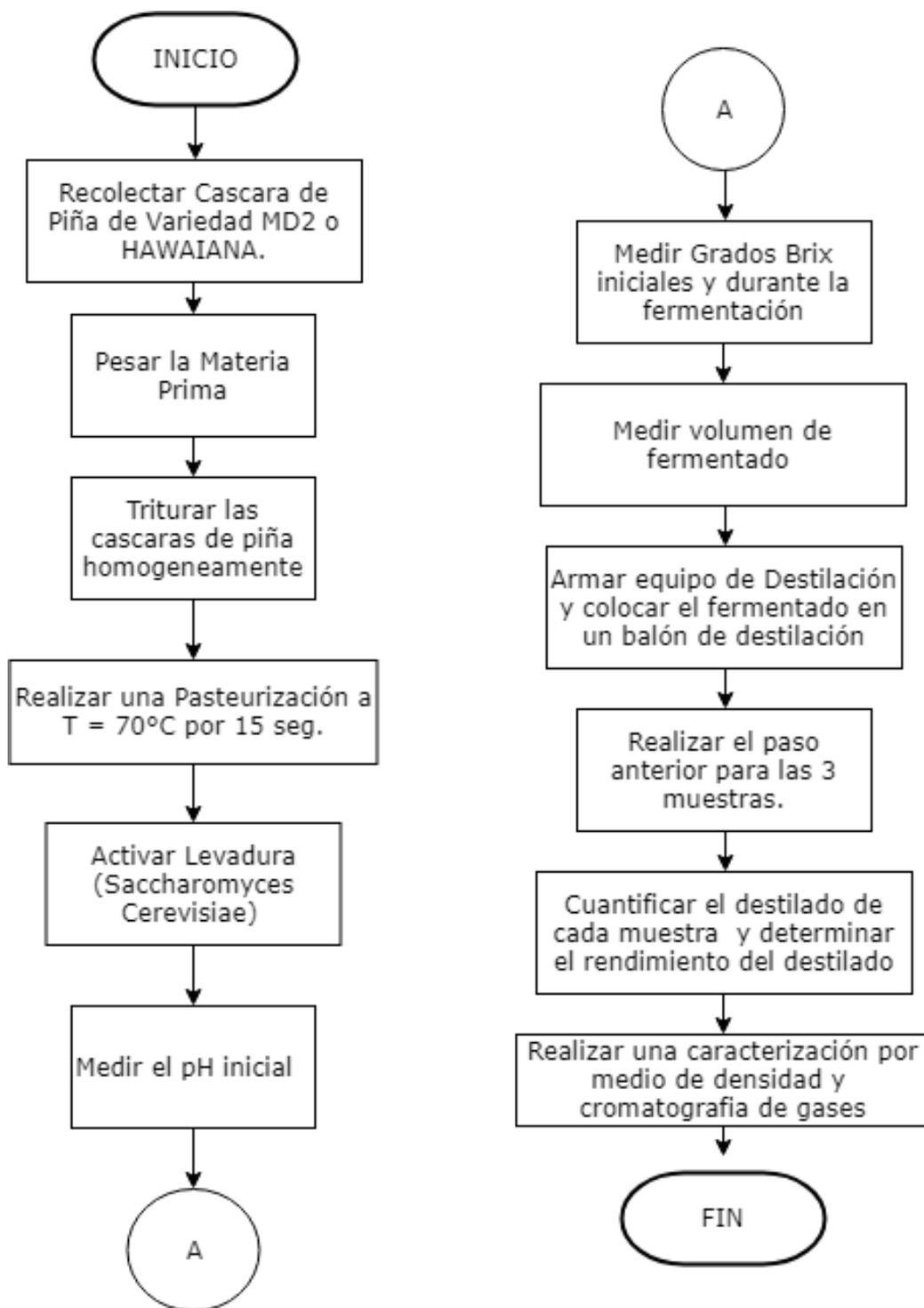
Tabla No. 8: Equipo de Protección utilizado.

Equipo	Imagen	Uso
Bata		Utilizado para la protección del cuerpo
Lentes de Seguridad		Utilizado para la protección de ojos
Mascarilla de Seguridad		Utilizado para la protección de las vías respiratorias

Fuente: elaboración propia, (2018).

3.3. PROCEDIMIENTO

Diagrama No. 1: Procedimiento para cascara de piña variedad MD2 y HAWAIANA.



Fuente: elaboración propia, (2018).

Descripción:

- Se adquieren las piñas de la variedad MD2 y HAWAIANA, se le retira la cascara.
- Pesar un aproximado de 2000g de cascara de la piña.
- Cortar la cascara y con porciones de agua triturar para que sea homogénea la mezcla.
- Realizar una pasteurización de la mezcla a $T=70^{\circ}\text{C}$ por 15s. para eliminar cualquier microorganismo presente en la cascara.
- Activar la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*) con agua tibia y azúcar, dejar activando durante aproximadamente 5-10 min.
- Medir Grados Brix y pH inicial a la mezcla ya pasteurizado.
- Ajustar el pH en un rango de 3.8 – 5.6 con bicarbonato de sodio.
- Agregar la Levadura ya activada a la mezcla pasteurizado y agitar para homogenizar.
- Trasvasar la mezcla a los recipientes para la fermentación y dejar dentro de la incubadora.
- Medir los Grados Brix durante la fermentación para cada muestra.
- Separar el bagazo de la solución fermentada y medir el volumen de solución para cada muestra.
- Armar el equipo de destilación.
- Trasvasar la solución fermentada a cada balón de destilación.
- Destilar la solución por 1 hora y media.
- Medir el destilado de cada muestra.
- Determinar el rendimiento del destilado para cada muestra
- Caracterizar el destilado por densidad y cromatografía de gases.

3.4. DISEÑO Y METODOLOGIA ESTADISTICA

❖ DISEÑO EXPERIMENTAL

Tabla No. 9: Experimentos.

Experimento	Nombre	Descripción	Tratamiento	Repeticiones
Experimento No. 1	Fermentación	Se activa la levadura (<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>) y la cascara ya hecha mezcla se colocara en un recipiente junto a la levadura, se dejara que fermente en una incubadora después de cierto tiempo.	Variedad MD2 y Variedad Hawaiana	Triplicado
Experimento No. 2	Obtención de Bioetanol	El fermentado se coloca en el balón de destilación, se destilará durante cierto tiempo y se recoge el destilado.	Variedad MD2 y Variedad Hawaiana	Triplicado
Experimento No. 3	Caracterización del Bioetanol	Por medio de densidad y de cromatografía de gases se caracterizó el destilado obtenido de la fermentación de la cascara de piña.	Variedad MD2 y Variedad Hawaiana	Triplicado

Fuente: elaboración propia, (2018).

❖ DESCRIPCIÓN DE UNIDADES EXPERIMENTALES

- Cascara de piña variedad (MD2 y Hawaiana) para realizar fermentación.
- Fermentado para la realización de la destilación de bioetanol.
- Bioetanol obtenido.

❖ VARIABLES DE RESPUESTAS

Tabla No. 10: Variables Respuesta.

Experimento	Nombre	Variable Respuesta
Experimento No. 1	Curva de Fermentación	Curva de Fermentación % de Rendimiento
Experimento No. 2	Rendimiento de Bioetanol+	% de Rendimiento
Experimento No. 3	Caracterización del Bioetanol	Perfil Cromatográfico y Densidad

Fuente: elaboración propia, (2018).

❖ METODOLOGIA DE ANALISIS

- Los Análisis estadísticos que se realizaran para evaluar si se cumple la hipótesis propuesta, se comparara los resultados y se realizara un análisis de varianza utilizando la distribución F, la cual se conoce como ANOVA, en donde se utiliza para determinar cuál de las variaciones cuenta con mayor variación con respecto a los datos obtenidos de los rendimientos de bioetanol.

Ecuación No. 1: Cociente de varianza.

$$F = \frac{S^2_1}{S^2_2}$$

F = factor F calculado.

S^2_1 = varianza de cada muestra.

S^2_2 = varianza de las medias muestrales.

Fuente: elaboración propia, (2018).

- Se realizará un promedio simple de los resultados obtenidos para dar un valor más exacto del rendimiento de bioetanol para cada una de las variedades de piña utilizadas.

Ecuación No. 2: Promedio simple.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

\bar{X} = Promedio Rendimiento Bioetanol de cada variedad de piña.

$\sum_{i=1}^n X_i$ = Sumatoria de los Rendimientos de cada variedad.

n = Número de muestras de cada variedad

Fuente: elaboración propia, (2018).

- Para determinar el número de unidades experimentales que se deben realizar es necesario usar la fórmula estadística y así determinar el tamaño muestral con un tamaño de población desconocido. Con la que se espera determinar la proporción esperada de la variable de interés, la precisión deseada y el nivel de confianza. Para ello se aplicará lo siguiente:

Ecuación No. 3: Número de repeticiones.

$$n = \frac{z^2 pq}{E^2}$$

n = Número de repeticiones.

z = Es el valor para un nivel de confianza para 95%.

p = Es la prevalencia esperada del parametro a evaluar que se debe aplicar la opción más favorable (p=0.05).

q = Es igual a (1-p).

E = Es el error que se prevé cometer, por lo tanto, la amplitud total del intervalo es el doble del error que se introdujo en la formula.

$$n = \frac{(1.95)^2 (0.05)(1-0.05)}{(0.25)^2}$$

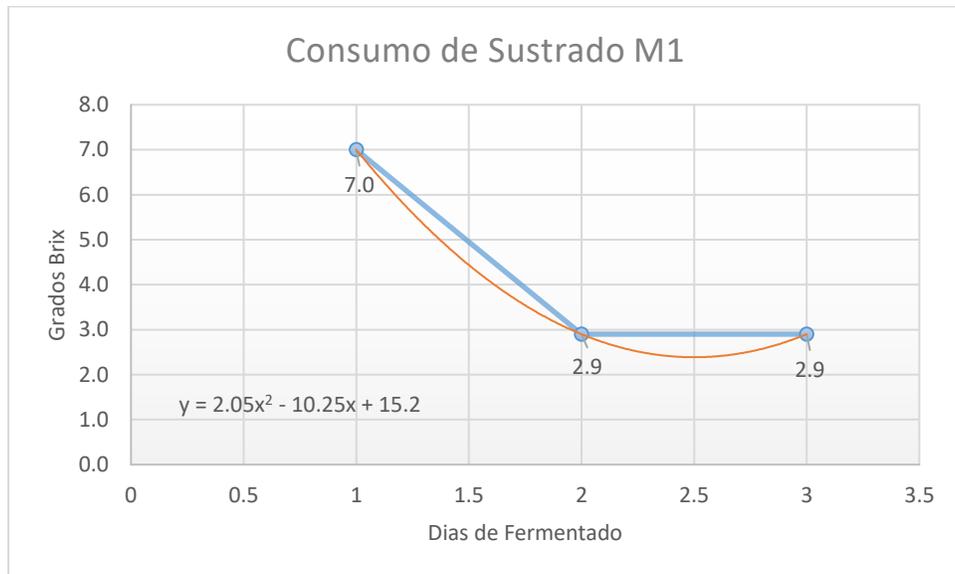
$$n = 2.88 \text{ Repeticiones} \approx 3.00 \text{ Repeticiones}$$

Fuente: elaboración propia, (2018).

IV. RESULTADOS

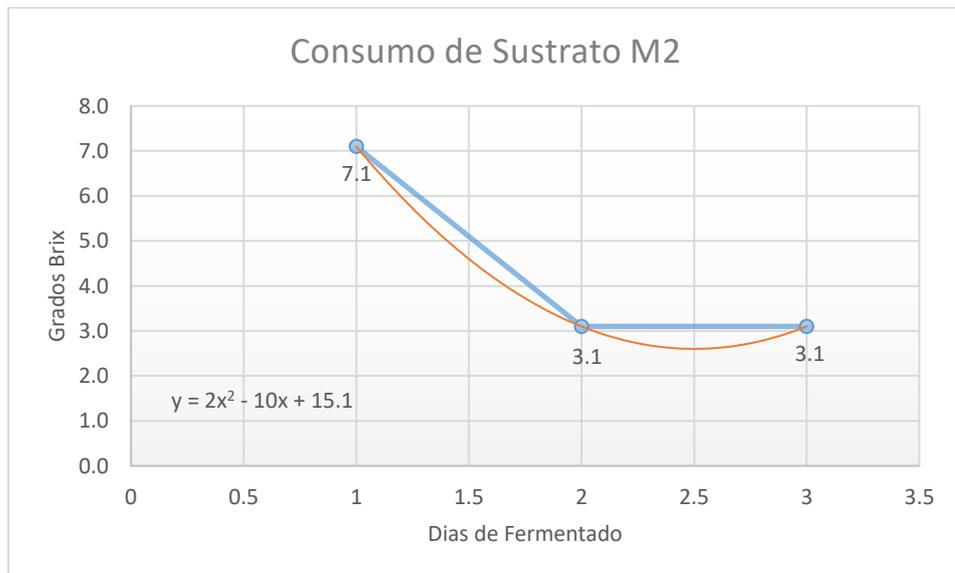
4.1. CURVAS DE CONSUMO DE SUSTRATO.

Grafica No. 1: Curva de Consumo de Sustrato M1, Variedad MD2.



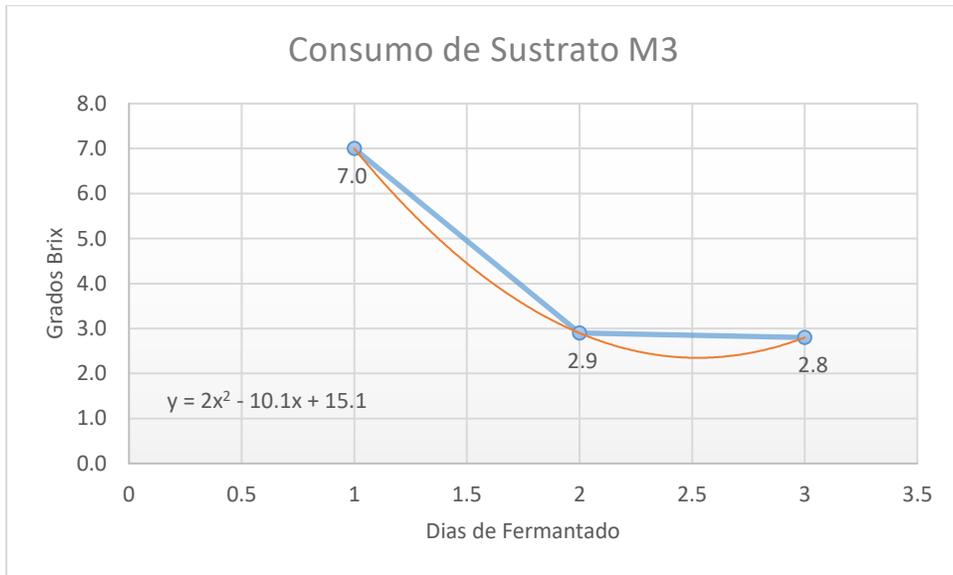
Fuente: elaboración propia, (2018).

Grafica No. 2: Curva de Consumo de Sustrato M2, Variedad MD2.



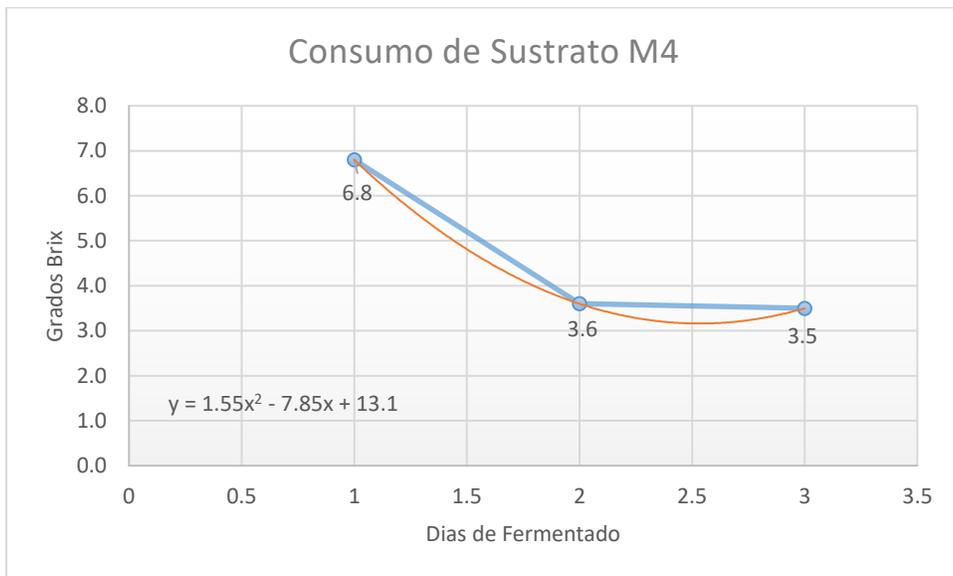
Fuente: elaboración propia, (2018).

Grafica No. 3: Curva de Consumo de Sustrato M3, Variedad MD2.



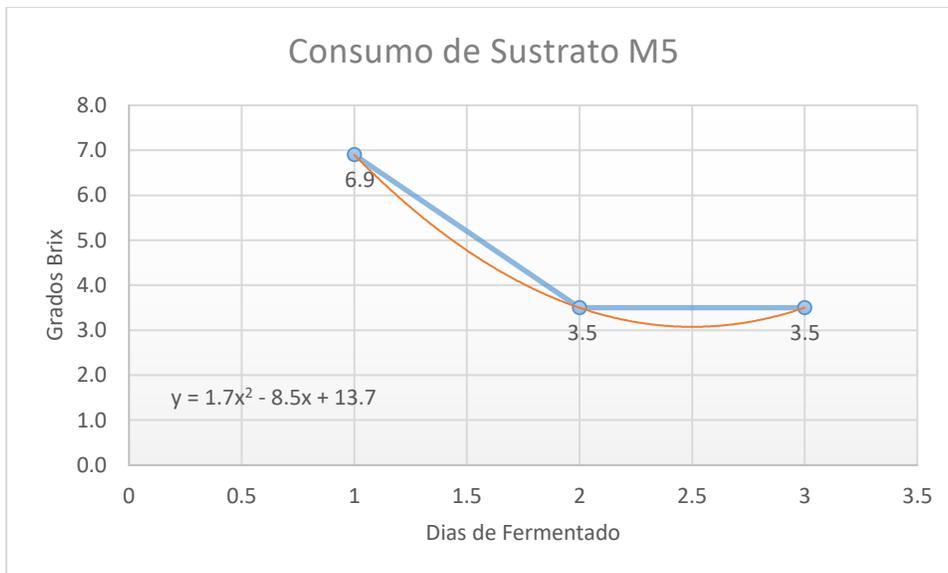
Fuente: elaboración propia, (2018).

Grafica No. 4: Curva de Consumo de Sustrato M4, Variedad HAWAIANA.



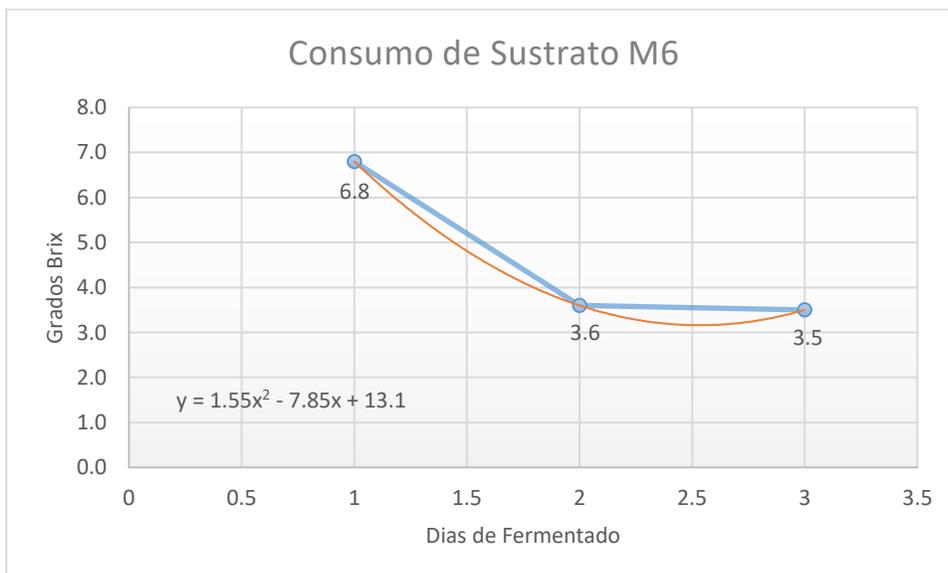
Fuente: elaboración propia, (2018).

Grafica No. 5: Curva de Consumo de Sustrato M5, Variedad HAWAIANA.



Fuente: elaboración propia, (2018).

Grafica No. 6: Curva de Consumo de Sustrato M6, Variedad HAWAIANA.



Fuente: elaboración propia, (2018).

4.2. PARÁMETRO DE VOLUMEN DE DESTILADO.

Tabla No. 11: Volumen de destilado promedio, variedad MD2.

Volumen de Destilación (Flujo de Cabeza, Cuerpo y Cola)		
Promedio		
	Volumen	Rango Temperatura
	Mililitros	°C
Flujo de Cabeza	25 ± 0.29	77 - 79 ± 0.29
Cuerpo	181 ± 0.29	80 - 87 ± 0.29
Cola	38 ± 0.29	88 - 91 ± 0.29

Fuente: elaboración propia, (2018).

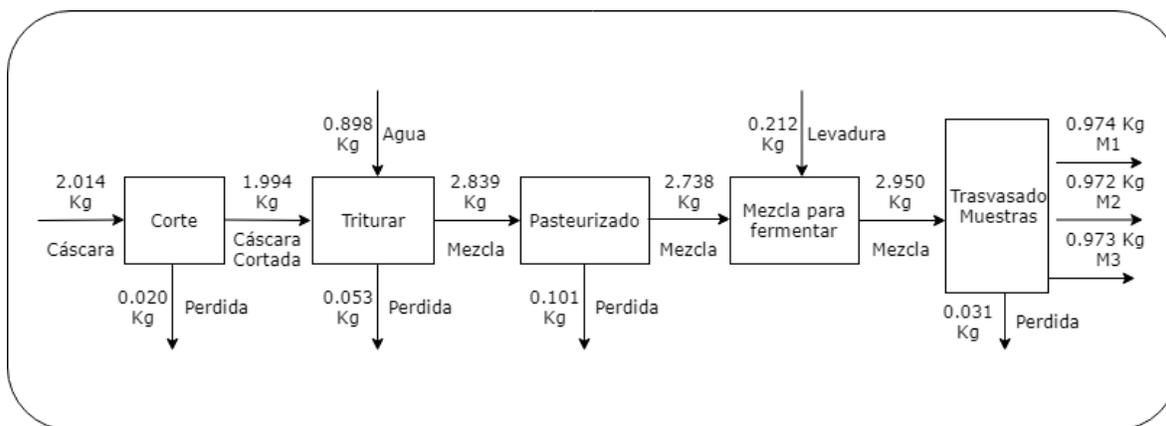
Tabla No. 12: Volumen de Destilado promedio, variedad HAWAIANA.

Volumen de Destilación (Flujo de Cabeza, Cuerpo y Cola)		
Promedio		
	Volumen	Rango Temperatura
	Mililitros	°C
Flujo de Cabeza	16 ± 0.29	77 - 80 ± 0.29
Cuerpo	169 ± 0.29	81 - 89 ± 0.29
Cola	29 ± 0.29	90 - 91 ± 0.29

Fuente: elaboración propia, (2018).

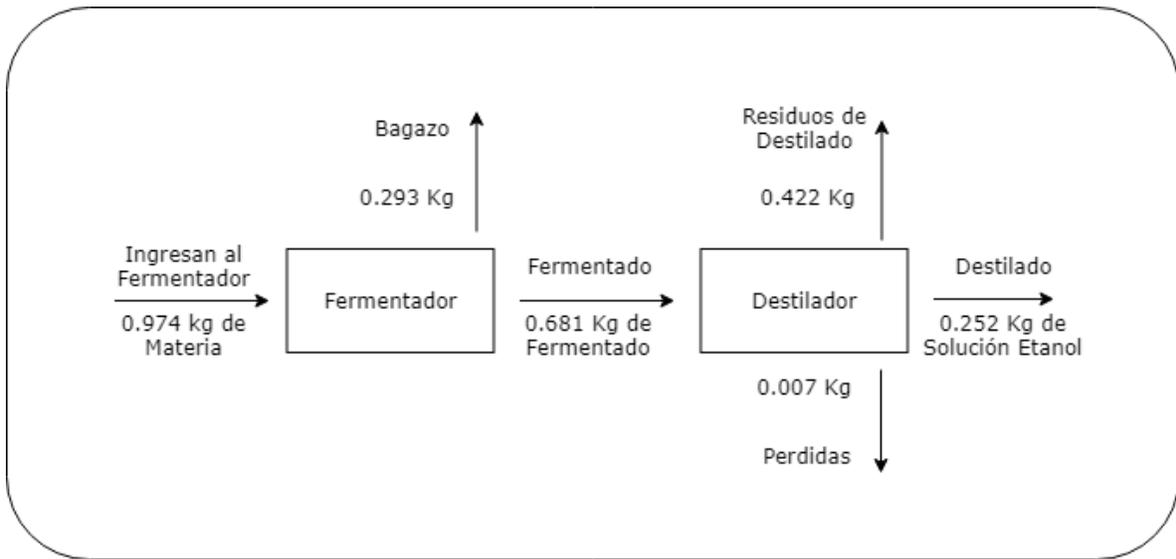
4.3. BALANCES DE MASA

Diagrama No. 2: Balance de masa para piña variedad MD2.



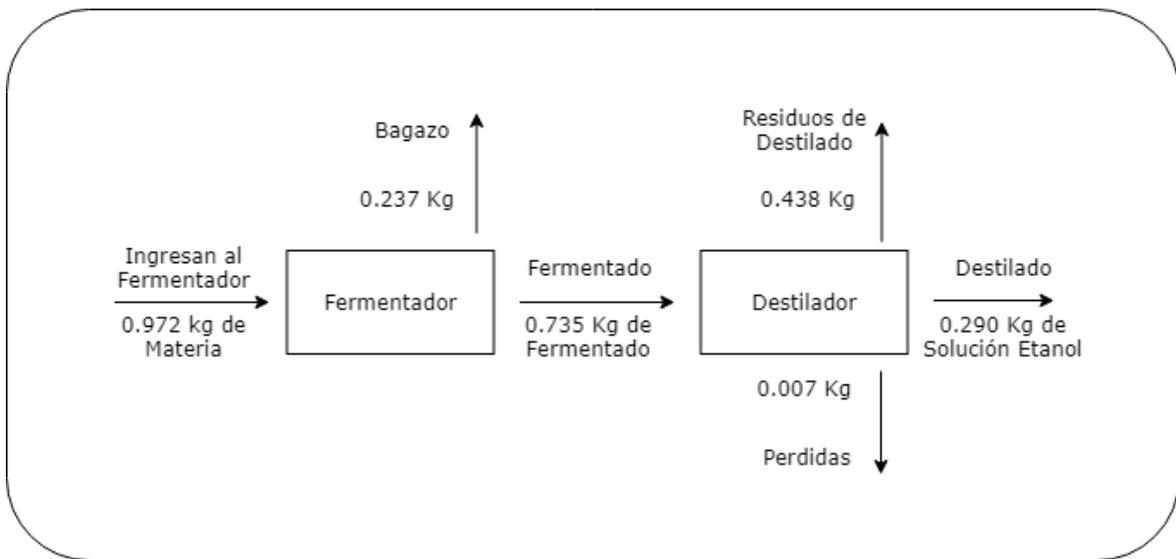
Fuente. elaboración propia, (2018).

Diagrama No. 3: Balance de masa para M1, variedad MD2.



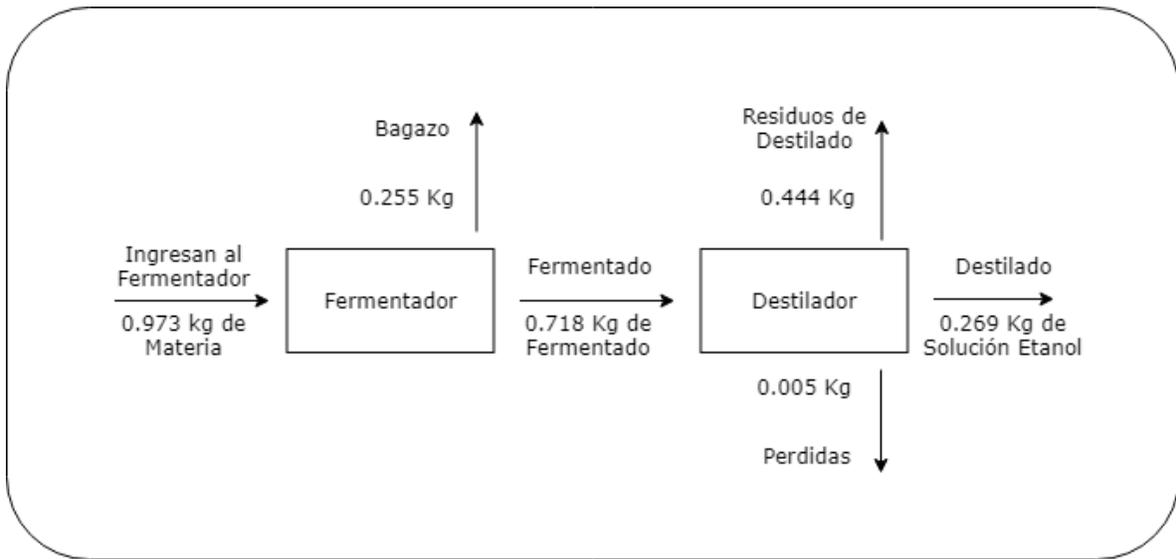
Fuente: elaboración propia, (2018).

Diagrama No. 4: Balance de masa para M2, variedad MD2.



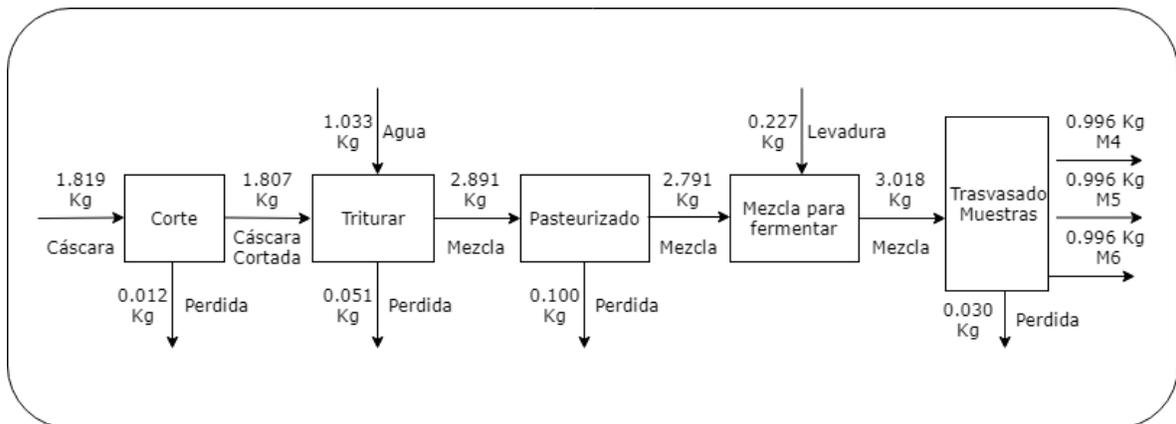
Fuente: elaboración propia, (2018).

Diagrama No. 5: Balance de masa para M3, variedad MD2.



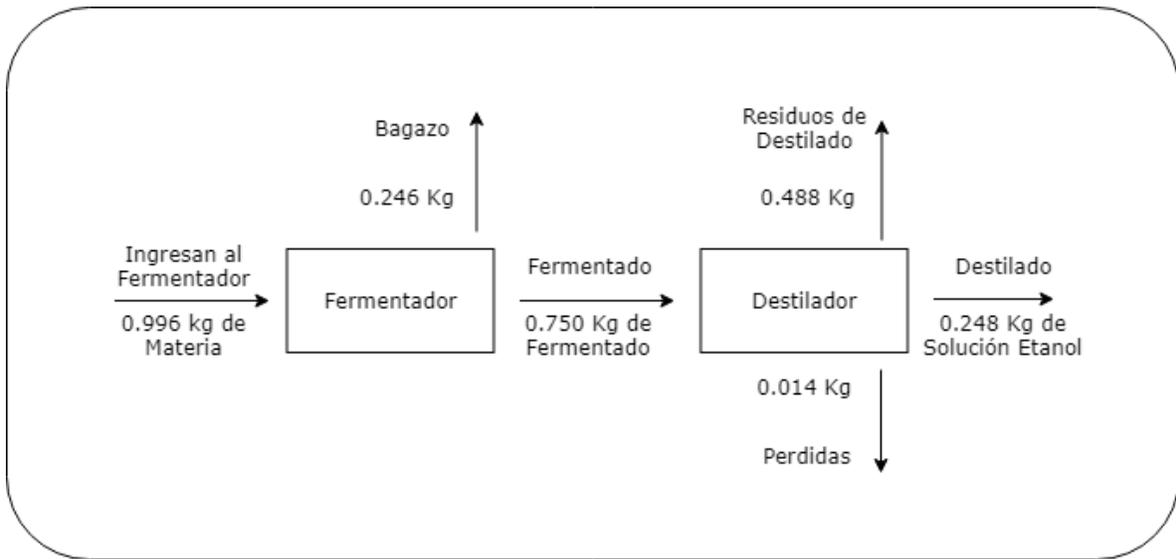
Fuente: elaboración propia, (2018).

Diagrama No. 6: Balance de masa para piña variedad HAWAIANA.



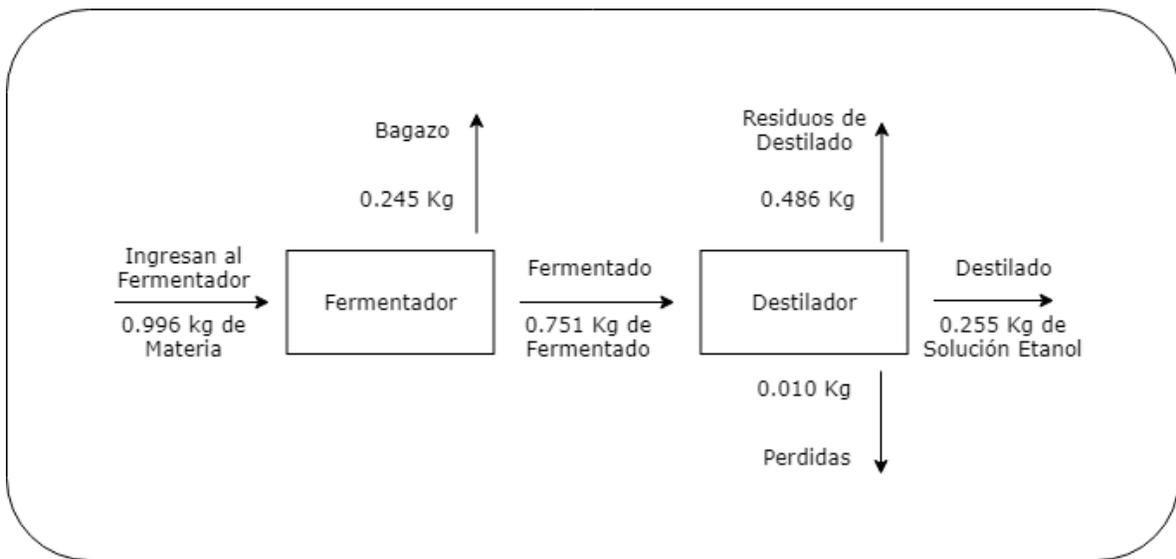
Fuente: elaboración propia, (2018).

Diagrama No. 7: Balance de masa para M4, variedad HAWAIANA.



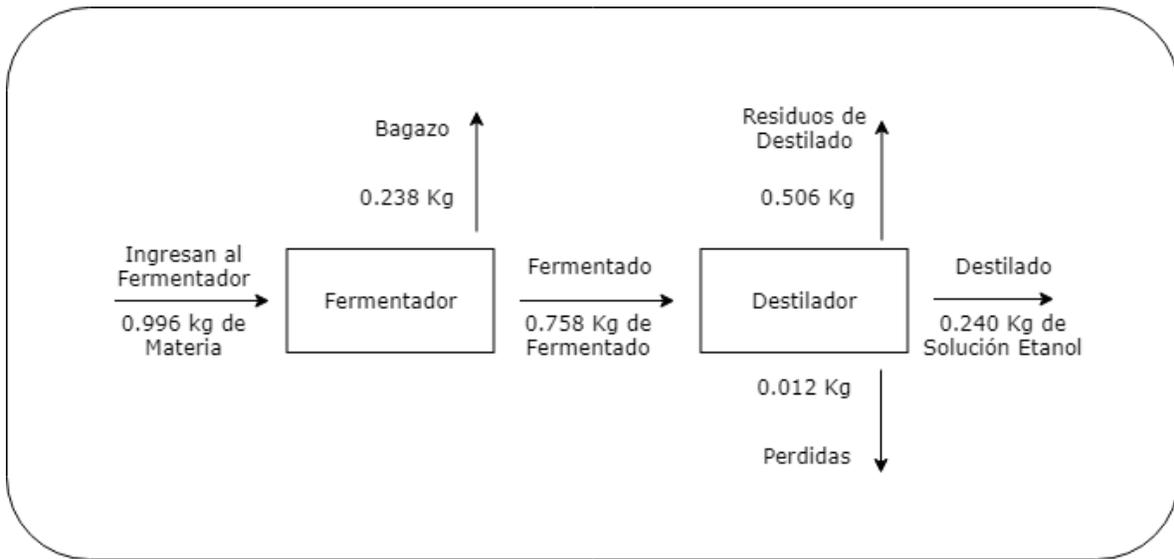
Fuente: elaboración propia, (2018).

Diagrama No. 8: Balance de masa para M5, variedad HAWAIANA.



Fuente: elaboración propia, (2018).

Diagrama No. 9: Balance de masa para M6, variedad HAWAIANA.



Fuente: elaboración propia, (2018).

4.4. CARACTERIZACIÓN DEL DESTILADO POR MEDIO DE DENSIDAD.

Tabla No. 13: Densidad promedio, variedad MD2.

	Densidad
Muestra	g/mL
Promedio	0.9981 ± 0.0025

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 14: Densidad promedio, variedad HAWAIANA.

	Densidad
Muestra	g/mL
Promedio	1.0087 ± 0.0030

Fuente: elaboración propia, (2018).

4.5. CARACTERIZACIÓN DEL DESTILADO POR MEDIO DE CROMATOGRAFIA DE GASES – ESPECTROMETRO DE MASAS.

Tabla No. 15: Porcentaje de área reportado promedio, variedad MD2.

Porcentaje de Área Reportado promedio MD2		
No.	Compuestos	% of Total
1	Acetato de Etilo	0.748%
2	Alcohol Etilico	30.027%
3	Agua	67.382%
4	1-Butanol	0.530%
5	Ácido Acetico	1.121%
6	Alcohol FenilEtil	0.193%

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 16: Porcentaje de área reportado promedio, variedad HAWAIANA.

Porcentaje de Área Reportado promedio HAWAIANA		
No.	Compuestos	% of Total
1	Acetato de Etilo	0.612%
2	Alcohol Etilico	29.207%
3	Agua	68.338%
4	1-Butanol	0.530%
5	Ácido Acetico	0.972%
6	Alcohol FenilEtil	0.284%

Fuente: elaboración propia, (2018).

4.6. COMPARACIÓN DE PROCENTAJE DE ETANOL OBTENIDO.

Tabla No. 17: Porcentaje promedio de Etanol, variedad MD2.

	Etanol
Muestra	%
Promedio	11.42 ± 0.024

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 18: Porcentaje promedio de Etanol, variedad HAWAIANA.

	Etanol
Muestra	%
Promedio	9.60 ± 0.024

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 19: ANOVA para la comparación del porcentaje de etanol obtenido para ambas variedades.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	4.646	1	4.646	35.298	0.00403	7.709
Dentro de los grupos	0.527	4	0.132			
Total	5.173	5				

Fuente: elaboración propia, (2018).

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El estudio se basó en la comparación de la obtención de bioetanol a partir de cáscara de piña (*Ananás Comosus*) de la variedad MD2 y HAWAIANA por medio de dos operaciones fermentación y destilación, utilizando como materia prima piñas provenientes del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. Como objetivos se tenían la determinación de la curva del consumo de sustrato de la fermentación, la determinación de parámetros del destilado (volumen – flujo de cabeza, corazón y cola), realización de balance de masa para los procesos de fermentación y destilación, la comparación del porcentaje de etanol obtenido con ambas variedades y caracterizar las propiedades fisicoquímicas del destilado por medio de una prueba de cromatografía y densidad.

Para el estudio se adquirieron las piñas de dos diferentes lugares que son productores de esta misma, la variedad MD2 fue Agropecuaria Popoyan, S.A Km. 101 Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. Y la variedad HAWAIANA fue Parcelamiento Rancho Fortaleza Km. 100 Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. Las piñas se inspeccionaron para que no presentaran ningún tipo de daño, además, según Hernández y Martínez (2012) en la última etapa de maduración del fruto se producen esterres y compuestos volátiles como lo son acetaldehídos, acetatos de etilo, acetona, etanol, propionato de etilo, entre otros. La primera parte se procedió a trabajar con la variedad MD2 y HAWAIANA, donde se le retiró la cáscara de las piñas manualmente por falta de equipo industrial, para posteriormente reducirla a pequeños trozos y con porciones de agua triturar a modo de que se tuviera una mezcla homogénea. A esta mezcla se le midió el pH inicial siendo en promedio de 3.42 ± 0.029 y 2.90 ± 0.029 respectivamente, esto es debido a que según Morales M., Hernández M., Cabezas M., Barrera J., Martínez O. (2001) el pH va declinando a medida que el fruto se acerca al estado de madurez total, ya que en los frutos tropicales ácidos como la piña, los ácidos se sintetizan en mayores cantidades hasta llegar a un punto óptimo de sazón, los grados Brix siendo en promedio 7.0 ± 0.029 y 6.8 ± 0.029 respectivamente, debido a que según Morales, Hernández, Cabezas, Barrera y Martínez (2001) azúcares y °Brix (SST) tienen un efecto de aumento en los primeros días de maduración del fruto, pero posterior a ello hay una disminución progresiva a medida que transcurren los días de la maduración, aunque uno de los cambios más importantes asociado a la maduración es la degradación de carbohidratos poliméricos en donde casi el total contenido de almidón se convierte en azúcares. Seguidamente a la mezcla se le realizó una pasteurización a una temperatura de 70°C por 15seg., con el objetivo de eliminar cualquier microorganismo presente en la cáscara antes de realizar la fermentación y que esta pueda afectar el proceso al tener microorganismos competidores con la levadura por el sustrato, lo que puede disminuir el rendimiento, a la mezcla pasteurizada antes de haberle agregado la levadura activa, se ajustó el pH a un promedio de 4.99 ± 0.029 y 4.95 ± 0.029 respectivamente, ya que según Uribe Liz (2007) el pH óptimo para el desarrollo de las levaduras varía 4.5 a 6.5, aunque muchas especies

de levaduras toleran grandes variaciones 2.8 – 3.0 a 2.0 – 8.5., esto en términos generales, ahora para la levadura *Saccharomyces Cerevisiae* el pH de desarrollo está en rango de 4.4 a 5.5 siendo el óptimo 4.5.

La operación de fermentación se realizó dentro de incubadora en un rango de temperatura de $25 \text{ a } 30.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ para el desarrollo de la levadura, ya que según Anónimo (s.f.) para la levadura *Saccharomyces Cerevisiae* su desarrollo se encuentra en el rango de temperatura 28 a 35°C siendo la óptima 30°C , además de ello, a la operación se le realizó las gráficas de curvas de fermentación para cada una de las muestras, donde se determinó el consumo de sustrato realizado para la producción de etanol, según Lucero (2015) la disminución en los sólidos solubles se debe a la transformación de azúcares solubles a etanol y donde las levaduras son las responsables de esta transformación en un proceso anaeróbico, esto debido a que los azúcares reductores presentes en la piña como la fructuosa y glucosa además de sacarosa que no es un azúcar reductor, pero al estar en medio acuoso y a cierto pH, la sacarosa se hidroliza y se convierte fructuosa y glucosa, sufren un desdoblamiento en un tiempo determinado, a su vez la velocidad de inversión depende mucho por la naturaleza de ácido, la temperatura y el pH del medio en que se encuentre. Estas graficas del consumo de sustrato encontradas en la gráfica no. 1 a la gráfica no. 6 de la sección 4.1 de resultados, se realizaron en función de los Grados Brix vs Días de fermentación, reflejando una ecuación polinomial de segundo grado con la que se describe el comportamiento de estas mismas, debido a que existe un decrecimiento del sustrato, ya que a mayor tiempo transcurrido en la fermentación las cantidades de sustrato eran menores por la inversión de las moléculas a etanol.

Posterior a ello se realizó la operación de extracción de etanol del fermentado por medio de una destilación simple con un kit Corning, ya que por este medio se puede destilar cuando se tiene una o más sustancias volátiles y el punto de ebullición de un compuesto difiere de otros los compuestos, así como lo es el etanol con un punto de ebullición de 78.4°C y del agua 100°C , esto dependiendo de la presión a la que se encuentre realizando el experimento. Para armar el equipo de destilación simple, al balón de destilación se agregó el fermentado y se dejó funcionar durante 1.5 horas, con este tiempo se logra extraer la mayor parte de etanol, ya que con forme el tiempo va pasando en la evaporación de la mezcla la cantidad de etanol va disminuyendo de los vapores, además de ello se destiló en un rango promedio de $77 \text{ a } 91^\circ\text{C}$. El procedimiento se realizó por triplicado para cada variedad, en total realizando 6 destilaciones simples, además de ello, la variable evaluada en el proceso fue la variedad de la piña. A esta operación se le determinó los volúmenes del destilado reflejado de la tabla no. 11 y tabla no. 12 en la sección 4.2 de resultados. Donde por muestra se determinó el volumen del flujo de cabeza siendo en promedio para la variedad MD2 $25 \pm 0.29\text{ml}$ en un rango de temperatura de $77 - 79 \pm 0.29^\circ\text{C}$, para el volumen de cuerpo siendo en promedio de $181 \pm 0.29 \text{ ml}$ en un rango de temperatura de $80 - 87 \pm 0.29^\circ\text{C}$ y para el

volumen de cola siendo en promedio de 38 ± 0.29 ml en un rango de temperatura de $89 - 91 \pm 0.29$ °C. Para la variedad HAWAIANA se determinó el flujo de cabeza siendo en promedio 16 ± 0.29 ml en un rango de temperatura de $77 - 80 \pm 0.29$ °C, para el volumen de cuerpo siendo en promedio de 169 ± 0.29 ml en un rango de temperatura de $81 - 89 \pm 0.29$ °C y para el volumen de cola siendo en promedio de 29 ± 0.29 ml en un rango de temperatura de $90 - 91 \pm 0.29$ °C. La cabeza de destilación según Garrido, Linares y Cárdenas (2008) en esta parte están los componentes más volátiles ya que son los que tienen menor punto de ebullición, para este caso se obtuvo en bajas cantidades de acetato de etilo y alcohol etílico, posterior a ello en el cuerpo de la destilación según Garrido, Linares y Cárdenas (2008) es la parte más importante de la destilación ya que es la separación de la cabeza, y en ello se recolecta la mayor cantidad de destilado, en esta parte se terminó de obtener el acetato de etilo presente, además del alcohol etílico en mayor proporción más una parte de agua. En la cola del destilado según Garrido, Linares y Cárdenas (2008) son los compuestos con mayor peso molecular y que dependerán de su solubilidad tanto en alcohol como en agua, en este punto se obtuvo agua, además de trazas de 1-butanol, alcohol fenil etil y ácido acético.

Se realizó el balance de materia para todo el proceso en la sección 4.3 de resultados desde el diagrama no. 2 al diagrama no. 9 se analizó desde que se retiró la cáscara de la piña hasta las operaciones de fermentación y destilación, con ello se detalló las entradas y salidas de materias, así como las pérdidas que existieron dentro del proceso. Aquí se pudo determinar que la cáscara representa entre un 29 – 40% de pérdida, tal como lo indica la teoría, por lo que es importante este tipo de estudios para poder realizar aplicaciones alternativas para el uso de desechos. Respecto del proceso de la obtención de bioetanol, lo más considerable dentro del mismo fue en la pasteurización, ya que en este se tuvieron pérdidas de agua por evaporación, esto a su vez favoreció la concentración de azúcares en la mezcla para posteriormente pasar al fermentador. A este procedimiento paso la mezcla donde se dejó fermentar y al finalizar esta misma se realizó la separación entre el bagazo de la cáscara siendo un promedio de 0.261 ± 0.00029 Kg para MD2 y 0.243 ± 0.00029 Kg para HAWAIANA, esto representado un porcentaje de 26.80% y 24.40% respectivamente, posteriormente el 73.2% y 75.6% es la mezcla de fermentado que entró al destilador. En este se realizó la extracción del etanol, obteniéndose en el destilado una solución de etanol ya que pueden existir otros componentes al momento de destilarlo, ya que según Hernández y Martínez (2012) en la última etapa de la maduración se producen compuestos volátiles como los acetatos de etilo, acetaldehídos, acetona, etanol, propionato de etilo, de los cuales por su bajo punto de ebullición se pueden encontrar en la solución destilada. Además de ello se tuvieron pérdidas bajas en esta operación siendo en promedio de 0.006 Kg para variedad MD2 y 0.012 Kg para variedad HAWAIANA, y estas pudieron ser por evaporación.

Además de ello según Mathewson (1980) en la figura no. 10 cuando se tiene un porcentaje de 8% de etanol la mezcla se encuentra aproximadamente en 200°F (93°C), al estar en esta temperatura el vapor existente contiene un 43% de etanol, cuando se está a este punto se debería de redestilar el vapor condensado de la primera destilación, ya que al llegar a los 43% de etanol y 57% de agua, esta mezcla hierve a 181°F (83°C), por lo que el vapor contenido será de un 68% de etanol, con esto hay que redestilar nuevamente para que el etanol contenido sea más puro con cada redestilación que se lleve a cabo hasta conseguir un porcentaje de 95.6% de etanol, ya que es lo más puro que se puede contener en etanol, por lo que no puede ser terminado de separar el agua de la misma por el azeótropo formado cuyo punto de ebullición es una fracción de grado menor que el del alcohol puro. El contenido de las muestras que se realizaron fue bajo debido al rango de operación de temperatura, y por la falta de equipo para realizar otras operaciones de destilación en simultaneo del destilado saliente para tener un mayor porcentaje de etanol de las muestras.

Se procedió a realizar una caracterización del destilado, con ello para determinar que el contenido fuera etanol únicamente o si había algunos otros compuestos interferentes. Para esto se determinó primero para cada una de las muestras la densidad siendo en promedio para la variedad MD2 0.9981 ± 0.0025 g/mL y para la variedad HAWAIANA 1.0087 ± 0.0030 g/mL, con esto se determinó que el destilado contiene otros compuestos y una mayor proporción de agua, debido a que las densidades están cercanas a la densidad del agua 1.00 g/mL, además pudiéndose comprobar por medio de la cromatografía.

Posterior a la realización de la densidad, también se procedió a realizar una caracterización por medio de una cromatografía de gases con espectrómetro de masas, este análisis se le realizó a cada muestra en el Laboratorio de Química Avanzada de la Universidad del Valle de Guatemala, a partir de los datos obtenidos se pudieron determinar los compuestos más importantes del destilado en porcentaje de área reportado en la tabla no. 15 y la tabla no. 16 de la sección 4.5 de resultados. Para la variedad MD2, se obtuvo una composición promedio de 30.027% Etanol, 67.382% Agua y 1.121% Ácido Acético, estos siendo los de mayor porcentaje, además, se obtuvo un porcentaje que no es considerable de Acetato de etilo (0.748%), 1-Butanol (0.530%) y Alcohol Fenil Etil (0.193%). Para la variedad HAWAIANA, se obtuvo una composición promedio de 29.207% Etanol, 68.338% Agua y 0.972% Ácido Acético, además, se obtuvo un porcentaje que no es considerable de Acetato de etilo (0.612%), 1-Butanol (0.530%) y Alcohol Fenil Etil (0.284%).

A partir de los datos anteriores se determinó el porcentaje de etanol para cada una de las muestras, ya que según los datos de la cromatografía en cada muestra de destilado debería de haber en promedio 30.027% de Etanol para la variedad MD2 y 29.207% de Etanol para la variedad HAWAIANA, siendo este el compuesto que de interés. En la tabla no. 17 y tabla no. 18 de la sección 4.6 de

resultados, el porcentaje de etanol en promedio para la variedad MD2 fue de $11.42 \pm 0.024\%$ y para la variedad HAWAIANA fue de $9.60 \pm 0.024\%$, además de ello se hizo una comparación en la obtención del porcentaje de etanol esto reflejado en la tabla no. 28 en la sección 4.6 de resultados, donde por medio de un análisis de varianza se determinó que el valor de la F siendo 35.298 y es mayor al valor crítico para F siendo 7.709 por lo que se contesta a la hipótesis donde la obtención de bioetanol de la variedad MD2 tiene diferencia significativa respecto de la variedad HAWAIANA. Y esto es debido a que en la variedad MD2 tiene un mayor contenido de azúcares lo que hace una mayor producción de etanol en comparación a la variedad HAWAIANA, donde esta tiene un menor contenido de azúcares, por lo que la producción de etanol es en menor proporción. Esto se puede comprobar por medio de los Grados Brix ya que son las concentraciones de azúcares que los frutos contienen.

VI. CONCLUSIONES

- Se determinó la curva de consumo de sustrato para cada una de las muestras, en el cual se observó un decrecimiento en los Grados Brix, esto debido a la inversión que existe a etanol y por ello el consumo del sustrato se ajusta a una ecuación polinomial de segundo grado.
- Se determinaron los volúmenes de destilado que fueron las tres etapas importantes flujo de cabeza, cuerpo y cola, siendo en promedio 25 ± 0.29 ml, 181 ± 0.29 ml, 38 ± 0.29 ml respectivamente para la variedad MD2 y siendo en promedio 16 ± 0.29 , 169 ± 0.29 ml, 29 ± 0.29 ml respectivamente para la variedad HAWAIANA.
- Se realizó un balance de masa para cada una de las muestras en el proceso de fermentación y destilación, con ello se observó las entradas y salidas además de las pérdidas por evaporación que se dieron en la destilación al finalizar el proceso y recibir el producto final.
- Se realizó una caracterización de las muestras por densidad siendo en promedio para la variedad MD2 0.9981 ± 0.0025 g/mL y para la variedad HAWAIANA 1.0087 ± 0.0030 g/mL, con esto se determinó que el destilado es una solución de etanol por su alto contenido en agua.
- Se realizó una caracterización de las muestras por cromatografía de gases con espectrómetro de masas donde para la variedad MD2, se obtuvo una composición promedio de 30.027% Etanol, 67.382% Agua en mayor proporción. Para la variedad HAWAIANA, se obtuvo una composición promedio de 29.207% Etanol, 68.338% Agua en mayor proporción.
- Se comparó el porcentaje de etanol obtenido para cada una de las variedades y por medio de un análisis de varianza se determinó que el valor de F fue mayor que el valor crítico de F, con esto se comprobó que hay diferencia significativa en la obtención de etanol de la variedad MD2 respecto a la variedad HAWAIANA, debido al mayor contenido de azúcares concentrados en la variedad MD2.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar una investigación de las variedades de piña que utilizan las procesadoras de frutas para la utilización de esa materia prima para la extracción del bioetanol.
- Evaluar y comparar la producción de etanol realizado por el microorganismo *Saccharomyces Cerevisiae* con otros microorganismos que produzcan etanol como *Saccharomyces Pastorianus*, *Tóru*las y *Saccharomyces Carisbergenis* (*S. Uvarum*), con el objetivo de aumentar la fermentación alcohólica.
- Utilizar otros medios como biorreactores para mejorar las condiciones y que el proceso de fermentación alcohólica con lo que se logre producir a una mayor escala el etanol.
- Realizar pruebas como la del alcoholímetro para determinar los porcentajes de alcohol obtenidos al final de la destilación y compararlo con los porcentajes calculados.
- Evaluar otro método de obtención de etanol como el de hidrólisis enzimática aplicado a ambas variedades de piña y comparar el rendimiento de extracción con el método fermentativo.

VIII. REFERENCIAS

- Anónimo (s.f.) Diseño de una planta piloto para la producción de bioetanol. Consultado en internet el 16/08/2018, 20:40 horas en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20046/fichero/Anexo%252FANEXO+4.pdf>
- Asociación de Combustibles Renovables (2017) Etanol en Guatemala. Consultado en internet el 25/03/2018, 15:30 horas en: <http://www.acrguatemala.com/etanol.shtml>
- Ayazán A., Gil I., Aguilar J., Rodríguez G. y Giaceto L. (2004) Deshidratación del etanol. Revista de Ingeniería e Investigación 56, 49-59.
- Catalán, J. (2013) Evaluación a nivel laboratorio de la capacidad fermentativa de los granos de tibicos utilizados como sustrato único el jugo del eje de inflorescencia de la piña (Ananás Comosus) para ser aprovechado como posible bebida probiótica. Trabajo de Graduación para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Corella, B. (2013) Producción de Bioetanol a partir del corazón y cáscara de piña utilizando la levadura *Saccharomyces Cerevisiae*. Trabajo de Graduación para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Química, San José Costa Rica, Universidad de Costa Rica.
- Durst, H. y Gokel, G. (1985) Química Orgánica Experimental. 1era. Edición. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España.
- García, C. (2004) Bioetanol. Biocombustibles: Energía o Alimento. Ecología. 1era. Edición. Capítulo 4. Universitat de Barcelona.
- García, V. (2004) Introducción a la Microbiología, 2da. Edición, Editorial Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica.
- Garrido A., Linares T. y Cárdenas L. (2008) Estudio de la Composición de las Fracciones de Destilado en un Proceso de Obtención de Pisco. Revista Per. Quim. Ingeniería Química Vol. 11 No. 2, 19-22.
- Gutiérrez M. y Droguet M. (2002) Identificación de compuestos volátiles por CG-MS. Boletín Intexter. Universitat Politècnica de Catalunya, España.
- Hernández y Martínez (2012) Obtención de Etanol por vía fermentativa a partir de Cascara de Ananás Comosus, Evaluando dos de sus principales variables (pH y Grados Brix) usando como microorganismo productor *Saccharomyces*

- Cerevisiae. Trabajo de Graduación para optar al grado de Licenciatura En Química y Farmacia, San Salvador, El Salvador, Centroamérica, Universidad de El Salvador.
- Johnson, C. (1981) Determinación de estructuras orgánicas. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España.
- Lucero, P. (2015) Efecto del uso de la levaduras y concentración de °Brix en las características fisicoquímicas y sensoriales del vino de fresa con miel. Trabajo de Graduación para optar al grado de Licenciatura de Ingeniería Agroindustrial Alimentaria. Honduras, Zamorano.
- Mathewson, S. (1980) Destilación de etanol. Consultado en internet el 01/07/2018, 10:00 am, en: <http://journeytoforever.org/es/biocombustibles/produccion-casera-etanol/destilacion.cgi>
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Ganadería. Producción de Piñas. Consultado en internet el 29/04/2018, 15:29 horas en: <http://web.maga.gob.gt/blog/villa-canales-celebra-feria-de-la-pina/>
- Montilla, I. (1997) El cultivo de la piña en Venezuela. Fondo nacional de investigaciones Agropecuarias. Centro de investigaciones Agropecuarias del Estado de Lara. Venezuela.
- Morales M., Hernández M., Cabezas M., Barrera J. y Martínez O. (2001) Caracterización de la Maduración del Fruto de Piña Nativa (Ananás Comosus L. Merrill) Cv. India. Revista Agronomía Colombiana 18, 7-13.
- Müller, L. (1964) Manual de Laboratorio de Fisiología Vegetal. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A. Primera Edición. Turrialba, Costa Rica.
- Pac, P. (2005) Experiencias en el Cultivo de Piña (Ananás Comosus) Con el Hibrido MD2 en la Finca La Plata, Coatepeque, Quetzaltenango. Trabajo de Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Reyes, K. (2014) Diseño de investigación para el incremento de la productividad en el proceso de envasado; utilizando vinagre de cáscara de Piña obtenido por Fermentación doble Alcohólica y Acética, en una empresa guatemalteca, Trabajo de Graduación para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Química, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Treybal, R. (1988) Operaciones de transferencia de masa. 2da. Edición. Editorial McGraw-Hill S. A. México.
- Uribe, L. (2007) Caracterización fisiología de las levaduras aislada de la filosfera de mora. Trabajo de Graduación para optar al grado de Licenciatura en Microbiología Industrial. Bogotá, Colombia, Pontificia Universidad Javeriana.

IX. GLOSARIO

- Micrómetros (μm): unidad de longitud equivalente a la millonésima (10^{-6}) parte del metro (0,001 mm) (RAE, 2017)
- Grados Brix ($^{\circ}\text{Brix}$): es una medida de concentración de azúcares que se encuentran disueltos en un producto y de un nivel de dulzura del mismo. Este es medido a través de un refractómetro o brixómetro. (Hernández, Martínez, 2012)
- pH: índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución. (RAE, 2017)
- Grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$): unidad de temperatura de la escala Celsius.
- Deshidratación: perder parte del agua que entra en la composición de una mezcla. (RAE, 2017)
- Sustrato: es una molécula sobre la que actúa una enzima que cataliza una reacción química. (RAE, 2017)
- Fermentación: es un proceso catabólico de oxidación incompleta, que no requiere oxígeno, y cuyo producto final es un compuesto orgánico. (RAE, 2017)
- Destilación: es un método para separar componentes de una solución, y este depende de la distribución de sustancias entre la fase gaseosa y una fase líquida y en la cual se aplica a los casos en que todos los componentes están presentes en las dos fases. (Treybal, 1988)
- Rendimiento: proporción entre el producto o el resultado obtenido y los medios utilizados. (RAE, 2017).
- Densidad: magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo, y cuya unidad en el sistema internacional es el Kilogramo por metro cúbico. (RAE, 2018)
- Cromatografía: método de análisis químico para la separación de los componentes de una mezcla por distribución entre dos fases, una estacionaria y otra móvil. (RAE, 2018).

X. ANEXO

10.1. DATOS RECOLECTADOS RELEVANTES

Tabla No. 20: pH iniciales para la mezcla sin pasteurizar variedad MD2.

Variedad MD2	
No. De Tomas	pH
1	3.45 ± 0.05
2	3.40 ± 0.05
3	3.42 ± 0.05
Promedio	3.42 ± 0.029

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 21: pH inicial para la mezcla pasteurizada variedad MD2.

Variedad MD2	
No. De Tomas	pH
1	4.98 ± 0.05
2	5.01 ± 0.05
3	4.99 ± 0.05
Promedio	4.99 ± 0.029

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 22: Grados Brix iniciales para la mezcla sin pasteurizar y pasteurizada variedad MD2.

Variedad MD2	
No. De Tomas	°Brix
1	7.0 ± 0.05
2	7.1 ± 0.05
3	7.0 ± 0.05
Promedio	7.0 ± 0.029

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 23: pH iniciales para la mezcla sin pasteurizar variedad HAWAIANA.

Variedad HAWAIANA	
No. De Tomas	pH
1	2.88 ± 0.05
2	2.90 ± 0.05
3	2.92 ± 0.05
Promedio	2.90 ± 0.029

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 24: pH iniciales para la mezcla pasteurizada variedad HAWAIANA.

Variedad HAWAIANA	
No. De Tomas	pH
1	4.95 ± 0.05
2	4.93 ± 0.05
3	4.98 ± 0.05
Promedio	4.95 ± 0.029

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 25: Grados Brix iniciales para la mezcla sin pasteurizar y pasteurizada variedad HAWAIANA.

Variedad HAWAIANA	
No. De Tomas	°Brix
1	6.8 ± 0.05
2	6.9 ± 0.05
3	6.8 ± 0.05
Promedio	6.8 ± 0.029

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 26: Masa de bagazo retirada después de la operación de fermentación, variedad MD2.

Muestra	Masa Bagazo
	Kg
M1	0.293 ± 0.05
M2	0.237 ± 0.05
M3	0.255 ± 0.05
Promedio	0.261 ± 0.029

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 27: Masa de bagazo retirada después de la operación de fermentación, variedad HAWAIANA.

	Masa Bagazo
Muestra	Kg
M4	0.246 ± 0.05
M5	0.245 ± 0.05
M6	0.238 ± 0.05
Promedio	0.243 ± 0.029

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 28: Masas y volúmenes para el cálculo de densidad variedad MD2.

	Densidad	
Muestras	Masa (g)	Volumen (mL)
M1	9.8825 ± 0.00007	10 ± 0.025
M2	10.1392 ± 0.00007	10 ± 0.025
M3	9.9205 ± 0.00007	10 ± 0.025

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 29: Masas y volúmenes para el cálculo de densidad variedad HAWAIANA.

	Densidad	
Muestras	Masa (g)	Volumen (mL)
M4	9.8312 ± 0.00007	10 ± 0.025
M5	10.4921 ± 0.00007	10 ± 0.025
M6	4.9689 ± 0.00007	5 ± 0.02

Fuente: elaboración propia, (2018).

10.2. RESULTADOS POR CADA UNA DE LAS MUESTRAS.

Tabla No. 30: Volumen de destilado M1, variedad MD2.

Volumen de Destilación (Flujo de Cabeza, Cuerpo y Cola)			
	M1		
	Volumen	Rango Temperatura	
	Mililitros	°C	
Flujo de Cabeza	26.0 ± 0.5	77 - 79 ± 0.5	
Cuerpo	184.0 ± 0.5	80 - 88 ± 0.5	
Cola	42.0 ± 0.5	89 - 92 ± 0.5	

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 31: Volumen de destilado M2, variedad MD2.

Volumen de Destilación (Flujo de Cabeza, Cuerpo y Cola)			
M2			
	Volumen	Rango Temperatura	
	Mililitros	°C	
Flujo de Cabeza	24 ± 0.5	78 - 80 ± 0.5	
Cuerpo	171 ± 0.5	81 - 87 ± 0.5	
Cola	35 ± 0.5	88 - 90 ± 0.5	

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 32: Volumen de destilado M3, variedad MD2.

Volumen de Destilación (Flujo de Cabeza, Cuerpo y Cola)			
M3			
	Volumen	Rango Temperatura	
	Mililitros	°C	
Flujo de Cabeza	25 ± 0.5	76 - 79 ± 0.5	
Cuerpo	187 ± 0.5	80 - 87 ± 0.5	
Cola	38 ± 0.5	88 - 91 ± 0.5	

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 33: Volumen de destilado M4, variedad HAWAIANA.

Volumen de Destilación (Flujo de Cabeza, Cuerpo y Cola)			
M4			
	Volumen	Rango Temperatura	
	Mililitros	°C	
Flujo de Cabeza	17 ± 0.5	77 - 80 ± 0.5	
Cuerpo	171 ± 0.5	81 - 89 ± 0.5	
Cola	32 ± 0.5	90 - 91 ± 0.5	

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 34: Volumen de destilado M5, variedad HAWAIANA.

Volumen de Destilación (Flujo de Cabeza, Cuerpo y Cola)			
M5			
	Volumen	Rango Temperatura	
	Mililitros	°C	
Flujo de Cabeza	19 ± 0.5	76 - 79 ± 0.5	
Cuerpo	163 ± 0.5	80 - 88 ± 0.5	
Cola	28 ± 0.5	89 - 91 ± 0.5	

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 35: Volumen de destilado M6, variedad HAWAIANA.

Volumen de Destilación (Flujo de Cabeza, Cuerpo y Cola)			
M6			
	Volumen	Rango Temperatura	
	Mililitros	°C	
Flujo de Cabeza	13 ± 0.5	79 - 82 ± 0.5	
Cuerpo	174 ± 0.5	82 - 90 ± 0.5	
Cola	28 ± 0.5	91 - 92 ± 0.5	

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 36: Densidades para muestras M1, M2, M3, variedad MD2.

	Densidad
Muestra	g/mL
M1	0.9883 ± 0.0025
M2	1.0139 ± 0.0025
M3	0.9921 ± 0.0025

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 37: Densidades para muestras M4, M5, M6, variedad HAWAIANA.

	Densidad
Muestra	g/mL
M4	0.9831 ± 0.0025
M5	1.0492 ± 0.0026
M6	0.9938 ± 0.0040

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 38: Reporte de porcentajes de áreas para M1, variedad MD2.

Porcentaje de área Reportado M1			
No.	Compuestos	R.T. Min.	% of Total
1	Acetato de Etilo	6.892	0.746%
2	Alcohol Etilico	8.061	30.073%
3	Agua	11.368	67.324%
4	1-Butanol	13.720	0.535%
5	Ácido Acetico	17.277	1.131%
6	Alcohol FenilEtil	23.203	0.191%

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 39: Reporte de porcentajes de áreas para M2, variedad MD2.

Porcentaje de área Reportado M2			
No.	Compuestos	R.T. Min.	% of Total
1	Acetato de Etilo	6.878	0.745%
2	Alcohol Etilico	8.043	30.073%
3	Agua	11.366	67.339%
4	1-Butanol	13.716	0.531%
5	Ácido Acetico	17.273	1.118%
6	Alcohol FenilEtil	23.202	0.194%

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 40: Reporte de porcentajes de áreas para M3, variedad MD2.

Porcentaje de área Reportado M3			
No.	Compuestos	R.T. Min.	% of Total
1	Acetato de Etilo	6.899	0.752%
2	Alcohol Etilico	8.067	29.934%
3	Agua	11.366	67.483%
4	1-Butanol	13.716	0.523%
5	Ácido Acetico	17.275	1.114%
6	Alcohol FenilEtil	23.202	0.194%

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 41: Reporte de porcentajes de áreas para M4, variedad HAWAIANA.

Porcentaje de área Reportado M4			
No.	Compuestos	R.T. Min.	% of Total
1	Acetato de Etilo	6.951	0.611%
2	Alcohol Etilico	8.125	28.608%
3	Agua	11.366	69.006%
4	1-Butanol	13.743	0.542%
5	Ácido Acetico	17.283	0.945%
6	Alcohol FenilEtil	23.203	0.287%

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 42: Reporte de porcentajes de áreas para M5, variedad HAWAIANA.

Porcentaje de área Reportado M5			
No.	Compuestos	R.T. Min.	% of Total
1	Acetato de Etilo	6.889	0.621%
2	Alcohol Etilico	8.057	29.654%
3	Agua	11.366	67.788%
4	1-Butanol	13.721	0.519%
5	Ácido Acetico	17.278	0.974%
6	Alcohol FenilEtil	23.202	0.275%

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 43: Reporte de porcentajes de áreas para M6, variedad HAWAIANA.

Porcentaje de área Reportado M6			
No.	Compuestos	R.T. Min.	% of Total
1	Acetato de Etilo	6.904	0.605%
2	Alcohol Etilico	8.073	29.360%
3	Agua	11.366	68.219%
4	1-Butanol	13.730	0.529%
5	Ácido Acetico	17.279	0.998%
6	Alcohol FenilEtil	23.202	0.290%

Fuente: elaboración propia, (2018).

Tabla No. 44: Porcentaje de etanol para muestras M1, M2, M3, variedad MD2.

	Etanol
Muestra	%
M1	11.18 ± 0.022
M2	11.88 ± 0.027
M3	11.21 ± 0.024

Fuente: elaboración propia, (2018).

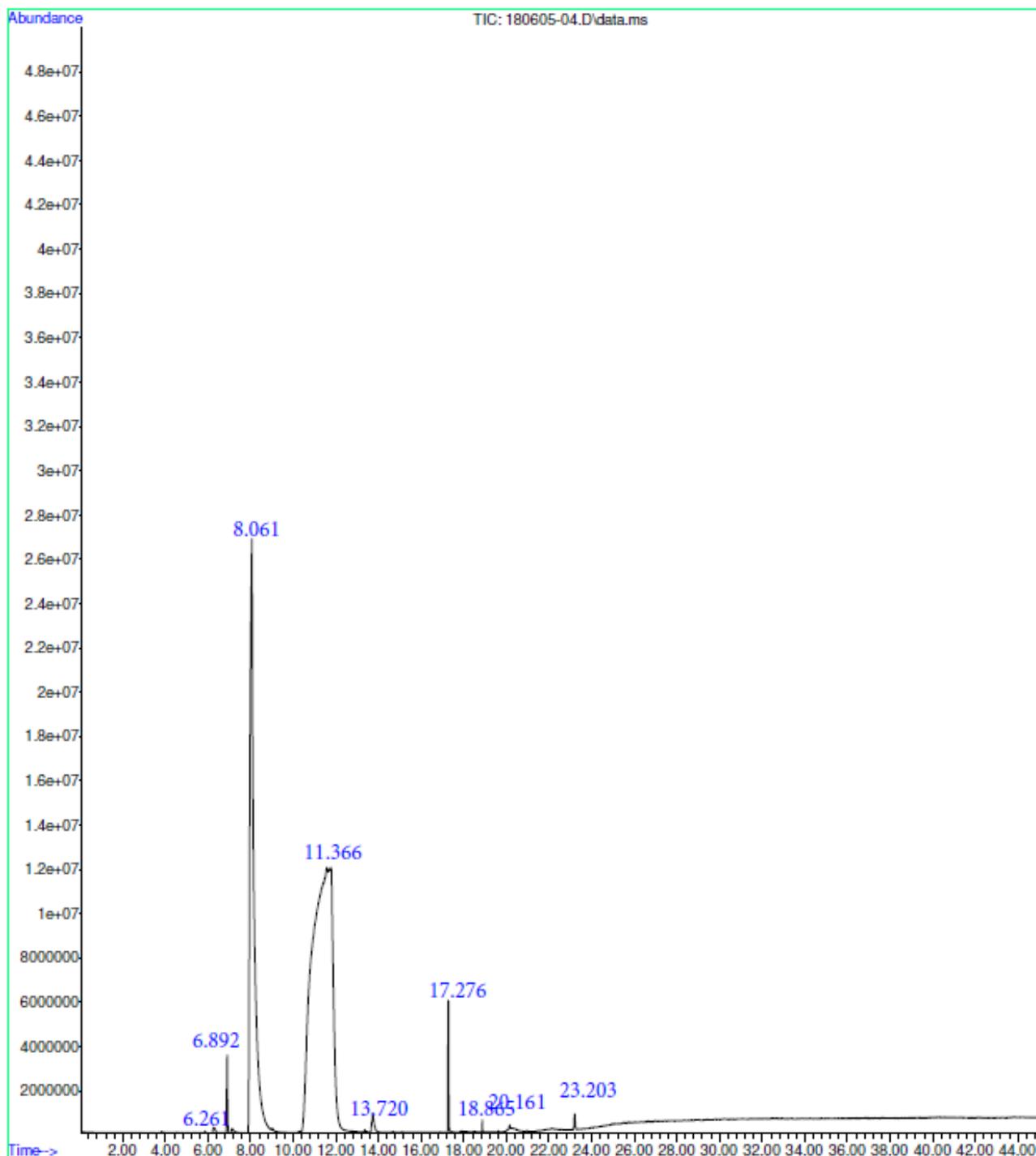
Tabla No. 45: Porcentaje de etanol para muestras M4, M5, M6, variedad HAWAIANA.

	Etanol
Muestra	%
M4	9.46 ± 0.024
M5	10.04 ± 0.026
M6	9.31 ± 0.023

Fuente: elaboración propia, (2018).

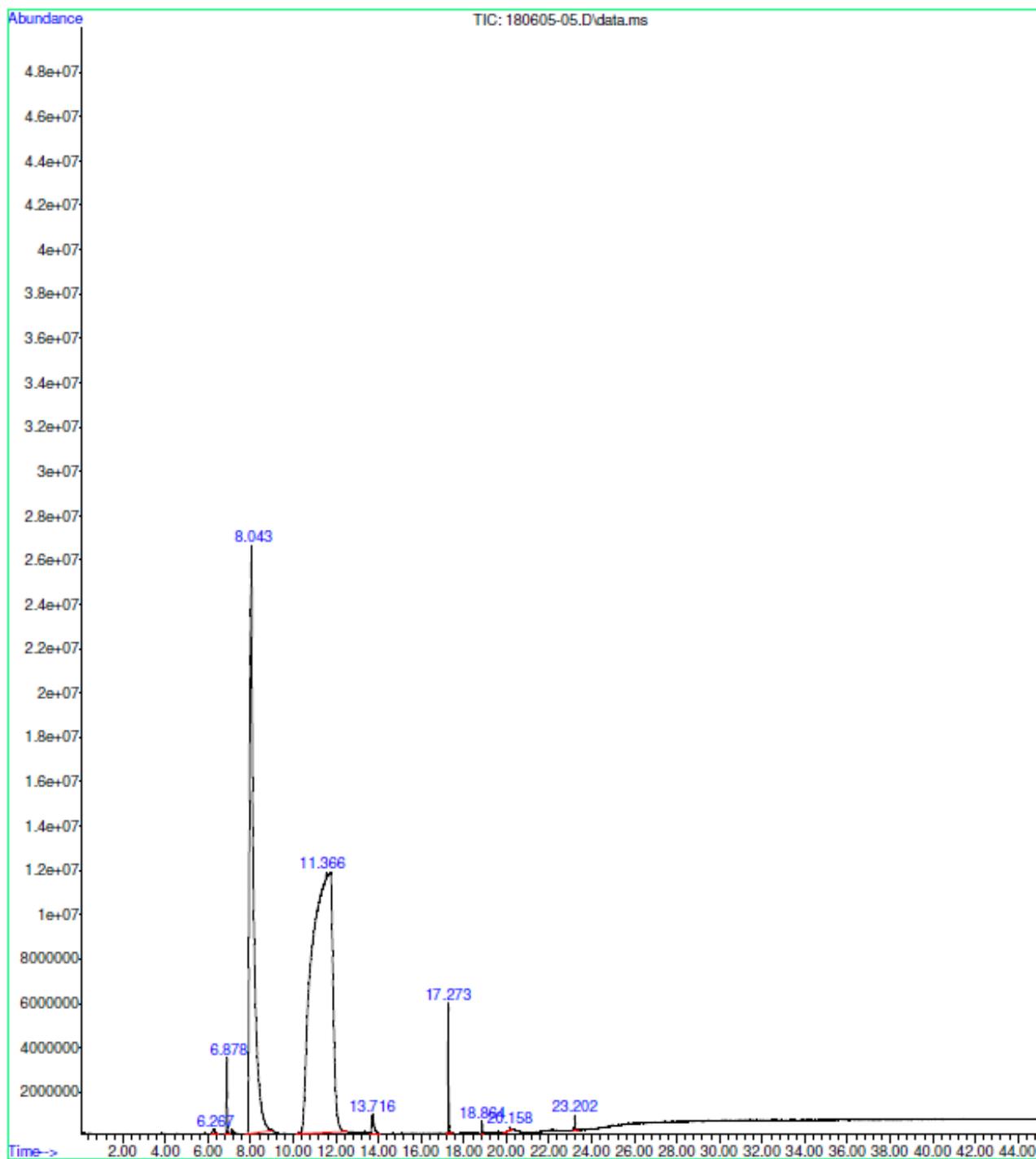
10.3. CROMATOGRAMAS DEL ANÁLISIS DE CROMATOGRAFÍA DE GASES CON ESPECTROMETRÍA DE MASAS.

Figura No. 20: Cromatograma para la M1, variedad MD2.



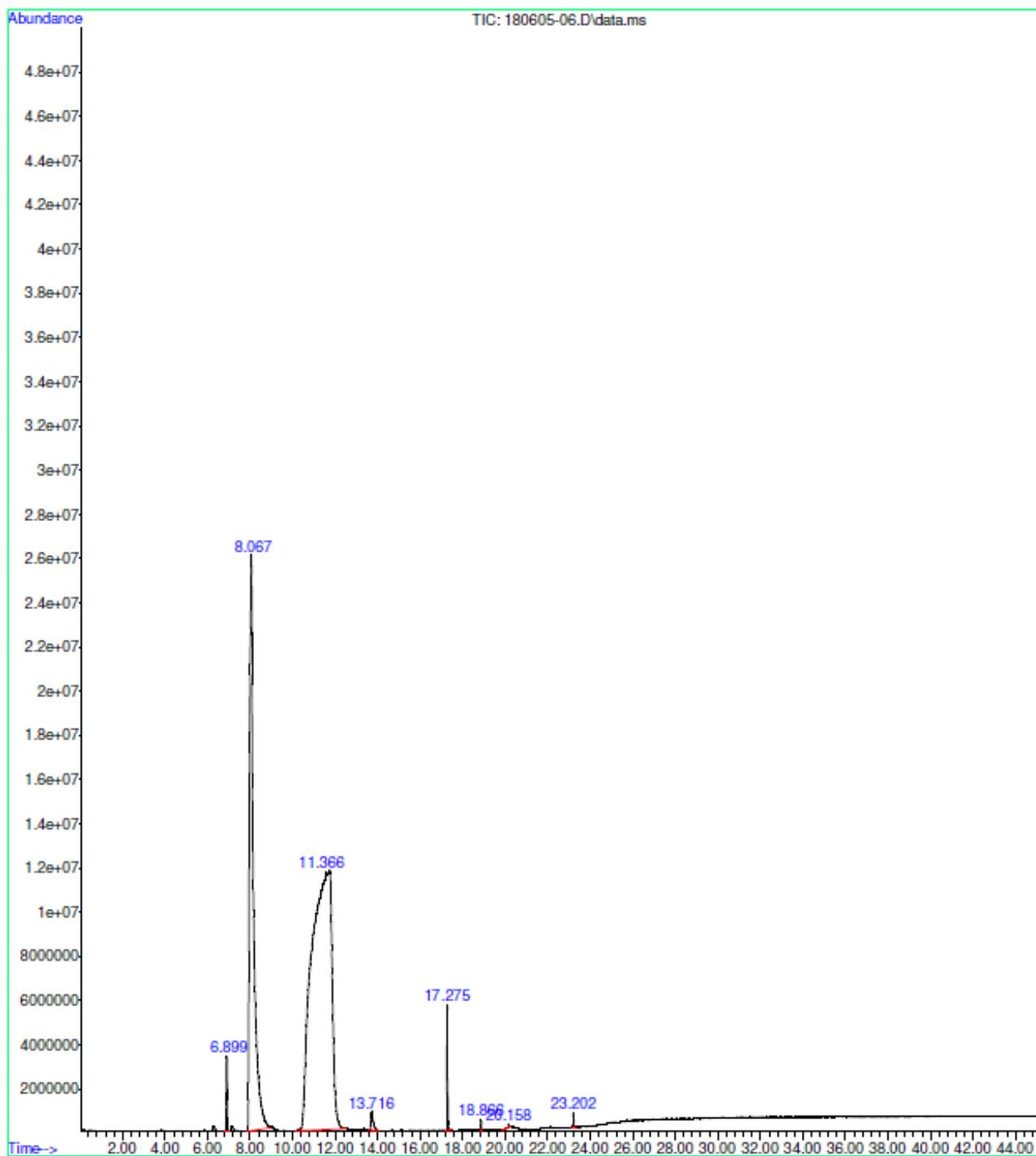
Fuente: AdeM, 2018.

Figura No. 21: Cromatograma para la M2, variedad MD2.



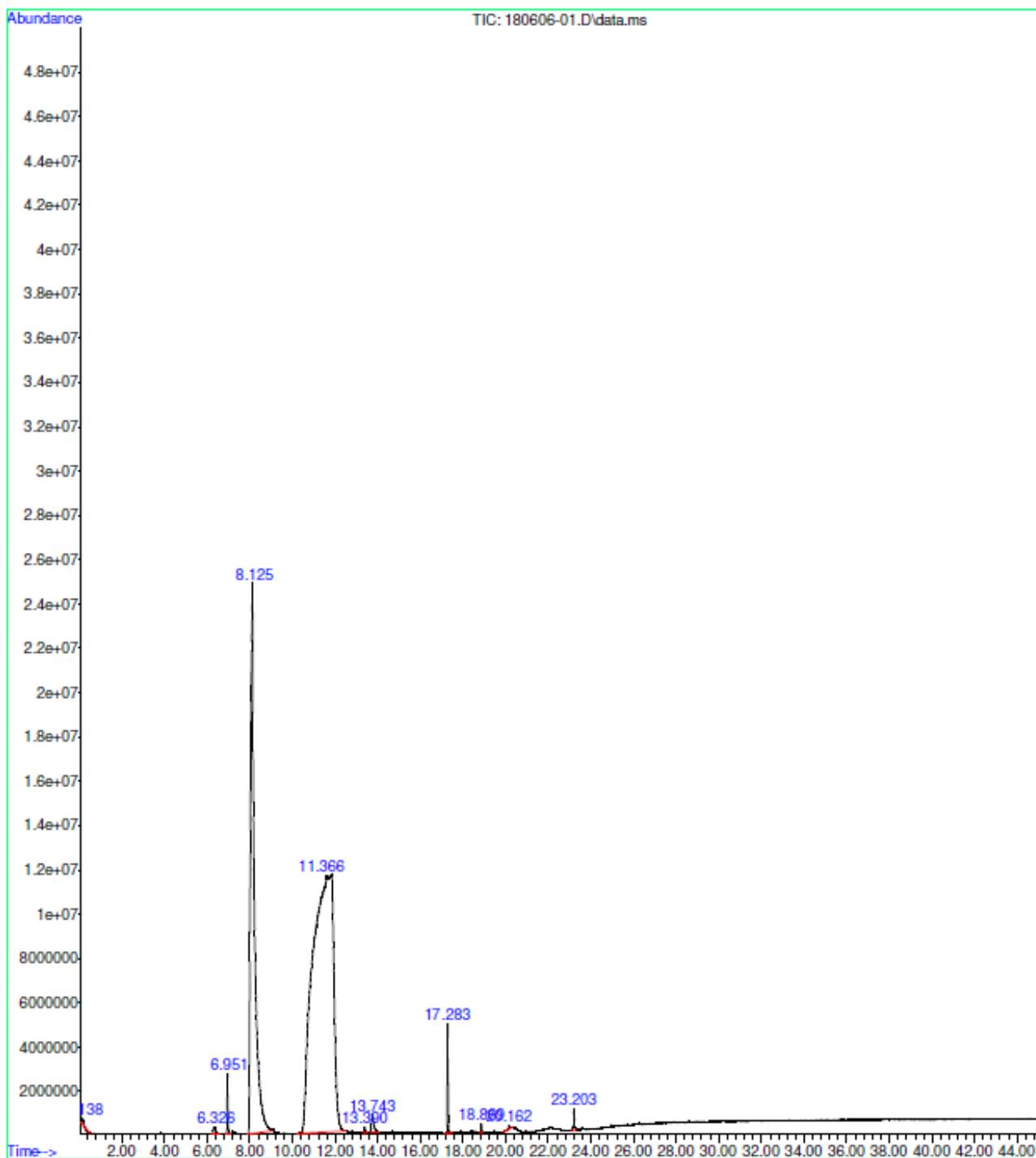
Fuente: AdeM, 2018.

Figura No. 22: Cromatograma para la M3, variedad MD2.



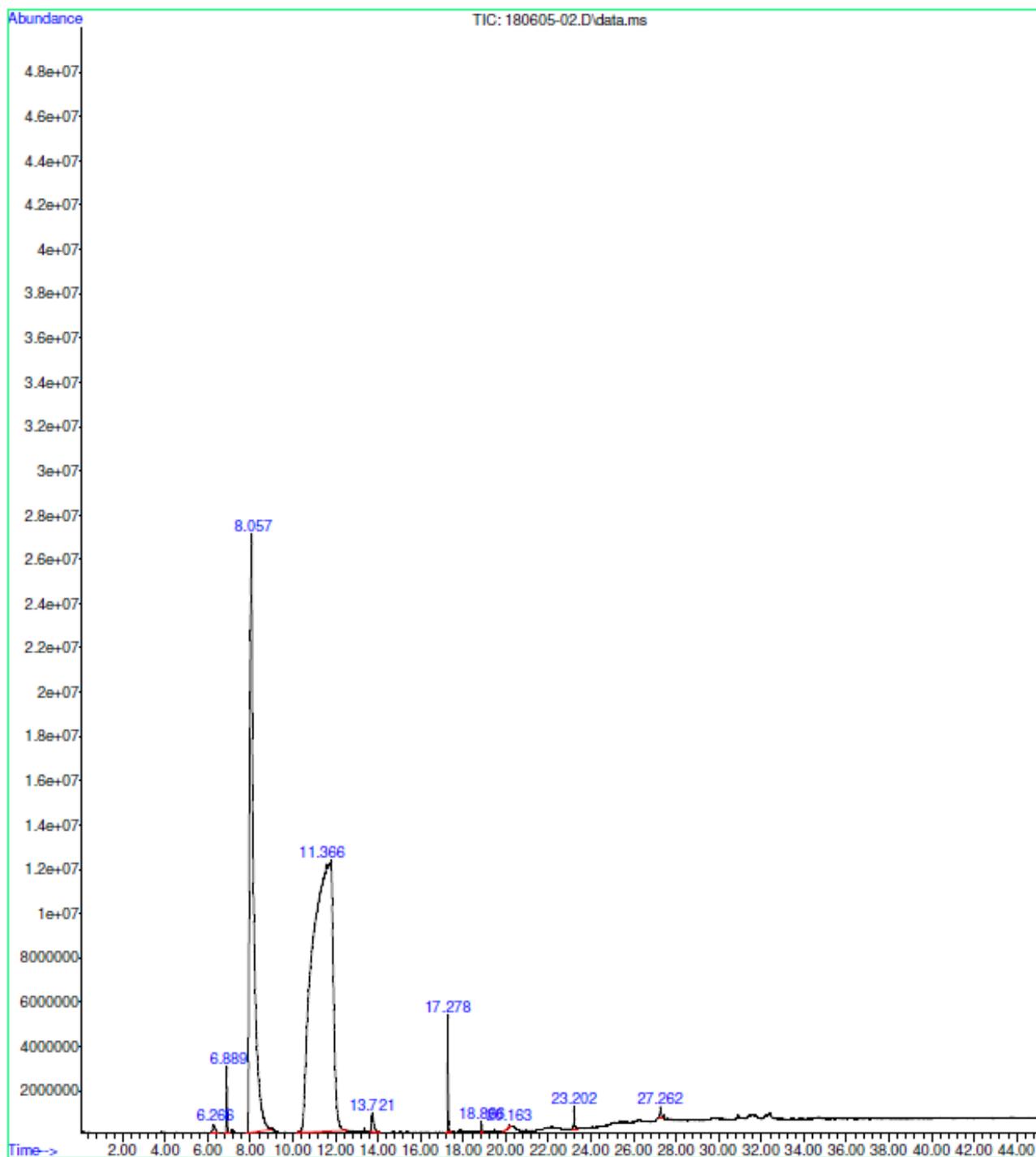
Fuente: AdeM, 2018.

Figura No. 23: Cromatograma para la M4, variedad HAWAIANA.



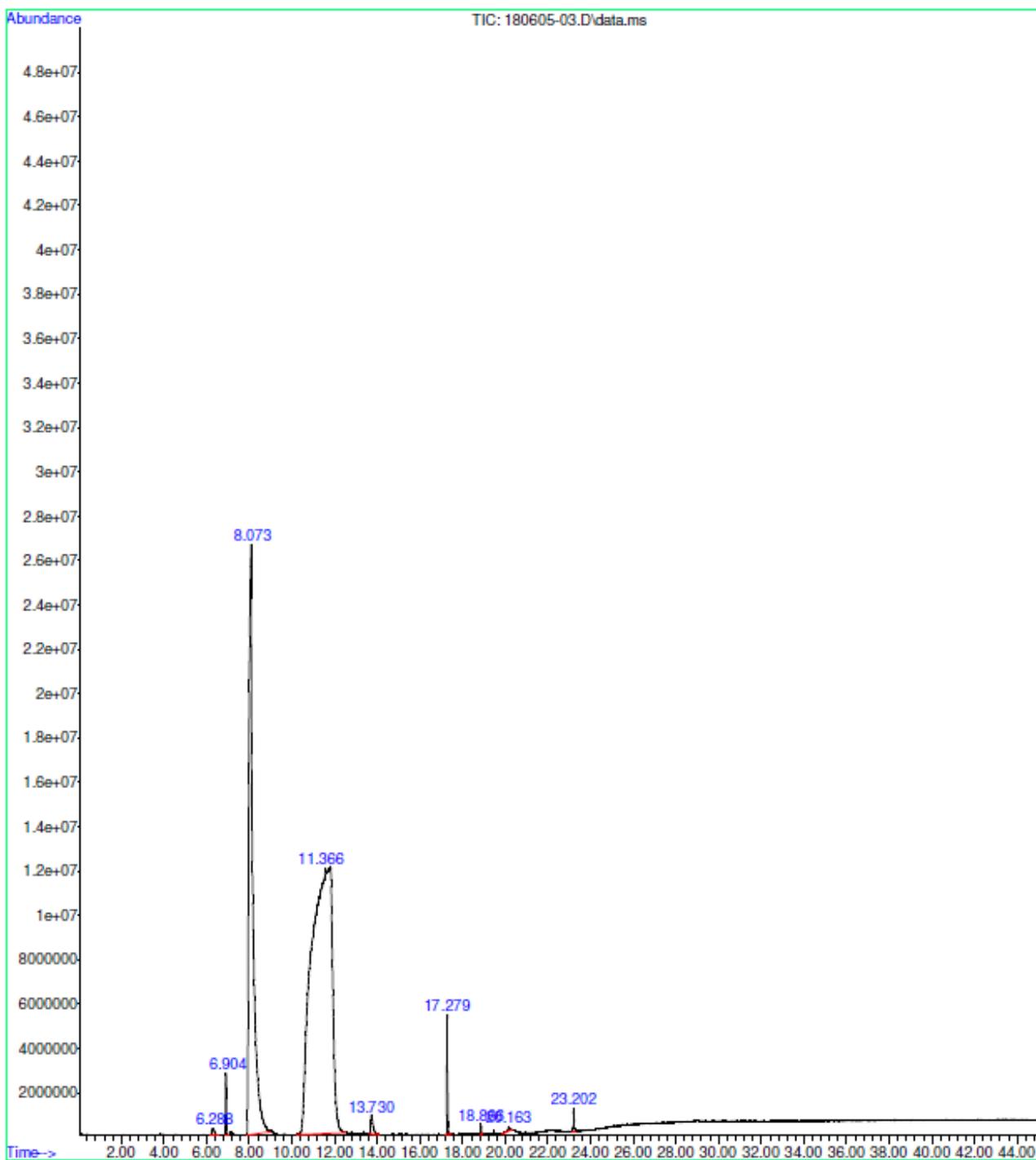
Fuente: AdeM, 2018.

Figura No. 24: Cromatograma para la M5, variedad HAWAIIANA.



Fuente: AdeM, 2018.

Figura No. 25: Cromatograma para la M6, variedad HAWAIANA.



Fuente: AdeM, 2018.

10.4. FIGURAS DEL PROCESO.

Figura No. 26: Variedad MD2 utilizada.



Fuente: elaboración propia, (2018).

Figura No. 27: Variedad HAWAIANA utilizada.



Fuente: elaboración propia, (2018).

Figura No. 28: Retiro y corte de la cáscara de las piñas.



Fuente: elaboración propia, (2018).

Figura No. 29: Licuado de las cáscaras para obtener la mezcla.



Fuente: elaboración propia, (2018).

Figura No. 30: Mezcla sin pasteurizar y pasteurizada.



Fuente: elaboración propia, (2018).

Figura No. 31: Medición inicial de Grados Brix y pH para las muestras.



Fuente: elaboración propia, (2018).

Figura No. 32: Levadura Activa.



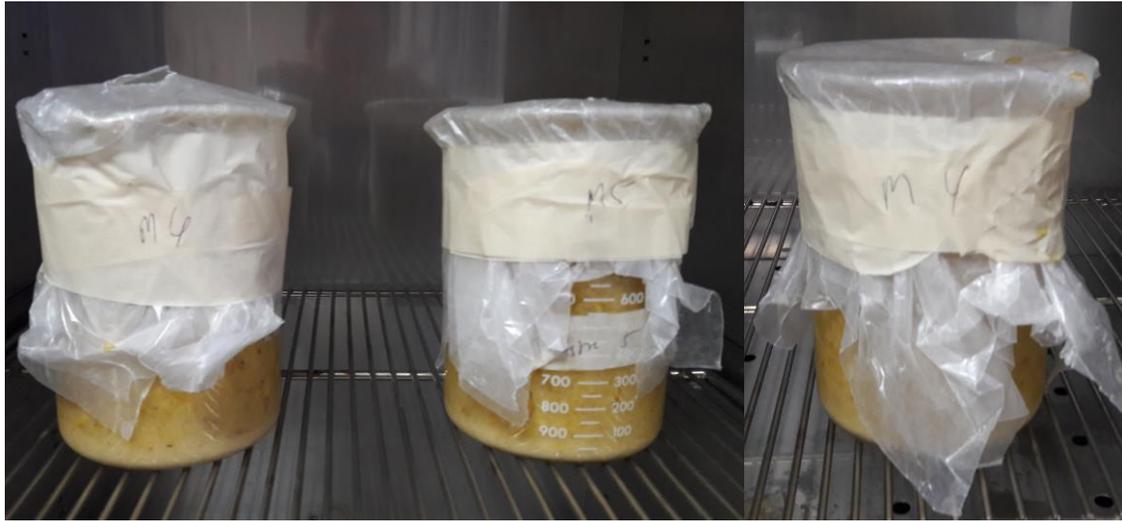
Fuente: elaboración propia, (2018).

Figura No. 33: Distribución de la mezcla para fermentar en muestras variedad MD2.



Fuente: elaboración propia, (2018).

Figura No. 34: Distribución de la mezcla para fermentar en muestras variedad HAWAIANA.



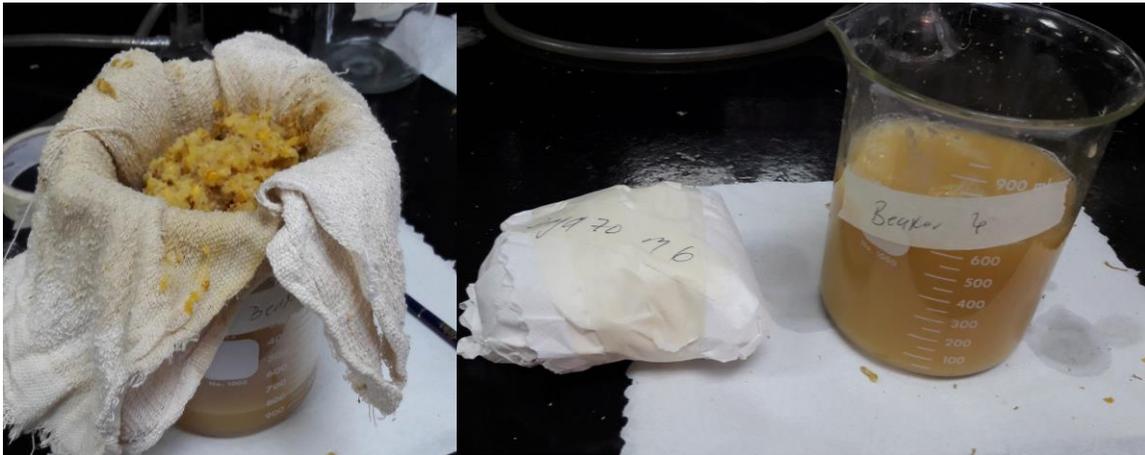
Fuente: elaboración propia, (2018).

Figura No. 35: Medición de Grados Brix durante la fermentación.



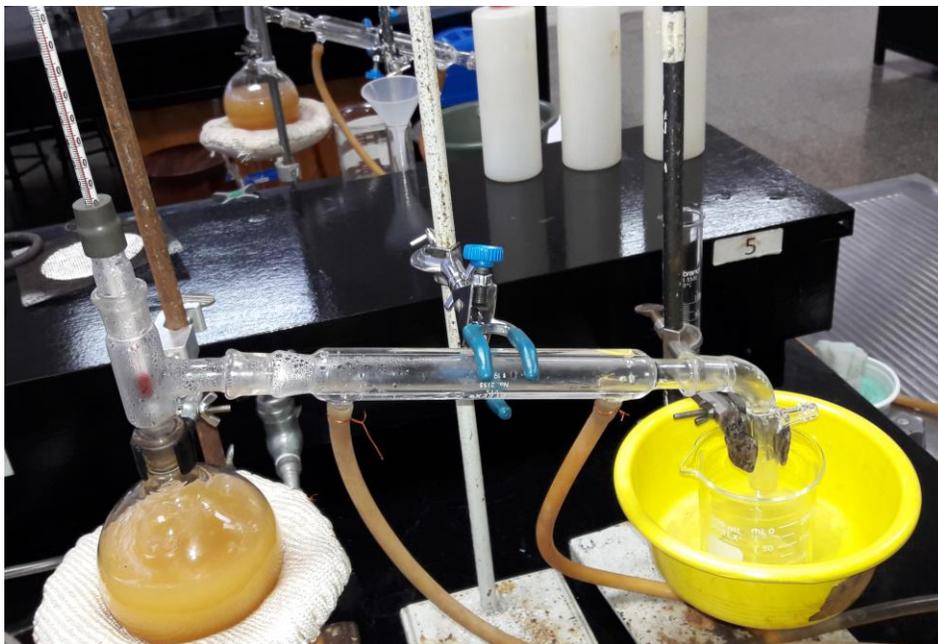
Fuente: elaboración propia, (2018).

Figura No. 36: Separación entre el Bagazo y Fermentado.



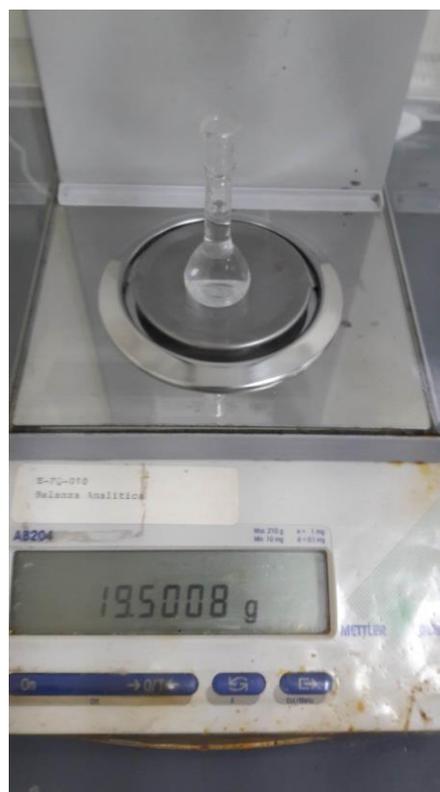
Fuente: elaboración propia, (2018).

Figura No. 37: Destilación simple del fermentado.



Fuente: elaboración propia, (2018).

Figura No. 38: Determinación de la densidad.



Fuente: elaboración propia, (2018).