



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA
ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA A PARTIR DE
PULPA GUANÁBANA (*Annona muricata*) Y ENRIQUECIDO CON
JUGO DE CAÑA (*Saccharum officinarum*)**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: EDISON ROLANDO ZAPATA GÓMEZ

DIRECTOR: ING. MARCO RAÚL CHUIZA ROJAS

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Edison Rolando Zapata Gómez

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

Yo, Edison Rolando Zapata Gómez, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de mayo de 2023



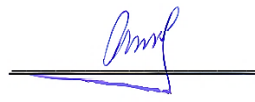


Edison Rolando Zapata Gómez

1804387346

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA A PARTIR DE PULPA GUANABANA (*Annona muricata*) Y ENRIQUECIDO CON JUGO DE CAÑA (*Saccharum officinarum*)**, realizado por el señor: **EDISON ROLANDO ZAPATA GÓMEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Cristina Alejandra Muñoz Shuguli PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		23-05-24
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		23-05-24
Dr. Edgar Iván Ramos Sevilla ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		23-05-24

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Norma y Rolando, por su amor incondicional, su apoyo constante y por tener siempre fe en mi capacidad. Gracias por ser mi ejemplo de vida, mi pilar, mi guía y mi inspiración.

A mis hermanos y sobrina Elizabeth, Wagner y Alice, quienes me han brindado su amistad y han apoyado en tiempos difíciles. Sin su apoyo este momento no sería posible.

A mis amigos, por sus palabras de aliento y compañía. Gracias por compartir conmigo los buenos y malos momentos de mi vida.

A Cristina, mi prometida, por su amor, comprensión y apoyo incondicional. Gracias por ser mi motivación en los momentos más difíciles y por creer siempre en mis sueños.

A todos aquellos que de una forma u otra han formado parte de mi vida y han contribuido a mi formación y crecimiento como persona. Gracias por estar presente y ser parte de mi historia.

Finalmente, dedico este trabajo a mí mismo, como un recordatorio de que puedo lograr cualquier meta que me proponga y que mi determinación es el motor que me lleva a mi propio éxito. Este es mi primer logro y el comienzo de muchos por venir.

Edison

AGRADECIMIENTO

Agradezco especialmente a mi Tutor, el Ing. Marco Chuiza, y al Asesor, Dr. Edgar Ramos, por su invaluable dedicación, orientación y paciencia en cada una de las fases de la investigación. Ellos fueron quienes me inspiraron a mejorar cada día y alcanzar mis metas.

También me gustaría agradecer a mi familia, prometida, amigos y seres queridos por su constante apoyo y aliento a lo largo de este camino. El logro que celebramos hoy también es suyo, porque sin su apoyo emocional no lo hubiera obtenido.

Cada uno de ustedes ha sido pieza clave en este logro y serán parte de mi historia y de mi carrera por siempre. Gracias por su interés en mi trabajo, por escuchar atentamente cada detalle y por ser constructivamente crítico en su evaluación.

Estoy muy agradecido por las oportunidades que se me han presentado a lo largo del proceso de investigación y redacción de este proyecto de tesis. Ha sido un camino desafiante, pero también muy enriquecedor para mí.

Muchas gracias por ser parte de mí, hoy me llevo su gratitud y lo guardo en mi corazón.

Edison

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.4 Localización del Proyecto.....	4
1.4.1 <i>Desarrollo del proyecto</i>	4
1.4.2 <i>Implementación del proyecto</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes de investigación.....	6
2.2 Referencias teóricas.....	7
2.2.1 <i>Guanábana</i>	7
2.2.1.1 <i>Generalidades</i>	7
2.2.1.2 <i>Clasificación botánica</i>	7
2.2.1.3 <i>Composición de la fruta</i>	8
2.2.1.4 <i>Propiedades</i>	8
2.2.1.5 <i>Producción de la guanábana</i>	8
2.2.1.6 <i>Utilidades de la guanábana</i>	8

2.2.2 Caña azucarera	9
2.2.2.1 <i>Generalidades</i>	9
2.2.2.2 <i>Clasificación Botánica</i>	9
2.2.2.3 <i>Composición de la fruta</i>	10
2.2.2.4 <i>Propiedades</i>	10
2.2.2.5 <i>Producción de caña de azucarera</i>	10
2.2.2.6 <i>Utilidades de la caña azucarera</i>	10
2.2.3 Fermentación	11
2.2.3.1 <i>Tipos de fermentación</i>	11
2.2.3.2 <i>Fermentación Alcohólica</i>	12
2.2.3.3 <i>Factores que influyen en la fermentación</i>	12
2.2.4 Alcohol	13
2.2.4.1 <i>Clasificación</i>	13
2.2.5 Operaciones unitarias	13
2.2.5.1 <i>Destilación</i>	13
2.2.5.2 <i>Métodos de Destilación</i>	14

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	15
3.1 Tipo de estudio	15
3.2 Métodos	15
3.2.1 <i>Método deductivo</i>	15
3.2.2 <i>Método experimental</i>	15
3.2.3 <i>Método inductivo</i>	15
3.3 Selección de las materias primas	15
3.4 Recolección de datos para el proceso	16
3.5 Parámetros de las materias primas	16
3.6 Parte Experimental	17
3.6.1 <i>Obtención del jugo de guanábana</i>	17
3.6.1.1 <i>Procesos previos de la guanábana</i>	17
3.6.1.2 <i>Extracción y filtrado de jugo de guanábana</i>	18
3.6.1.3 <i>Filtrado de jugo de caña azucarera</i>	19
3.6.1.4 <i>Caracterización de las materias primas</i>	19
3.6.2 <i>Obtención del alcohol</i>	22
3.6.2.1 <i>Fermentación</i>	22

3.6.2.2	<i>Destilación de la bebida alcohólica</i>	23
3.6.2.3	<i>Rectificación de la bebida alcohólica obtenida</i>	24
3.6.2.4	<i>Caracterización del alcohol etílico con respecto a la norma escogida</i>	25
3.6.2.5	<i>Diagrama de proceso para la obtención de alcohol etílico de guanábana y caña</i>	26
3.7	Variables de proceso	27
3.8	Datos experimentales	28
3.8.1	<i>Limpieza de la fruta</i>	28
3.8.2	<i>Peso y volumen de las materias primas</i>	29
3.8.3	<i>Filtrados</i>	29
3.8.4	<i>Datos de la caracterización de las materias primas</i>	30
3.8.4.1	<i>Sólidos Totales</i>	30
3.8.4.2	<i>Cenizas Totales</i>	32
3.8.4.3	<i>Acidez</i>	33
3.8.4.4	<i>pH, índice de refracción, °brix y temperatura</i>	34
3.8.4.5	<i>Densidad</i>	34
3.8.5	<i>Datos de la fermentación</i>	35
3.8.5.1	<i>Densidad del jugo de fruta mezcla previo a la fermentación</i>	35
3.8.5.2	<i>Niveles de °brix con respecto al pH y Gay-Lussac en el fermento</i>	36
3.9	Balance de masa y energía	37
3.9.1	Balance de masa	37
3.9.1.1	<i>Lavado</i>	38
3.9.1.2	<i>Despulpado</i>	39
3.9.1.3	<i>Triturado</i>	39
3.9.1.4	<i>Filtrado</i>	40
3.9.1.5	<i>Fermentación</i>	42
3.9.1.6	<i>Destilación</i>	44
3.9.1.7	<i>Rectificado</i>	45
3.9.1.8	<i>Rendimiento de la pulpa de guanábana y jugo de caña de la bebida alcohólica</i>	46
3.9.2	Balance de energía	46
3.9.2.1	<i>Datos para el balance de energía</i>	46
3.9.2.2	<i>Balance de energía para la destilación de la bebida alcohólica</i>	49
3.9.2.3	<i>Balance de energía para la rectificación de la bebida alcohólica</i>	50
3.10	Diseño de ingeniería	51
3.10.1	Diseño para el contenedor de recepción y lavado de guanana	51
3.10.1.1	<i>Volumen de guanábana requerido para el proceso</i>	51
3.10.1.2	<i>Cantidad de guanábana a utilizar en el lavado</i>	52

3.10.1.3	<i>Volumen de agua necesario para el lavado</i>	52
3.10.1.4	<i>Volumen total para la carga de guanábana</i>	52
3.10.1.5	<i>Volumen del contenedor</i>	52
3.10.1.6	<i>Altura para el contenedor de recepción y lavado</i>	52
3.10.1.7	<i>Área superficial y perímetro del contenedor de recepción y lavado</i>	53
3.10.1.8	<i>Calculo para la cantidad de guanábana al finalizar el lavado en el contenedor</i>	54
3.10.2	<i>Diseño de la despulpadora</i>	54
3.10.2.1	<i>Cálculo para la cantidad de jugo de guanábana</i>	55
3.10.3	<i>Diseño del filtrador</i>	55
3.10.3.1	<i>Cálculo para la cantidad de jugo filtrado</i>	56
3.10.4	<i>Diseño del fermentador</i>	56
3.10.4.1	<i>Diámetro total del fermentador</i>	56
3.10.4.2	<i>Altura del fermentador</i>	56
3.10.4.3	<i>Volumen máximo del fermentador</i>	57
3.10.4.4	<i>Diámetro de las paletas de mezclado</i>	57
3.10.4.5	<i>Altura de las paletas desde el fondo del reactor</i>	57
3.10.4.6	<i>Ancho de las paletas</i>	57
3.10.4.7	<i>Largo de las paletas</i>	58
3.10.4.8	<i>Longitud entre la pared del fermentador y los deflectores</i>	58
3.10.4.9	<i>Diámetro de la chaqueta de calentamiento</i>	58
3.10.4.10	<i>Espesor de la cámara de calentamiento</i>	58
3.10.4.11	<i>Altura de la cámara de calentamiento</i>	59
3.10.4.12	<i>Cálculo del volumen total del fermentador</i>	59
3.10.4.13	<i>Cálculo del volumen de la cámara de calentamiento</i>	59
3.10.4.14	<i>Cálculo para la cantidad de jugo de fruta mezcla fermentado</i>	60
3.10.5	<i>Diseño para la columna de destilación</i>	60
3.10.5.1	<i>Cálculos e información para la construcción de la columna de destilación</i>	60
3.10.5.2	<i>Condiciones de operación de la destilación</i>	63
3.10.5.3	<i>Cálculo para los puntos de intersección</i>	65
3.10.5.4	<i>Cálculo para la recta operativa de enriquecimiento</i>	66
3.10.5.5	<i>Cálculo para la recta de alimentación</i>	67
3.10.5.6	<i>Cálculo para la recta operativa de agotamiento</i>	67
3.10.5.7	<i>Número de platos</i>	68
3.10.5.8	<i>Eficiencia global del proceso</i>	71
3.10.5.9	<i>Número real de platos</i>	72
3.10.5.10	<i>Densidad de vapor</i>	73

3.10.5.11	<i>Cálculo del coeficiente k</i>	73
3.10.5.12	<i>Velocidad de los vapores</i>	74
3.10.5.13	<i>Diámetro de la columna de destilación</i>	74
3.10.5.14	<i>Altura de la columna</i>	74
3.10.5.15	<i>Altura total de la columna</i>	74
3.10.5.16	<i>Cantidad de alcohol etanol al 73 % en la columna de destilación</i>	75
3.10.6	<i>Diseño para la columna de rectificadora</i>	75
3.10.6.1	<i>Cálculos y datos para el diseño de la columna de destilación rectificación</i>	75
3.10.6.2	<i>Condiciones de operación de la destilación</i>	78
3.10.6.3	<i>Cálculo de los puntos de intersección</i>	78
3.10.6.4	<i>Cálculo para la recta operativa de enriquecimiento</i>	79
3.10.6.5	<i>Cálculo para la recta de alimentación</i>	79
3.10.6.6	<i>Cálculo para la recta operativa de agotamiento</i>	80
3.10.6.7	<i>Número de platos</i>	81
3.10.6.8	<i>Eficiencia global del proceso</i>	84
3.10.6.9	<i>Número real de platos</i>	85
3.10.6.10	<i>Densidad de vapor</i>	85
3.10.6.11	<i>Cálculo del coeficiente k</i>	85
3.10.6.12	<i>Velocidad de los vapores</i>	86
3.10.6.13	<i>Diámetro de la columna de destilación</i>	86
3.10.6.14	<i>Altura de la columna</i>	86
3.10.6.15	<i>Altura total de la columna</i>	87
3.10.6.16	<i>Cantidad de alcohol etanol al 95 °GL en la columna de destilación</i>	87
3.11	Análisis del costo beneficio --.....	87
3.11.1	<i>Costos variables</i>	87
3.11.2	<i>Costos fijos</i>	88
3.11.3	<i>Precio variable de producción del producto</i>	88
3.11.4	<i>Precio de venta del producto</i>	88
3.11.5	<i>Puntos de equilibrio</i>	88
3.11.6	<i>Proyección de ventas y capital de inversión</i>	89
3.11.7	<i>Proyección de costos y capital de inversión</i>	89
3.11.8	<i>Flujo de caja</i>	90

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	91
----	-------------------------	----

4.1	Resultados del diseño industrial.....	91
4.1.1	<i>Caracterización de las materias primas</i>	91
4.1.2	<i>Análisis realizados en la fermentación</i>	91
4.1.3	<i>Caracterización del alcohol resultante</i>	92
4.1.4	<i>Rendimiento de los procesos para obtener la bebida alcohólica.....</i>	92
4.1.5	<i>Diseño de ingeniería</i>	93
4.1.6	<i>Análisis costo-beneficio para el diseño industrial</i>	94
4.2	Discusión de resultados.....	94
	CONCLUSIONES.....	94
	RECOMENDACIONES.....	94
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Datos relativos a la ubicación geográfica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH4	
Tabla 2-1: Datos de la ubicación geográfica de Comercializadora Allpa Grefa Wayusa Shayary Cía. Ltda.....	5
Tabla 1-2: Clasificación botánica de la guanábana.....	7
Tabla 2-2: Composición de la guanábana por cada 100 g.	8
Tabla 3-2: Propiedades fisicoquímicas de la guanábana.....	8
Tabla 4-2: Clasificación botánica de la caña.....	9
Tabla 5-2: Composición de la caña de azúcar por cada 100 g.	10
Tabla 6-2: Propiedades fisicoquímicas de la caña de azúcar	10
Tabla 1-3: Parámetros para la pulpa y jugo de guanábana.....	17
Tabla 2-3: Pretratamiento de la guanábana.....	17
Tabla 3-3: Proceso de extracción del jugo de guanábana.	18
Tabla 4-3: Proceso de filtrado para el jugo de caña de azúcar.....	19
Tabla 5-3: Determinación de sólidos totales para jugo de guanábana y caña.....	19
Tabla 6-3: Determinación de cenizas totales para jugo de guanábana y caña	20
Tabla 7-3: Determinación de acidez para jugo de guanábana y caña	20
Tabla 8-3: Determinación de pH para jugo de guanábana y caña.....	21
Tabla 9-3: Determinación de la densidad para jugo de guanábana y caña	21
Tabla 10-3: Determinación de °Bx, índice de refracción y temperatura para jugo de guanábana y caña azucarera	22
Tabla 11-3: Proceso de fermentación para el mosto.	22
Tabla 12-3: Proceso de destilación del jugo de guanábana y caña fermentado.	23
Tabla 13-3: Proceso de destilación del jugo de guanábana y caña fermentado.	24
Tabla 14-3: Requisitos físicos y químicos para el alcohol etílico de origen agrícola.....	25
Tabla 15-3: Variables del proceso para la obtención de la bebida alcohólica.	27
Tabla 16-3: Datos de la guanábana antes y después del lavado.....	28
Tabla 17-3: Datos de impurezas removidas en el lavado.....	29
Tabla 18-3: Pesos de la guanábana.	29
Tabla 19-3: Volumen de jugo de caña.	29
Tabla 20-3: Datos del filtrado del jugo de guanábana.	30
Tabla 21-3: Datos del filtrado del jugo de caña azucarera.....	30
Tabla 22-3: Sólidos Totales para la pulpa de guanábana.....	30
Tabla 23-3: Contenido de sólidos totales en la pulpa de guanábana.....	31

Tabla 24-3: Solidos Totales para el jugo de caña	31
Tabla 25-3: Contenido de solidos totales en el jugo de caña	31
Tabla 26-3: Cenizas Totales en guanábana.....	32
Tabla 27-3: Contenido de Cenizas en guanábana	32
Tabla 28-3: Datos para el cálculo de Cenizas Totales en caña	32
Tabla 29-3: Cenizas Totales en caña.....	33
Tabla 30-3: Datos para el cálculo de la acidez en guanábana.....	33
Tabla 31-3: Acidez en guanábana.....	33
Tabla 32-3: Datos para el cálculo de la acidez en caña.....	33
Tabla 33-3: Acidez en caña.....	34
Tabla 34-3: Datos de las diferentes características que poseen las materias primas.....	34
Tabla 36-3: Datos para el cálculo de la densidad en guanábana.....	34
Tabla 37-3: Datos para el cálculo de la densidad en caña.....	35
Tabla 38-3: Densidad en caña.....	35
Tabla 39-3: Datos para el cálculo de la densidad del jugo de frutas	35
Tabla 40-3: Densidad en el jugo de frutas	36
Tabla 41-3: Datos obtenidos de pruebas realizados al fermento.....	36
Tabla 42-3: Entalpías de los diferentes procesos en función de la fracción másica de etanol-agua	47
Tabla 43-3: Entalpías de calor residual en el condensado en función de la fracción másica de etanol-agua	47
Tabla 44-3: Entalpías de calor residual en el condensado en función de la fracción másica de etanol-agua	48
Tabla 45-3: Características de una despulpadora de guanábana	55
Tabla 46-3: Características de una despulpadora de guanábana	55
Tabla 47-3: Datos de diseño para la columna de destilación	61
Tabla 48-3: Datos para el proceso de destilado	64
Tabla 49-3: Datos de la curva de equilibrio	64
Tabla 50-3: Datos para la recta operativa de enriquecimiento.....	66
Tabla 51-3: Datos para la recta operativa de alimentación	67
Tabla 52-3: Datos para la recta operativa de agotamiento	68
Tabla 53-3: Datos de intersección con la curva de equilibrio	70
Tabla 54-3: Datos para la eficiencia global del proceso	71
Tabla 55-3: Datos de diseño para la columna de rectificación	76
Tabla 56-3: Datos para el proceso de rectificación.....	78
Tabla 57-3: Datos para la recta operativa de enriquecimiento.....	79

Tabla 58-3: Datos para la recta operativa alimentación.....	80
Tabla 59-3: Datos para la recta operativa de agotamiento.....	80
Tabla 60-3: Datos de intersección con la curva de equilibrio.....	83
Tabla 61-3: Datos para la eficiencia global del proceso.....	84
Tabla 62-3: Costos de la materia prima e insumos en 2000 litros de producción mensual.....	87
Tabla 63-3: Costos de producción del alcohol etílico.....	87
Tabla 64-3: Costos variables en pagos de operarios.....	88
Tabla 65-3: Costos fijos de producción mensual.....	88
Tabla 66-3: Puntos de equilibrio.....	88
Tabla 67-3: Proyección de ventas y capital de inversión.....	89
Tabla 68-3: Proyección de costos y capital de inversión.....	89
Tabla 69-3: Montos de flujo de caja.....	90
Tabla 70-3: Resultados VAN, TIR y PR.....	90
Tabla 1-4: Resultados obtenidos en la caracterización de la materia prima.....	91
Tabla 2-4: Resultados comparativos del alcohol etílico obtenido con la normativa establecida.....	92
Tabla 3-4: Resultados obtenidos en los procesos para obtener la bebida alcohólica.....	92
Tabla 4-4: Diseño de equipos requeridos para obtener de la bebida alcohólica.....	93
Tabla 5-4: Resultados económicos del diseño industrial.....	94

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Localización por georreferencia de la.....	4
Ilustración 2-1: Localización geográfica de Comercializadora.....	5
Ilustración 1-3: Diagrama para los procesos previos	18
Ilustración 2-3: Diagrama para el proceso de extracción de jugo	18
Ilustración 3-3: Diagrama para el proceso de filtrado de jugo de caña	19
Ilustración 4-3: Diagrama para el proceso de fermentación de jugo de frutas	23
Ilustración 5-3: Diagrama de proceso de destilación de.....	24
Ilustración 6-3: Diagrama para el proceso de destilación rectificadora	25
Ilustración 7-3: Diagrama de proceso para obtención de alcohol etílico de guanábana y caña	26
Ilustración 8-3: Niveles de °brix y pH de pruebas realizadas al fermento	37
Ilustración 9-3: Niveles de °brix y Gay-Lussac de pruebas realizadas al fermento	37
Ilustración 10-3: Balance de Masa Lavado	38
Ilustración 11-3: Balance de Masa Despulpado	39
Ilustración 12-3: Balance de Masa Triturado	39
Ilustración 13-3: Balance de Masa Filtrado (guanábana).....	41
Ilustración 14-3: Balance de Masa Filtrado (Caña azucarera)	42
Ilustración 15-3: Balance de Masa Fermentación	43
Ilustración 16-3: Balance de Masa Destilación	44
Ilustración 17-3: Balance de Masa Rectificado.....	45
Ilustración 18-3: Entalpías para líquido saturado de Etanol-Agua.....	47
Ilustración 19-3: Entalpías para vapor saturado de Etanol-Agua	48
Ilustración 20-3: Balance de Energía Destilación	49
Ilustración 21-3: Balance de Energía Rectificación	50
Ilustración 22-3: Altura para contenedor de recepción y lavado.....	53
Ilustración 23-3: Curva de equilibrio de la mezcla etanol-agua.....	65
Ilustración 24-3: Curva de equilibrio con las diferentes rectas calculadas.....	68
Ilustración 25-3: Método gráfico de McCabe-Thiele para el número de platos.....	71
Ilustración 26-3: Eficiencia global a partir de la volatilidad relativa y la viscosidad en.....	72
Ilustración 27-3: Determinación del coeficiente k por McCabe para columna de	73
Ilustración 28-3: Curva de equilibrio con las diferentes rectas calculadas.....	81
Ilustración 29-3: Método gráfico de McCabe-Thiele para el número de platos.....	83
Ilustración 30-3: Eficiencia global a partir de la volatilidad relativa y la viscosidad.....	85
Ilustración 31-3: Determinación del coeficiente k por McCabe para columna de	86
Ilustración 1-4: Comportamiento de las variables °Brix, Gay-Lussac y pH	91

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: RESULTADOS DEL LABORATORIO MULTIANALÍTICA S.A. PARA LA
CARACTERIZACIÓN DEL ETANOL

ANEXO B: NTE INEN 375:2018-03 BEBIDAS ALCOHÓLICAS. ALCOHOL ETÍLICO DE
ORIGEN AGRÍCOLA. REQUISITOS

ANEXO C: CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

ANEXO D: ELABORACIÓN DE LA BEBIDA ALCOHÓLICA

ANEXO E: CARACTERIZACIÓN REALIZADA AL FERMENTO Y BEBIDA
ALCOHÓLICA OBTENIDA

RESUMEN

La empresa Comercializadora Allpa Grefa Guayusa Shayary Cía. Ltda. requiere establecer una línea de producción que le permita expandir la industrialización de la guanábana (*Annona muricata*) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) con el propósito de producir una bebida alcohólica; ya que principalmente estos frutos se utilizan para la elaboración de pulpas y néctares. El proyecto se enfocó en diseñar un proceso industrial que permita producir una bebida alcohólica utilizando pulpa de guanábana (*Saccharum officinarum*) y jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), validando su viabilidad técnica y económica. Se emplearon métodos deductivos, experimentales e inductivos para seleccionar las materias primas, recopilar datos y realizar un análisis bibliográfico de normativas y técnicas. Además, se aplicaron conocimientos de procesos y operaciones unitarias. La caracterización de las materias primas se realizó utilizando guías prácticas de los laboratorios de la ESPOCH. Se obtuvieron los siguientes valores para la guanábana: sólidos totales 17,68, cenizas totales 0,10, acidez 0,69, pH 3,19 y °Brix 13,08. En cuanto a la caña de azúcar, se obtuvieron los siguientes valores: sólidos totales 5,34 g/ml, cenizas totales 0,09%, acidez 0,17, pH 4,37 y °Brix 17,66. Los procesos involucrados incluyeron lavado, despulpado, licuado, filtrado, fermentado, destilado y rectificado. Los resultados del diseño industrial mostraron un rendimiento del 5,60% de alcohol etílico destilado con 30,44 litros de jugo mezcla, obteniendo 2,64 litros a 95 °GL. La validación del alcohol etílico producido cumplió con los requisitos establecidos por la norma NTE INEN 375:2018-03. En conclusión, el proyecto ha demostrado ser técnica y económicamente viable, con un costo de producción de \$5176,96 y una tasa interna de retorno del 22%. Esto representa una oportunidad para reducir la exportación de materias primas y aumentar la producción de productos de mayor valor agregado en el país.

Palabras Clave: <GUANÁBANA (*Annona muricata*)>, <CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)>, <BEBIDA ALCOHÓLICA>, <FERMENTACIÓN>, <DESTILACIÓN>, <RECTIFICACIÓN>, <PROCESO INDUSTRIAL>, <BENEFICIOS ECONÓMICOS>.

1193-DBRA-UPT-2023

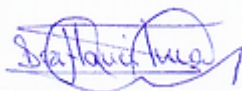
A handwritten signature in blue ink is written over a circular official stamp. The stamp is light blue and contains the text 'UNIVERSIDAD DE SUCRE' and 'SECRETARÍA DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS' around the perimeter. The signature is cursive and appears to be 'Rafael Pérez'.

ABSTRACT

The company Comercializadora Allpa Grefa Guayusa Shayary Cía. Ltda. needs to establish a production line to expand the industrialization of soursop (*Annona muricata*) and sugarcane (*Saccharum officinarum*) in order to produce an alcoholic beverage, since these fruits are mainly used for the production of pulp and nectars. The project focused on designing an industrial process to produce an alcoholic beverage using soursop (*Saccharum officinarum*) pulp and sugarcane (*Saccharum officinarum*) juice, validating its technical and economic feasibility. Deductive, experimental and inductive methods were used to select raw materials, collect data and perform a bibliographic analysis of regulations and techniques. In addition, knowledge of processes and unit operations was applied. The characterization of the raw materials was carried out using practical guides from the ESPOCH laboratories. The following values were obtained for the soursop: total solids 17.68, total ash 0.10, acidity 0.69, pH 3.19 and °Brix 13.08. For sugarcane, the following values were obtained: total solids 5.34 g/ml, total ash 0.09%, acidity 0.17, pH 4.37 and °Brix 17.66. The processes involved included washing, pulping, liquefying, filtering, fermenting, distilling and rectification. The results of the industrial design showed a yield of 5.60% of ethyl alcohol distilled with 30.44 liters of mixed juice, obtaining 2.64 liters at 95 °GL. The validation of the ethyl alcohol produced met the requirements established by NTE INEN 375:2018-03. In conclusion, the project has proven to be technically and economically feasible, with a production cost of \$5176.96 and an internal rate of return of 22%. This represents an opportunity to reduce the export of raw materials and increase the production of higher value-added products in the country.

Key words: <GUANABANA (*Annona muricata*)>, <SUGAR CANE (*Saccharum officinarum*)>, <ALCOHOLIC BEVERAGE>, <FERMENTATION>, <DESTILLATION>, <RECTIFICATION>, <INDUSTRIAL PROCESS>, <ECONOMIC BENEFITS>.

1193-DBRA-UPT-2023



Dra. Nanci M. Inca Ch.

0602926719

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha habido un creciente interés en la elaboración de bebidas alcohólicas que incorporan la combinación de diversas frutas, debido a su atractivo sabor y exótico aroma, así como sus numerosas propiedades que estas frutas pueden ofrecer. Entre las frutas tropicales que han destacado en este ámbito se encuentran la guanábana (*Annona muricata*) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), reconocidas en este campo por su valor nutricional y su amplia aplicación en la industria alimentaria, así como la producción de bebidas.

En este sentido, el presente trabajo se enfoca en diseñar un proceso industrial innovador para la obtención de una bebida alcohólica al 95 °GL a partir de la guanábana (*Annona muricata*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Esto permite desarrollar una alternativa innovadora en la industria de las bebidas alcohólicas, ofreciendo una opción exótica para el disfrute del consumidor.

Se expondrán los antecedentes que permitieron la realización de este estudio, se justificarán la importancia de utilizar estas frutas en la elaboración de bebidas alcohólicas y se establece el problema que se busca solucionar con este trabajo. Así mismo, se describirá de manera breve la metodología empleada para llevar a cabo la obtención del alcohol al 95 °GL con la combinación de guanábana (*Annona muricata*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), incluyendo los ingredientes, procesos y equipos necesarios para el diseño de la bebida alcohólica.

A través de esta investigación se espera mejorar la variedad de opciones en la industria de las bebidas alcohólicas, ofreciendo una bebida enriquecida con dos frutas tropicales que beneficiara a este mercado. También se busca promover una opción refrescante para el consumidor, lo que podría generar un impacto positivo en la salud de quienes lo consuman con moderación.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Para impulsar la producción en el país, el gobierno nacional ha trazado planes con la finalidad de buscar nuevas tecnologías que permitan producir productos de alta calidad a partir de materias primas mediante el uso de métodos de producción eficientes y respetuosos con el medio ambiente. El objetivo es desarrollar una estrategia económica industrial mediante la realización de investigaciones productivas a escalas más menores, que permitan obtener datos del comportamiento y lineamientos del proceso para industrializarlo, brindando un aporte fundamental al desarrollo socioeconómico de los productores de guanábana y caña, alcohol y demás beneficiarios que generan ganancias por el valor agregado a sus productos.

La superficie de cultivo de guanábana y caña de azúcar según Bonilla & Alvarez (2011, pp. 1689–1699.) es de 250 ha y 85.000 ha respectivamente. La producción de guanábana en 2020 alcanzó las 1.166 toneladas y la producción de caña a 7.150.000 toneladas, según la Encuesta de Producción Agropecuaria Superficial y Continua (ESPAC). Estos cultivos frutales son muy prominentes, ya que el precio de venta es muy atractivo, y se dan en plantaciones de la costa y la amazonía, en su mayor parte en las provincias de El Oro, Guayas, Santa Elena, Morona Santiago, Pastaza y Orellana. El proceso de convertir los productos agrícolas en materias primas para la industrialización aumenta su valor y crea mercados. Las principales opciones para industrializar la guanábana y la caña son la producción de pulpa, néctar y alcohol. Estas opciones son fundamentales, reduciendo así la exportación de materias primas e importando productos de mayor precio.

Las condiciones climáticas de Ecuador se pueden aprovechar para producir productos rentables a partir de la guanábana y la caña, ambos abundantes en las regiones tropicales. Debido a las numerosas cualidades que ofrecen estos frutos pueden ser utilizados para elaborar bebidas alcohólicas.

1.2 Justificación

Aprovechar los beneficios de la guanábana que es una fruta que tiene el dulzor suficiente para generar una cantidad abundante de alcohol, y tiene la acidez necesaria (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022, p. 1), al igual que la caña aporta jugoso dulzor en la mezcla para el excelente desarrollo de la fermentación, además, tiene propiedades aromáticas únicas, contribuyendo a la calidad del producto (Procaña, 2021, p. 1), razón por la cual estas frutas se pueden utilizar para producir alcohol.

El presente proyecto tiene como propósito diseñar el proceso de producción de una bebida alcohólica para Comercializadora Allpa Grefa Wayusa Shayary Cía. Ltda. El cual se encuentra ubicado en la ciudad de Tena. La empresa continuamente desarrolla e innova productos consumibles nuevos en el mercado, por lo que planea incursionar en bebidas alcohólicas. Debido a su excelente clima y recursos naturales, la región amazónica cuenta con una gran cantidad de materias primas que pueden ser utilizadas para producir bebidas alcohólicas, además de contribuir a la economía local y al bienestar social.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

- Diseñar un proceso industrial para la elaboración de una bebida alcohólica a partir de pulpa de guanábana (*Annona muricata*) y enriquecido con jugo de caña (*Saccharum officinarum*).

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Realizar la caracterización fisicoquímica de la materia prima.
- Realizar pruebas de laboratorio para la bebida alcohólica producida por la fermentación de la guanábana y la caña.
- Determinar las variables de diseño del proceso para la obtención de la bebida alcohólica.
- Realizar los cálculos y diseño de ingeniería en función de las variables de diseño.
- Realizar la validación técnica y económica del proyecto mediante la normativa NTE INEN 375:2018-03. Bebidas Alcohólicas. Alcohol Etílico De Origen Agrícola. Requisitos.

1.4 Localización del proyecto

1.4.1 Desarrollo del proyecto

En los laboratorios de la biotecnología, procesos industriales, química orgánica se realizó el diseño del proceso industrial con el fin de producir una bebida alcohólica. Estos laboratorios están ubicados dentro de la Facultad de Ciencias en la ESPOCH perteneciente a la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo.

Tabla 1-1: Datos relativos a la ubicación geográfica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH

Latitud	-1.655662564
Longitud	78.67917778
Altitud	2814 m.s.n.m.
Ubicación	Panamericana Sur Km ½
Clima	11.8 °C

Fuente: Google Earth, 2023.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.



Ilustración 1-1: Localización por georreferencia de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH

Fuente: Google Earth (2023)

1.4.2 Implementación del proyecto

En la Comercializadora Allpa Grefa Wayusa Shayary Cía. Ltda. de la ciudad de Tena se implementará actual proyecto y principal beneficiaria.

Tabla 2-1: Datos de la ubicación geográfica de Comercializadora Allpa Grefa Wayusa Shayary Cía. Ltda.

Latitud	-0.974340254
Longitud	77.80834687
Altitud	598 m.s.n.m.
Ubicación	Tena, Vía Panamericana, a 600 m. diagonal a la Agencia Nacional de Transito Napo
Clima	Temperatura promedio de 21 °C

Fuente: Google Earth, 2023.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

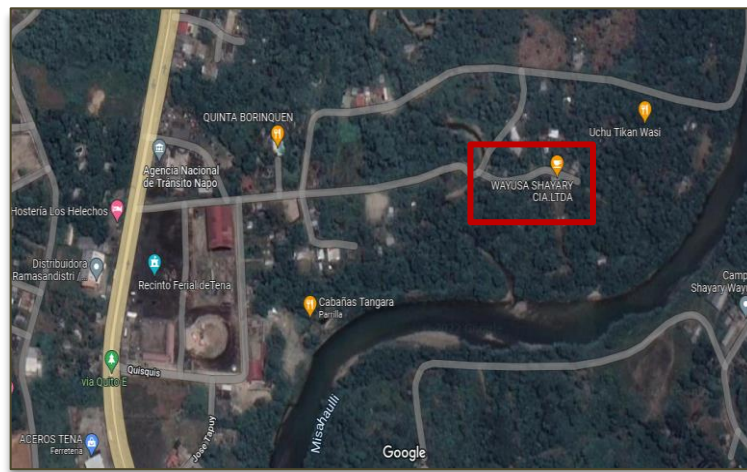


Ilustración 2-1: Localización geográfica de Comercializadora Allpa Grefa Wayusa Shayary

Fuente: Google Earth, 2023.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

Las ventas del negocio de bebidas alcohólicas en Ecuador ascienden a millones de dólares. Este sector empresarial continúa innovando con nuevos productos, realizando diversos estudios sobre las materias primas para aumentar la rentabilidad y reducir el costo de fabricación.

Durante la experimentación del proceso con levadura (*Levapan, Saf-instant*) se elabora de una bebida alcohólica a partir de grosella blanca (*Phyllanthus ácido*) realizado por Gonzáles (2012, pp. 77-79) encontró que los °Brix en fermentación influyeron significativamente con respecto a otras variables pH, la acidez durante el periodo de fermentación y trasiego. El alcohol presentó propiedades organolépticas favorables.

La utilización de levaduras ayuda a incrementar la fermentación debido al poco dulzor del extracto utilizado para su elaboración, tal como se establece en el trabajo de Pérez (2019, p. 79) a base de durazno abridor (*Prunus persica*) en la fermentada alcohólica. Agregar las levaduras en el proceso de fermentación ayuda a lograr el grado alcohólico deseado para la bebida alcohólica. En la obtención de una bebida alcohólica se deben tener en cuenta las siguientes variables como la maduración del fruto, cantidad de azúcar y tiempo de fermentación tal como establecen. Ramírez & Rendón (2022, pp.15-23.) a base de la badea (*Passiflora quadrangularis*) para la elaboración de una bebida alcohólica; los autores establecen que para elaborar un licor es fundamental considerar que el fruto no se encuentre en un estado de maduración muy avanzado que tenga un aspecto pintón, lo que favorece las características organolépticas del producto. Además, se destaca que la fermentación puede crear diversos licores, gracias a las levaduras que consumen azúcares de la fruta.

El estudio realizado por Chango, (2006, pp. 5-17.) en la bebida alcohólica del fruto chontaduro (*Bactris gasipaes H.B.K*). Investiga el consumo de este fruto, que crece en zonas costeras y amazónicas, por sus propiedades nutricionales, que indican que podría ser utilizado para la obtención de una bebida alcohólica, se logró con excelentes resultados producir una bebida de alta calidad, a pesar de sus atributos positivos, es una fruta de temporada, lo que incide en su producción. (Chango 2006, pp. 5-17)

Las Condiciones que influyen al elaborar una bebida alcohólica son: materias primas que se den en cortos periodos de cosecha para tener una producción continua del producto. En el momento de la elaboración se debe considerar el estado de maduración del fruto, el uso de levaduras que

permitan una fermentación controlada para el grado alcohólico deseado y, por último, los tiempos de fermentación.

2.2 Referencias teóricas

2.2.1 Guanábana

2.2.1.1 Generalidades

El aroma y sabor característicos de la guanábana la hacen destacar entre las frutas tropicales. También se ha demostrado que posee propiedades que promueven la salud. Entre los miembros de la familia *Annonaceae*, la guanábana ocupa la mayor parte del mercado comercial. La forma ovalada de esta especie va acompañada de pequeñas espinas blandas y carnosas que recubren su corteza de color verde oscuro. Esta fruta tiene una pulpa blanca, cremosa y suave que envuelve completamente las semillas. La fruta se consume fresca y su alto rendimiento ofrece un importante potencial industrial. (Ávila et al. 2012)

2.2.1.2 Clasificación botánica

Tabla 3-2: Clasificación botánica de la guanábana

Reino	Plantae
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Magnoliales</i>
Familia	<i>Annonaceae</i>
Subfamilia	<i>Annonaceae</i>
Tribu	<i>Annoneae</i>
Género	<i>Annona</i>
Especie	<i>A. muricata</i>
Nombre científico	<i>Annona muricata</i>

Fuente: Leiva, et al., 2018 pp. 4-14.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

2.2.1.3 Composición de la fruta

Tabla 4-2: Composición de la guanábana por cada 100 g.

Componente	Cantidad	Componente	Cantidad
Calorías	63	Fe	0,5 mg
Agua	83,1 g	Mg	20 mg
Proteína	1,0 g	K	275 mg
Grasa	0,4 g	Na	14 mg
Carbohidratos totales	14,9 g	Zn	0,34 mg
Cenizas	0,6 g	Vitaminas tiamina	0,07 mg
Ca	2 mg	Riboflavina	0,05 mg
Cu	0,13 mg	Niacina	0,9 mg
P	28 mg	B6	0,06 mg
Ácido ascórbico	26 mg		

Fuente: Leiva, et al., 2018 pp. 4-14.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

2.2.1.4 Propiedades

Tabla 5-2: Propiedades fisicoquímicas de la guanábana

Análisis	Rango
Sólidos totales (g/100ml)	17- 20.5
Cenizas totales (%)	0.7 - 0.11
Acidez (ác. málico)	0,2- 0,7
pH	3.1 - 5.1
Brix (°Bx)	7.1 - 24
Humedad	82 – 82.5
Fibra	7 – 12.1
Índice de madurez	2 - 6

Fuente: Leiva, et al., 2018 pp. 4-14.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

2.2.1.5 Producción de la guanábana

En Ecuador se producen 6 mil toneladas de guanábana fresca al año. La densidad óptima de siembra de plantas de guanábana en la costa ecuatoriana es de 6x4 metros por cada planta, según el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (Moreno 2021, pp.3-14.)

2.2.1.6 Utilidades de la guanábana

- Los frutos y hojas de la planta se utilizan en la medicina tradicional para el tratamiento de trastornos digestivos (incluyendo diarrea), dolor, presión arterial alta, inflamación, fiebre, tos y asma, entre otras condiciones.

- Las hojas de la planta producen un té suave y calmante, particularmente eficaz contra el insomnio y los trastornos nerviosos. Sin embargo, los niños pequeños no deben consumir esta bebida.
- Las semillas pueden ser tóxicas y se trituran para hacer un líquido que se usa para lavar el cabello y matar piojos. Se debe tener precaución, ya que el líquido irrita los ojos.
- El extracto de guanábana puede llegar a aliviar los síntomas de las úlceras gástricas.
- Un extracto de guanábana a base de alcohol poseía actividad antiviral.
- Otro extracto obtenido de la cáscara de la fruta mostró actividad antimicrobiana. (Sun et al. 2014)

2.2.2 Caña azucarera

2.2.2.1 Generalidades

Es considerado tallos de caña de azúcar. Es útil porque el azúcar se distribuye y almacena en él. Es aproximadamente 75% agua y comprende nudos y entrenudos.

Si bien el azúcar también es una materia prima para la producción de papel, cemento, fertilizantes y alimentos para animales, se cultiva principalmente para estos fines. Con este material básico se pueden crear bebidas alcohólicas destiladas. (Nayarit 2022, p. 1).

2.2.2.2 Clasificación Botánica

Tabla 6-2: Clasificación botánica de la caña

Reino	Plantae
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Poales</i>
Familia	<i>Poaceae</i>
Subfamilia	<i>Panicoideae</i>
Tribu	<i>Andropogoneae</i>
Género	<i>S. officinarum L.</i>
Especie	<i>Saccharum</i>
Nombre científico	<i>Saccharum officinarum</i>

Fuente: Tello, 2018, pp. 15-23.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

2.2.2.3 Composición de la fruta

Tabla 7-2: Composición de la caña de azúcar por cada 100 g.

Componente	Cantidad	Componente	Cantidad
Energía	394,50 kcal	Vitam. B3	0,50 mg
K	161,10 mg	Vitam. B6	0,01 mg
P	12,15 mg	Vitam. B9	0,50 µg
Hidratos	98,70 g	Mg	11,10 mg
Agua	1,30 g	Se	0,90 µg
Ca	42,80 mg	Zn	0,10 mg
Fe	1,10 mg	Na	20,15 mg

Fuente: Tello, 2018, pp. 15-23.

Realizado por: Zapata Edison, 2023.

2.2.2.4 Propiedades

Tabla 8-2: Propiedades fisicoquímicas de la caña de azúcar

Análisis	Rango
Sólidos totales (g/100ml)	4,32 - 5,82
Cenizas totales (%)	0,61 - 0,75
Acidez (ác. cítrico)	0,14 - 0,18
pH	4,3 - 5,6
Brix (°Bx)	13 - 22,4
Humedad	70 - 76
Almidón	0,001-0,05
Fibra	11 - 16

Fuente: Tello, 2018, pp. 15-23.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

2.2.2.5 Producción de caña de azucarera

En Ecuador, en 2020 se cosecharon 139 mil hectáreas de caña azucarera, con una producción de 11 millones de toneladas. Las provincias del Cañar y Guayas son aquellas donde se concentra mayor producción de la producción nacional. (Asuero et al. 2021, p. 3).

2.2.2.6 Utilidades de la caña azucarera

- **Azúcar Crudo:** Producto elaborado a base de sacarosa cristalizada que originalmente se recubría con una película madre formada por la cocción del jugo de la caña de azucarera o de la remolacha azucarera.

- *Azúcar Blanco*: Jugo de remolacha o caña azucarera que ha sido cristalizado utilizando técnicas industriales apropiadas. Es simple de hacer utilizando cristales de sacarosa sueltos que se producen mediante procedimientos industriales. (Procaña 2022, p. 2).
- *Etanol*: Un alcohol con un punto de ebullición de 78 °C, el etanol es un líquido incoloro e inflamable. (López 2018, p.35-40).
- *Panela*: En el jugo de caña de azúcar, la panela generalmente se obtiene por evaporación directa, ya sea clarificada o sin clarificar. La forma tradicional de panela ha sido en forma cuadrada o circular, pero también se puede encontrar en forma granulada, en polvo o incluso saborizada.
- *Meladura*: Jugo concentrado que se clarifica por evaporación
- *Citrato De Sodio Di Hidratado*: Cristales blancos e inodoros con un sabor salino crujiente son la forma en que puede adquirir este producto. Es la sal sódica del ácido cítrico. (Procaña 2022, p. 2).
- *Citrato De Calcio (O Sal Amarga)*: El ácido cítrico y el hidróxido de calcio son los componentes principales del citrato de calcio. Es uno de los métodos de suplementación de calcio más utilizados. (Zambrano 2014, p. 2).

2.2.3 *Fermentación*

Es un proceso catabólico totalmente anaeróbico de oxidación incompleta, la fermentación produce una sustancia orgánica como producto final. Estos productos terminados son los que distinguen los diferentes tipos de fermentación. (Vázquez & Dacosta 2007, pp. 249–259.)

2.2.3.1 *Tipos de fermentación*

Alcohólica

- Bacterias que producen etanol y CO₂.
- En condiciones de anaerobiosis fermentan la glucosa, ácido pirúvico, acetaldehído, etanol.

Láctica

- Hongos y bacterias.
- Esencial para mejorar la estabilidad de la composición química de los alimentos.
- Lactato deshidrogenasa: La fermentación láctica es producida por esta enzima.

Butírica

- Transformación de hidratos de carbono en ácido butírico.
- En ausencia de oxígeno *Clostridium butyricum*, fermenta la lactosa.
- Genera olores desagradables (mantequilla rancia).

Acética

- Acetobacteria y Gluconobacter
- Las bacterias del vinagre oxidan el alcohol en presencia de oxígeno y crean ácido acético (Carbonero, 2002, p. 1)

2.2.3.2 *Fermentación Alcohólica*

La fermentación alcohólica, a veces denominada fermentación de etanol o etilo es un proceso biológico en el que la fermentación se produce sin oxígeno. Ciertos microorganismos son los responsables de este tipo de fermentación ya que procesan azúcares, glucosa, fructosa, etc. (carbohidratos), los cuales son convertidos en alcohol (etanol), dióxido de carbono (gas) y ATP (trifosfato de adenosina) para generar energía, los organismos utilizan estas moléculas como procesos metabólicos de la energía. (Vázquez & Dacosta 2007, pp. 249–259.)

2.2.3.3 *Factores que influyen en la fermentación*

°Brix

La fermentación es la transformación de azúcares en etanol, CO₂ y otros. Es fundamental controlar los °Brix para que para que ocurra la fermentación, si el °Brix es bajo, tendremos un líquido con una graduación alcohólica muy baja. Incluso si la medida °Brix es muy alta, la fermentación no tendrá lugar. (Salazar 2010, pp. 15-23).

Nutrientes

La máxima eficacia se consigue en la fermentación alcohólica, en mostos con alto contenido en nutrientes como vitaminas, sales y compuestos orgánicos nitrogenados, pero están expuestos a contaminaciones cruzadas, por lo que es necesario el uso de pastillas desinfectantes (Salazar 2010, pp. 15-23).

Temperatura

El principal elemento necesario para que una fermentación tenga éxito es la temperatura dado que la temperatura con la que se trabaja modifica en ciertas condiciones de esta manera entre mayor temperatura menor pureza por lo tanto existe muchos compuestos inservibles que se pueden considerar como contaminantes. La temperatura a la que la levadura crece mejor es de alrededor de 30° C. Sin embargo, esto no significa que las altas temperaturas sean adecuadas. Cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la toxicidad por la pérdida de componentes volátiles del etanol, mientras que las temperaturas más bajas pueden detener la fermentación. (Santos 2016, p. 5)

2.2.4 Alcohol

Son aquellos compuestos orgánicos a los que átomos de hidrógeno se sustituyen por grupos oxhidrilo en los hidrocarburos, estén saturados o no, los compuestos químicos resultantes se denominan alcoholes. Los siguientes alcoholes se utilizan industrialmente. (López 2018, p.35-40).

2.2.4.1 Clasificación

- **Butanol**

El principal uso del butanol en la industria es para la síntesis orgánica de ésteres solventes, para la coloración, agentes deshidratantes y para la fabricación de detergentes.

- **Etanol**

El término etanol también se usa para referirse al alcohol etílico. Es un líquido que carece de color e inflamable que hierve a 78°C en condiciones normales. Debido a su capacidad de disolverse en agua, se utiliza para fabricar solventes y bebidas alcohólicas. Dependiendo de la bebida alcohólica en la que se encuentre, la sustancia estará acompañada de diversos compuestos químicos que le dan su color, olor y sabor.

- **Metanol**

Es altamente tóxico e inflamable. En presencia de aire, puede convertirse en combustibles de alto poder calorífico. Se puede producir formol y metano a partir de este compuesto.

- **Octanol**

El compuesto se encuentra en los aceites esenciales como ésteres. Se utiliza para producir ésteres en la formulación de sabores y para perfumería. (López 2018, p.35-40).

2.2.5 Operaciones unitarias

2.2.5.1 Destilación

La destilación forma parte de las operaciones unitarias. En la destilación, dos componentes de una fase líquida se separan unitariamente en función de los cambios de volatilidad, es decir, componentes que se evaporan donde se separarán los componentes con menor resistencia. La volatilidad es uno de los elementos no deseados en la corriente de salida. (Iglesia, 2006, p. 1)

2.2.5.2 *Métodos de Destilación*

Destilación Simple

En este proceso, la mezcla se vaporiza parcialmente con vapor formando más componentes volátiles que la mezcla original. Por lo tanto, el residuo contiene componentes menos volátiles. Para realizar este método se puede utilizar un método de equilibrio o cerrada y un método diferencial o abierta.

Debido a las diferencias de volatilidad, una mezcla de componentes se vaporiza parcialmente. Los componentes de baja volatilidad tienden a eliminarse del flujo de salida.

Destilación con Rectificación

Esta es una operación de flujo en contracorriente de múltiples etapas; un flujo con una gran riqueza de vapor circula simultáneamente con el otro flujo de vapor recirculado. Como resultado, el producto se elabora con el grado alcohólico correcto según las necesidades del caso en columna de rectificación. (Iglesia, 2006, p. 1)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de estudio

Este proyecto técnico consiste en realiza un análisis bibliográfico de normativas y técnicas para el diseño de un proceso industrial para la elaboración de una bebida alcohólica a partir de pulpa guanábana (*Annona muricata*) y enriquecido con jugo de caña (*Saccharum officinarum*) para la empresa Comercializadora Allpa Grefa Wayusa Shayary Cía. Ltda. Se aplican conocimientos de los procesos y operaciones unitarios que se ha adquirido en las aulas que permitirán lograr los objetivos establecidos.

3.2 Métodos

3.2.1 Método deductivo

El análisis tanto de las materias primas como de los productos terminados, que es un indicador de que el producto cuenta con calidad. Este análisis define las variables a considerar para el proceso y operaciones que debe realizar el laboratorio de acuerdo con las necesidades de la Empresa Comercializadora Allpa Grefa Wayusa Shayary Cía. Ltda. para cumplir con sus objetivos.

3.2.2 Método experimental

Mediante el uso de este método, podemos desarrollar una bebida fermentada a nivel de laboratorio. Como resultado, esto permitirá identificar las variables involucradas en este proceso y extraer conclusiones en base a estas variables.

3.2.3 Método inductivo

Esta metodología se utiliza para recopilar información sobre las materias primas, se adquiere el conocimiento a nivel de laboratorio sobre el proceso industrial que se puede utilizar para elaborar bebidas fermentadas, y se adquieren las variables y normativas a utilizar.

3.3 Selección de las materias primas

Las características físicas juegan un papel importante en la selección de la fruta, debe estar libre de magulladuras, apariencia oscura o picaduras de aves e insectos para ser seleccionada. Caso

contrario, la fruta debe desecharse porque está contaminada y no puede ser utilizada en nuestro proceso.

Cuando se cosecha, la guanábana se coloca en cajas de cartón con revestimiento de espuma para el transporte, debe colocarse de esta manera con la finalidad de evitar maltratar. La fruta sin manipulada se puede almacenar a temperatura ambiente durante unos tres días sin dañarse pasado este tiempo debe refrigerarse; por lo demás, puede conservarse al ambiente durante casi 6 días sin manipulación alguna. En el caso del jugo de caña triturada se almacena en recipientes plásticos bien desinfectados, y debe ser refrigerado.

3.4 Recolección de datos para el proceso

La materia prima se recibe en el laboratorio, seguido se realiza un lavado, limpieza y pelado de la fruta. Es importante pesar tanto el fruto como las semillas, todo lo extraído del fruto, para determinar cuánto se pierde y se aprovecha para la fermentación; como resultado, la cantidad de elementos adicionales variará.

Se realizó un proceso de fermentación del jugo de la pulpa de guanábana y jugo de caña. La destilación del alcohol se lleva a cabo durante dos días, dependiendo de la cantidad de alcohol en la muestra. Para comenzar el proceso de fermentación, debe agregar la cantidad necesaria de levadura, que transformara el azúcar en alcohol. Es imprescindible tomar una muestra °brix y determinar el número de grados Gay-Lussac. Los datos recopilados de esta manera se pueden analizar para determinar cuándo el azúcar se convierte en alcohol. Para la destilación del alcohol se utiliza una columna de destilación perteneciente al Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias, ESPOCH.

3.5 Parámetros de las materias primas

La pulpa de guanábana, ya libre de cáscaras y semillas, se tritura para determinar sus características. En el caso del jugo de caña, se toma una muestra directamente. Los datos obtenidos en el laboratorio de Procesos Industriales contribuirán al diseño del proceso industrial de bebidas alcohólicas. La seguridad e inocuidad de los alimentos están garantizadas durante todo el proceso.

Tabla 9-3: Parámetros para la pulpa y jugo de guanábana

Parámetros
Sólidos Totales
Cenizas
Acidez
pH
Densidad
Temperatura, Índice de Refracción y °Bx

Fuente: Espoch, Lab. Procesos Industriales

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.6 Parte Experimental

3.6.1 Obtención del jugo de guanábana

3.6.1.1 Procesos previos de la guanábana

A la guanábana se le realiza procesos previos para eliminar las impurezas provenientes del suelo al momento de su cosecha.

Tabla 10-3: Pretratamiento de la guanábana.

Proceso	Descripción
Recolección	De los pequeños productores de la Parroquia Puerto Misahuallí - Tena se recolectan 39,27 kg de guanábana.
Lavado	Se lava la guanábana con abundante agua para retirar los residuos provenientes del campo.
Corte	Se parte la guanaba por la mitad para que sea fácil su despulpado.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

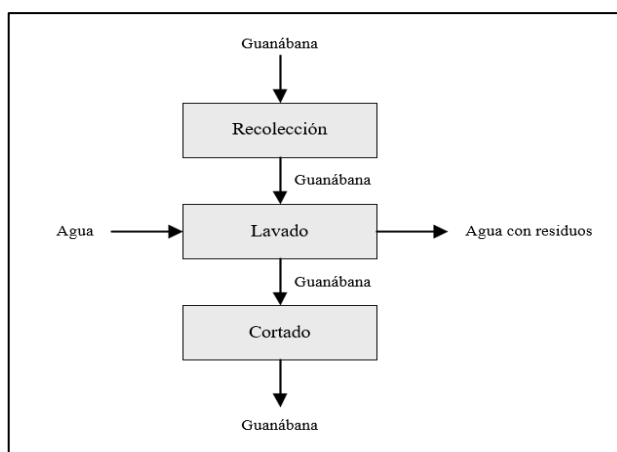


Ilustración 3-3: Diagrama para los procesos previos de la guanábana

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.6.1.2 Extracción y filtrado de jugo de guanábana

Para la extracción se emplea una licuadora de tipo industrial para poder convertir la pulpa en jugo de guanábana, obteniendo 20,90 L de jugo y 6,13 kg de bagazo.

Tabla 11-3: Proceso de extracción del jugo de guanábana.

Proceso	Descripción
Triturado	La pulpa de guanábana es llevada a la licuadora para poder procesarla y obtener su jugo.
Filtrado	El jugo obtenido de la guanábana en el triturado se filtra para separar el bagazo e impureza.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

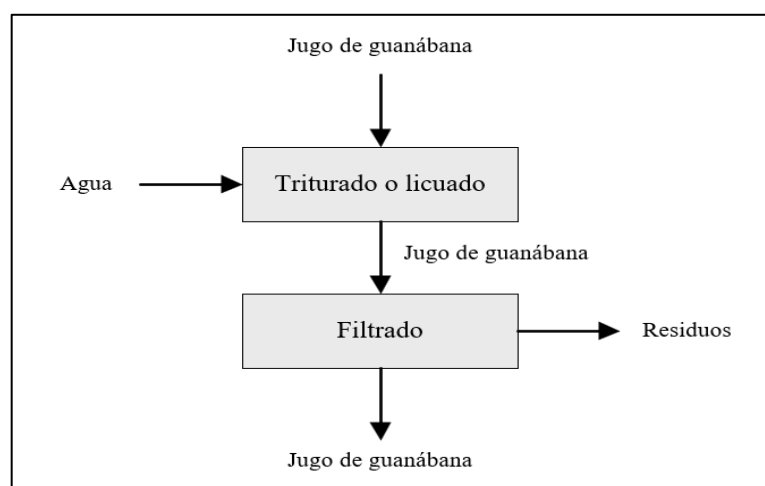


Ilustración 4-3: Diagrama para el proceso de extracción de jugo de la guanábana

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.6.1.3 Filtrado de jugo de caña azucarera.

Se realizó el filtrado del jugo de caña azucarera para eliminar impurezas que pudieron obtenerse en el proceso de molienda.

Tabla 12-3: Proceso de filtrado para el jugo de caña de azúcar

Proceso	Descripción
Recolección	De los productores de la Parroquia Teniente Hugo Ortiz - Pastaza. Se recolecta 10,11 L de jugo de caña
Filtrado	El jugo de caña se filtra para separar impureza que podrían presentar.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

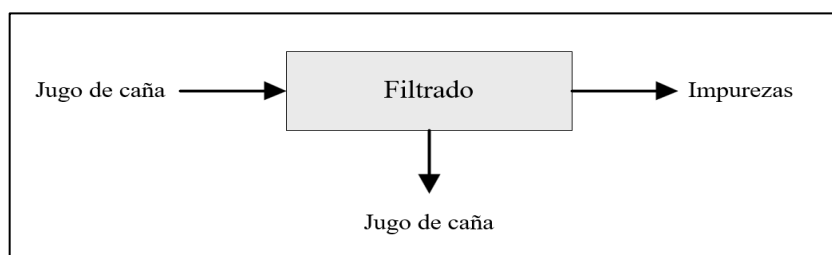


Ilustración 5-3: Diagrama para el proceso de filtrado de jugo de caña

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.6.1.4 Caracterización de las materias primas

La caracterización de las frutas tanto para la guanábana y caña azucarera no cuenta con normativas. Por lo tanto, se siguieron los lineamientos de los laboratorios institucionales de Bromatología e Investigación que se encuentran en la Facultad de Ciencias. Se realizaron una serie de pruebas para evaluar las cenizas, densidad, sólidos totales, pH, acidez, °Brix, índice de refracción y temperatura de la muestra. Cada análisis se realizó por triplicado para recopilar información comparativa sobre los resultados obtenidos.

Tabla 13-3: Determinación de sólidos totales para jugo de guanábana y caña

Equipos y Materiales	Datos
<ul style="list-style-type: none"> • Cápsulas • Balanza analítica • Desecador con desecante • Estufa • Pinzas 	$ST = \left(\frac{M1 - Mc}{Vm} \right) * 100$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ST= Sólidos Totales • M1= Masa de la cápsula con la muestra seca (g) • MC = masa de la cápsula vacía (g) • Vm = Volumen de la muestra (ml)

Proceso	
<ul style="list-style-type: none"> - La cápsula vacía, previamente tratada (4 horas en estufa a 100 °C) y desecada, se pesa hasta obtener un valor constante. - En la cápsula se pesa 50 ml de la muestra. - En el Baño María se coloca la cápsula para reducir la cantidad de agua en la muestra. - Con una toalla absorbente, secar el exterior de la cápsula. - Colocar la cápsula en el horno durante 2 horas, se calentó a 105 °C. - Se coloca la cápsula en el desecador. - La cápsula se deja enfriar hasta alcanzar una temperatura ambiente (aproximadamente 30 minutos). - Pesar la cápsula. - Para lograr un peso constante, se vuelve a colocar en la estufa y se repite el proceso. 	

Fuente: Espoch, Lab. de Bromatología

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Tabla 14-3: Determinación de cenizas totales para jugo de guanábana y caña

Equipos y Materiales	Datos
<ul style="list-style-type: none"> • Crisol • Balanza analítica • Desecador con desecante • Mufla • Reverbero • Pinzas 	$\% Cs = \left(\frac{M2 - Mc}{M1 - Mc} \right) * 100$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • %Cs = Porcentaje de cenizas totales (%) • M2 = Masa del crisol con la ceniza (g) • M1 = Masa del crisol con la muestra de ensayo (g) • Mc = Masa del crisol vacío (g)
Proceso	
<ul style="list-style-type: none"> - Previamente tratado (4 horas a 105°C en estufa) y desecado, se pesa el crisol vacío hasta obtener un valor constante. - En el crisol se pesa 5 ml de la muestra. - En el extractor, el crisol se colocó en el reverbero, donde se carbonizó (la muestra debe quedar negra y sin humo). - Durante 2 horas, el crisol se coloca en la mufla y se calienta a 500°C. - Se utiliza un desecador para almacenar el crisol después de haberlo retirado. - La muestra debe dejarse enfriar hasta que alcance una temperatura ambiente (aproximadamente 30 minutos). - Se realiza el pesaje del crisol. - Para lograr un peso constante, se vuelve a colocar en la mufla y se repite el proceso. 	

Fuente: Espoch, Lab. de Bromatología

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Tabla 15-3: Determinación de acidez para jugo de guanábana y caña

Equipos y Materiales	Datos
<ul style="list-style-type: none"> Bureta de 50 ml Vaso de precipitación de 250 ml 	$A = \frac{(C_{NaOH} * V_{NaOH} * M_{eq})}{M_m}$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> A = Porcentaje de acidez C_{NaOH} = Concentración del NaOH (N) V_{NaOH} = Volumen de solución 0,1 N de NaOH utilizado en titulación (ml) M_{eq} = Miliequivalente del ácido considerado M_m = Peso de la muestra tomada para el análisis (g)
Proceso	
<ul style="list-style-type: none"> Preparar una solución de NaOH con una concentración de 0,1 N. En un vaso de precipitación pesar 25 g de la muestra. Añadir 5 gotas de fenolftaleína a la muestra a analizar. Se titula con la bureta y solución de NaOH. 	

Fuente: Espoch, Lab. de Bromatología

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Tabla 16-3: Determinación de pH para jugo de guanábana y caña

Equipos y Materiales
<ul style="list-style-type: none"> Vaso de precipitación de 250 ml Varilla de agitación Potenciómetro
Proceso
<ul style="list-style-type: none"> El equipo previamente calibrado con las soluciones buffer (4, 7 y 10), se procede a encender. Se utiliza agua destilada para limpiar el electrodo. La muestra de 100 ml se coloca en el vaso de precipitados de 250 ml. La muestra debe agitarse suavemente para homogeneizarla. Sin tocar ninguna parte del recipiente de muestra, se inserta el electrodo. Una vez que se presionó el botón de medición, la pantalla del equipo mostró "listo". Se determinó el valor de pH leyendo en la pantalla.

Fuente: Espoch, Lab. de Investigación

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Tabla 17-3: Determinación de la densidad para jugo de guanábana y caña

Equipos y Materiales	Datos
<ul style="list-style-type: none"> Probeta de 10 ml Balanza analítica Picnómetro 	$\rho = \left(\frac{P2 - P1}{Vp} \right)$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> ρ = densidad (g/ml) P1 = Peso del picnómetro vacío (g) P2 = Peso del picnómetro con la muestra de ensayo (8g) Vp = Volumen del picnómetro
Proceso	
<ul style="list-style-type: none"> Se pesa el picnómetro previamente tarado (4 horas en la estufa a 105 °C) y desecado hasta obtener un valor constante. En una probeta de 10 ml se toma la muestra. 	

- Se deben agregar los 10 ml al picnómetro.
- Se utilizó una balanza para pesar el picnómetro con la muestra.

Fuente: Espoch, Lab. de Investigación
Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Tabla 18-3: Determinación de °Bx, índice de refracción y temperatura para jugo de guanábana y caña azucarera

Equipos y Materiales
<ul style="list-style-type: none"> • Vaso de precipitación de 50 ml • Varilla de agitación • Pipeta Pasteur • Refractómetro
Proceso
<ul style="list-style-type: none"> - Encendimos el equipo y abrimos la tapa. - Se realiza la calibración del equipo (con una toalla adsorbente limpiamos la superficie, se agregó agua destilada, se cerró la tapa hasta obtener su valor) - Se coloca la muestra en un vaso de precipitación de 50 ml. - Agitar suavemente la muestra para asegurar su homogeneidad. - La muestra se coloca en la superficie del equipo. - Presionar el botón de inicio y esperamos hasta que el valor aparece en pantalla sin cambios. - Se lee el índice de refracción, °Brix y temperatura, y se registraron los valores.

Fuente: Espoch, Lab. de Investigación
Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.6.2 Obtención del alcohol

3.6.2.1 Fermentación

El extracto obtenido previamente a los proceso y caracterización de guanábana y caña azucarera se fermenta con levadura *Saccharomyces cerevisiae*. La levadura SafAle S-33 debe activarse antes de utilizarse ya que es seca. Se añade a la mezcla de estos jugos para la fermentación, y se deja reposar un tiempo. Los niveles °Brix, el índice de refracción, el pH y el contenido de alcohol se miden durante la fermentación.

Tabla 19-3: Proceso de fermentación para el mosto.

Equipos y Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Vaso de precipitación de 500 ml • Termómetro • Balanza analítica • Barrilla de agitación 	<ul style="list-style-type: none"> • Levadura SafAle S-33
Proceso	
<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere agregar 57,5 g/hL por lo que se deben pesar 17,6 g de levadura por los 30,60 L de mosto. - A temperatura de 30 °C, se mezcla 250 ml con la levadura pesada. - Durante 30 min se agita suavemente y se agrega al jugo total. 	

- Se deja reposar, procurando que exista salida de CO₂ y evitando que ingrese O₂ en el proceso de fermentación.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

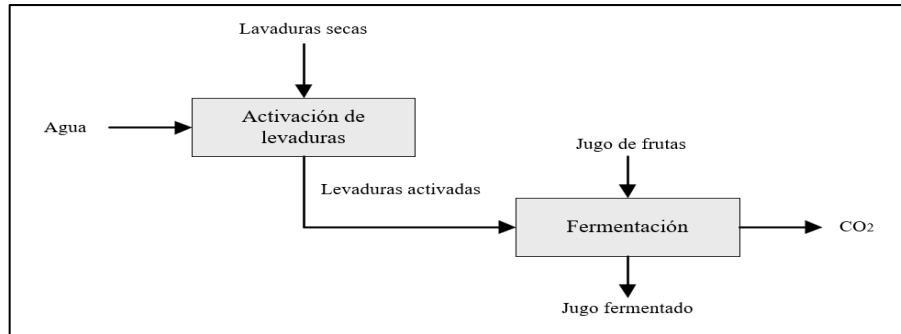


Ilustración 6-3: Diagrama para el proceso de fermentación de jugo de frutas

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.6.2.2 Destilación de la bebida alcohólica

El proceso de destilación se llevó a cabo en el laboratorio de procesos industriales, el cual nos permitió la obtención del alcohol etílico a 73 °GL del jugo de guanábana y caña.

Tabla 20-3: Proceso de destilación del jugo de guanábana y caña fermentado.

Equipos y Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Probeta de 250 ml • Alcoholímetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Columna de destilación
Proceso	
<ul style="list-style-type: none"> - Realizar una desinfección previa a la columna de destilación, y revisar las conexiones de gas y electricidad. - Introducir los 30,60 L de jugo fermentado para destilación. - Verificar que la temperatura en el equipo sea de 78.4 °C en todo el proceso. - El alcohol destilado debe ser medirse cada hora para comprobar su grado alcohólico. 	

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

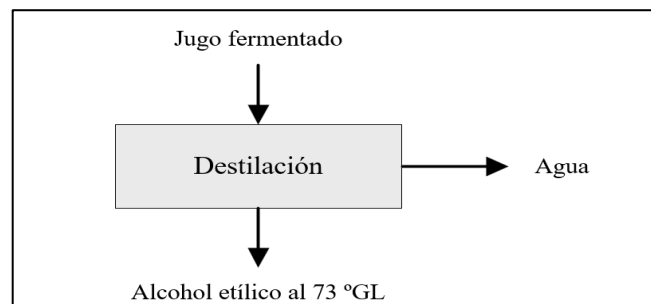


Ilustración 7-3: Diagrama de proceso de destilación de la bebida alcohólica

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.6.2.3 *Rectificación de la bebida alcohólica obtenida*

Después de obtener alcohol etílico a 73 °GL, se procedió a la rectificación de este aplicando una segunda destilación del tipo fraccionada en el laboratorio de Química Orgánica, obteniendo alcohol etílico al 95 °GL.

Tabla 21-3: Proceso de destilación del jugo de guanábana y caña fermentado.

Equipos y Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Balón de destilación 1000 ml • Refrigerante • Mangueras • Termómetro • Matraz Erlenmeyer • Probeta de 250 ml • Alcoholímetro • Reverbero 	<ul style="list-style-type: none"> • Destilador
Proceso	
<ul style="list-style-type: none"> - Realizar una desinfección previa al balón de destilación, y realizar las conexiones del refrigerante, mangueras, termómetro y matraz Erlenmeyer. - Introducir los 750 ml del alcohol al balón de destilación. - Encender el reverbero y verificar que la temperatura de destilación en el equipo sea de 78.4 °C en todo el proceso. - El alcohol destilado se debe medir para comprobar su grado alcohólico. 	

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

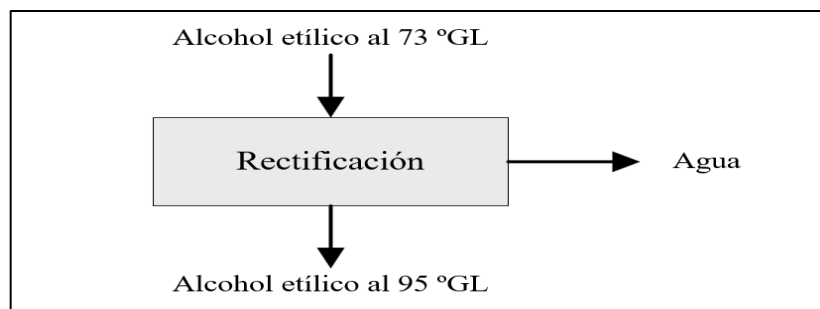


Ilustración 8-3: Diagrama para el proceso de destilación rectificadora
de la bebida alcohólica

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.6.2.4 Caracterización del alcohol etílico con respecto a la norma escogida

La norma técnica ecuatoriana NTE INEN 375, que fue creada en 2018 y establece los estándares que debe seguir el alcohol etílico en la producción de bebidas alcohólicas, sienta las bases para caracterizar el producto final.

Tabla 22-3: Requisitos físicos y químicos para el alcohol etílico de origen agrícola

Requisito	Unidad	Alcohol etílico extraneutro		Alcohol etílico neutro		Método de ensayo
		Min.	Máx.	Min.	Máx.	
Alcohol, fracción volumétrica	%	96	-	95	-	NTE INEN 340
Acidez total, como ácido acético	mg/100 cm ³ (*)	-	1,5	-	3,0	NTE INEN 341
Ésteres, como acetato de etilo	mg/100 cm ³ (*)		1,3	-	5,0	NTE INEN 2014
Aldehídos, como etanal	mg/100 cm ³ (*)		0,2	-	2,0	NTE INEN 2014
Furfural	mg/100 cm ³ (*)	-	0,01	-	0,01	NTE INEN 2014
Metanol	mg/100 cm ³ (*)	-	1,5		10,0	NTE INEN 2014
Alcoholes superiores **	mg/100 cm ³ (*)	-	0,7	-	3,0	NTE INEN 2014
* El volumen de 100 cm ³ corresponde al alcohol absoluto.						
** Los alcoholes superiores comprenden: isopropanol, propanol, isobutanol, isoamílico, amílico.						

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2018.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.6.2.5 Diagrama de proceso para la obtención de alcohol etílico de guanábana y caña

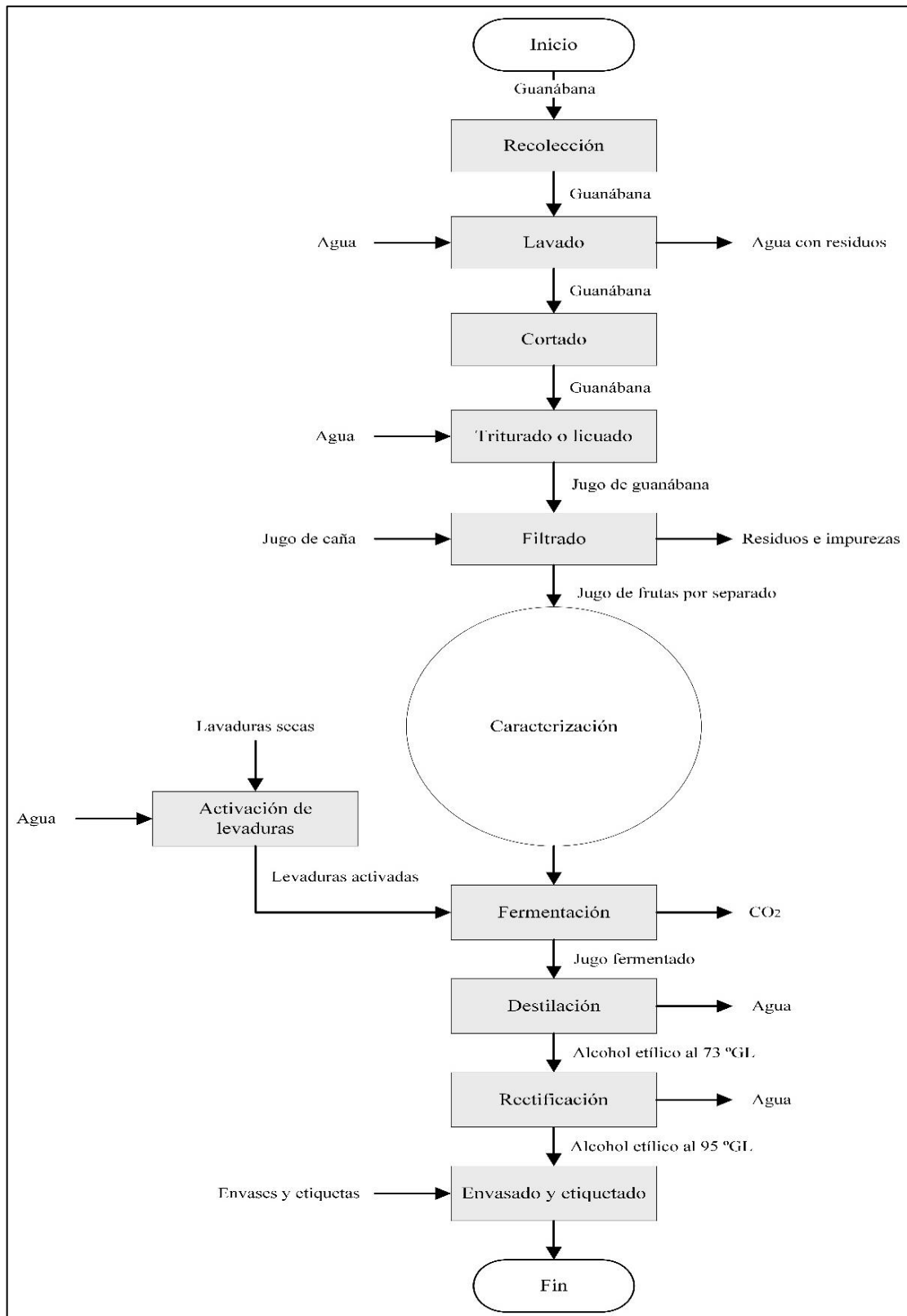


Ilustración 9-3: Diagrama de proceso para la obtención de alcohol etílico de guanábana y caña

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.7 Variables de proceso

Tabla 23-3: Variables del proceso para la obtención de la bebida alcohólica.

Variables	Tipo de variable		Concepto	Equipo de medición	Parámetros
Guanábana	Dependiente	Grado de madurez	Tiempo necesario para que la guanábana sea cosechada	Visual	6 meses
Caña azucarera	Dependiente	Grado de madurez	Tiempo necesario para que la caña sea cosechada	Visual	10 a 12 meses
Lavado	Independiente	Cantidad de guanábana	Masa inicial de guanábana	Balanza	39,27 kg
Triturado	Dependiente	Tiempo	Magnitud de duración del triturado	Cronómetro	3 min
	Independiente	Cantidad de guanábana a triturar	Cantidad de masa para extraer la guanábana	Balanza	6,7129 kg
Activación de levaduras	Dependiente	Tiempo	Duración de la activación de la levadura	Cronómetro	25 a 30 min
		Temperatura	Calor existente en la activación de la levadura	Termómetro	30 °C
	Independiente	Cantidad de levadura utilizada	Cantidad de levadura a utilizar para disolución	Balanza	17,6 g
Fermentación	Dependiente	Tiempo	Duración de la fermentación	Cronómetro	96 h
		Temperatura	Calor necesario en el proceso	Termómetro	15 – 25 °C
Destilación y rectificación	Dependiente	Tiempo	Duración de la destilación y rectificación	Cronómetro	16 h
		Temperatura	Calor necesario para el proceso	Termómetro	78 °C

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.8 Datos experimentales

3.8.1 Limpieza de la fruta

Tabla 24-3: Datos de la guanábana antes y después del lavado

Muestra	P _i (g)	P _f (g)
1	3247,09	3209,12
2	3193,24	3152,02
3	3303,82	3261,87
4	3248,85	3210,85
5	3307,15	3261,85
6	3237,68	3197,00
7	3203,04	3162,49
8	3288,79	3249,31
9	3284,85	3243,12
10	3385,55	3340,99
11	3297,63	3256,15
12	3276,81	3238,46
Total	39274,50	38783,23

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

- Cálculos para el porcentaje de impurezas removidas en el lavado

$$\% \text{ Removido} = \frac{P_i - P_f}{M_i} * 100$$

Donde:

P_i = Peso inicial de la muestra antes del lavado

P_f = Peso final de la muestra después del lavado

$$\% \text{ Removido} = \frac{3247,09 \text{ g} - 3209,12 \text{ g}}{3247,09 \text{ g}} * 100$$

$$\% \text{ Removido} = 1,20 \%$$

Tabla 25-3: Datos de impurezas removidas en el lavado

Muestra	% Removido
1	1,2
2	1,3
3	1,3
4	1,2
5	1,4
6	1,3
7	1,3
8	1,2
9	1,3
10	1,3
11	1,3
12	1,2
Promedio	1,3

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.8.2 *Peso y volumen de las materias primas*

Tabla 26-3: Pesos de la guanábana.

Muestra	Pulpa (g)	Cascara (g)	Semilla (g)
1	2151,72	532,97	204,91
2	2309,14	750,2	138,13
3	2361,84	762,37	182,5
4	2272,28	682,15	178,43
5	2377,34	780,12	201,3
6	2398,77	785,49	150,58
7	2293,21	752,37	176,13
8	2410,75	749,75	207,51
9	2422,39	666,06	189,75
10	2412,54	672,58	172,67
11	2335,18	799,05	199,14
12	2433,84	655,72	201,12
Total	28179,00	8588,83	2202,17

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Tabla 27-3: Volumen de jugo de caña.

Muestra	Volumen (ml)
1	10108,3

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.8.3 *Filtrados*

Tabla 28-3: Datos del filtrado del jugo de guanábana.

Filtro	P _N (g)	P _{NS+M} (g)	J (g)
Nylon	34,1201	35,3254	49,1759

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

- Cálculos para el porcentaje de impurezas retenidas en el filtro por cada 50 ml de jugo de guanábana.

$$\% \text{ Retenido} = \frac{P_{NS+M} - P_N}{J} * 100\%$$

Donde:

PN = Peso de la tela Nylon (g)

PNS + M = Peso de la tela Nylon seca con la muestra (g)

J = Peso de la muestra que se filtró (g)

$$\% \text{ Retenido} = \frac{35,3254 \text{ g} - 34,1201 \text{ g}}{49,1759 \text{ g}} * 100\%$$

$$\% \text{ Retenido} = 1,4510 \%$$

Tabla 29-3: Datos del filtrado del jugo de caña azucarera.

Filtro	P _N (g)	P _{NS+M} (g)	J (g)
Nylon	34,1454	34,6797	49,8541

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

- Cálculos para el porcentaje de impurezas retenidas en el filtro por cada 50 ml de jugo de caña.

$$\% \text{ Retenido} = \frac{P_{NS+M} - P_N}{J} * 100\%$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{34,6797 \text{ g} - 34,1454 \text{ g}}{49,8541 \text{ g}} * 100\%$$

$$\% \text{ Retenido} = 1,0717 \%$$

3.8.4 Datos de la caracterización de las materias primas

3.8.4.1 Sólidos Totales

Tabla 30-3: Sólidos Totales para la pulpa de guanábana

Tiempo (h)	M _{s1} (g)	M _{s2} (g)	M _{s3} (g)	M _{c1} (g)	M _{c2} (g)	M _{c3} (g)	V _m (ml)
0	142,5986	169,2126	149,4847	84,7849	108,8334	88,6587	50
2	128,3966	154,5244	134,6217				
4	114,3203	140,4585	120,6038				
6	99,6693	125,8354	105,9936				
22	93,6285	117,6752	97,5021				
24	93,6285	117,6752	97,5021				

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

- Cálculos para el porcentaje de sólidos totales

$$ST = \left(\frac{M_{s1} - M_{c1}}{V_m} \right) * 100$$

$$ST = \left(\frac{93,6285 - 84,7849}{50} \right) * 100$$

$$ST = 17,6872\%$$

Tabla 31-3: Contenido de sólidos totales en la pulpa de guanábana

Muestra	Sólidos Totales (g / 100ml)
1	17,6872
2	17,6836
3	17,6868
Promedio	17,6859

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Tabla 32-3: Sólidos Totales para el jugo de caña

Tiempo (h)	Ms1 (g)	Ms2 (g)	Ms3 (g)	Mc1 (g)	Mc2 (g)	Mc3 (g)	V _m (ml)
0	140,2238	146,6718	141,5283	85,6845	92,1517	87,1254	50
2	125,6382	131,7986	126,5808				
4	111,6113	117,5661	112,2441				
6	97,3799	103,3112	98,2094				
22	88,3558	94,8259	89,7975				
24	88,3558	94,8259	89,7975				

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

- Cálculos para el porcentaje de sólidos totales

$$ST = \left(\frac{M_{s1} - M_{c1}}{V_m} \right) * 100$$

$$ST = \left(\frac{88,3558 - 85,6845}{50} \right) * 100$$

$$ST = 5,3426 \%$$

Tabla 33-3: Contenido de sólidos totales en el jugo de caña

Muestra	Sólidos Totales (g / 100ml)
1	5,3426
2	5,3484
3	5,3442
Promedio	5,3451

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.8.4.2 Cenizas Totales

Tabla 34-3: Cenizas Totales en guanábana

Tiempo (h)	M _{CM1}	M _{CM2}	M _{CM3}	M ₁	M ₂	M ₃
0	33,3393	30,2097	35,4311	29,1502	24,9853	30,0818
2	31,2069	28,0813	33,1882			
4	30,284	27,1125	32,2097			
6	30,2164	26,0513	31,1485			
22	29,1552	24,9901	30,0873			
24	29,1552	24,9901	30,0873			

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

- Cálculos para el porcentaje de cenizas

$$\%C_s = \left(\frac{M_{C1Mf} - M_{C1}}{M_{C1Mi} - M_{C1}} \right) * 100$$

$$\%C_s = \left(\frac{29,1552g - 29,1502}{33,3393 - 29,1502} \right) * 100$$

$$\%C_s = 0,1194\%$$

Tabla 35-3: Contenido de Cenizas en guanábana

Muestra	Cenizas Totales (%)
1	0,1194
2	0,0919
3	0,1028
Promedio	0,1047

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Tabla 36-3: Datos para el cálculo de Cenizas Totales en caña

Tiempo (h)	M _{CM1}	M _{CM2}	M _{CM3}	M ₁	M ₂	M ₃
0	34,7217	31,1371	37,44	30,5337	25,9122	32,0906
2	32,5893	29,0087	35,1971			
4	31,6664	28,0399	34,2186			
6	31,5988	26,9787	33,1574			
22	30,5376	25,9175	32,0962			
24	30,5376	25,9175	32,0962			

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

- Cálculos para el porcentaje de cenizas

$$\%C_s = \left(\frac{M_{C1Mf} - M_{C1}}{M_{C1Mi} - M_{C1}} \right) * 100$$

$$\%C_s = \left(\frac{30,5376g - 30,5337}{34,7217 - 30,5337} \right) * 100$$

$$\%C_s = 0,0931\%$$

Tabla 37-3: Cenizas Totales en caña

Muestra	Cenizas Totales (%)
1	0,0931
2	0,1014
3	0,1047
Promedio	0,0997

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.8.4.3 Acidez

Tabla 38-3: Datos para el cálculo de la acidez en guanábana

Muestra	M _m (g)	V _{NaOH} (ml)	C _{NaOH} (N)	M _{eq} (ác. málico)
1	25,0125	26,2	0,0998	0,067
2	25,0087	26,1		
3	25,0134	26,1		

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

- Cálculos para la acidez en guanábana

$$A = \frac{(C_{NaOH} * V_{NaOH} * M_{eq})}{M_m} * 100$$

$$A = \frac{(0,0998 * 2,2 * 0,067)}{25,0125} * 100$$

$$A = 0,7004$$

Tabla 39-3: Acidez en guanábana

Muestra	Acidez (%)
1	0,7004
2	0,6978
3	0,6977
Promedio	0,6987

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Tabla 40-3: Datos para el cálculo de la acidez en caña

Muestra	M _m (g)	V _{NaOH} (ml)	C _{NaOH} (N)	M _{eq} (ác. cítrico)
1	25,0251	7,0	0,0998	0,064
2	25,0123	6,8		
3	25,0098	6,8		

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

- Cálculos para la acidez en caña

$$A = \frac{(C_{NaOH} * V_{NaOH} * M_{eq})}{M_m} * 100$$

$$A = \frac{(0,0998 * 7 * 0,067)}{25,0251} * 100$$

$$A = 0,1787$$

Tabla 41-3: Acidez en caña

Muestra	Acidez (%)
1	0,1787
2	0,1736
3	0,1737
Promedio	0,1753

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.8.4.4 pH, índice de refracción, °brix y temperatura

Tabla 42-3: Datos de las diferentes características que poseen las materias primas

Muestra	pH	IR	°Bx	Temp. (°C)
Guanábana	3,19	1,3526	13,08	20
Caña	4,37	1,3599	17,66	20

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.8.4.5 Densidad

Tabla 43-3: Datos para el cálculo de la densidad en guanábana

Muestra	V _p (ml)	P ₁ (g)	P ₂ (g)
1	10	16,6201	27,2022
			27,1254
			27,1741

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

- Cálculos para la densidad en guanábana

$$\rho = \frac{P_2 - P_1}{V_p}$$

$$\rho = \frac{27,2022 \text{ g} - 16,6201 \text{ g}}{10 \text{ ml}}$$

$$\rho = 1,0582 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 1,0582 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

Tabla 36-3. Densidad en guanábana

Muestra	ρ (g/ml)
1	1,0582
2	1,0505
3	1,0554
Promedio	1,0547

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Tabla 44-3: Datos para el cálculo de la densidad en caña

Muestra	V _p (ml)	P ₁ (g)	P ₂ (g)
1	10	14,6012	26,9145
			26,9293
			27,9198

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

- Cálculos para la densidad en caña

$$\rho = \frac{P_2 - P_1}{V_p}$$
$$\rho = \frac{26,9145 \text{ g} - 14,6012 \text{ g}}{10 \text{ ml}}$$
$$\rho = 1,2313 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 1,2313 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

Tabla 45-3: Densidad en caña

Muestra	ρ (g/ml)
1	1,2313
2	1,2328
3	1,3319
Promedio	1,2653

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.8.5 Datos de la fermentación

3.8.5.1 Densidad del jugo de fruta mezcla previo a la fermentación

Tabla 46-3: Datos para el cálculo de la densidad del jugo de frutas

Muestra	V _p (ml)	P ₁ (g)	P ₂ (g)
1	10	14,6157	26,2245
			26,2193
			26,2225

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

- Cálculos para la densidad en el jugo de fruta antes de su fermentación

$$\rho = \frac{P_2 - P_1}{V_p}$$
$$\rho = \frac{26,2245 \text{ g} - 14,6157 \text{ g}}{10 \text{ ml}}$$
$$\rho = 1,1606 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 1,1606 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

Tabla 47-3: Densidad en el judo de frutas

Muestra	ρ (g/ml)
1	1,1609
2	1,1604
3	1,1607
Promedio	1,1606

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.8.5.2 Niveles de °brix con respecto al pH y Gay-Lussac en el fermento

Tabla 48-3: Datos obtenidos de pruebas realizados al fermento.

Tiempo (h)	pH	°Bx	I.R.	Temp. (°C)	°GL
2	3,867	15,37	1,3562	20	0,0
4	3,859	15,25	1,3560	20	0,1
6	3,853	15,15	1,3559	20	0,2
8	3,845	15,04	1,3557	20	0,4
24	3,798	14,33	1,3546	20	1,2
26	3,785	14,14	1,3543	20	1,4
28	3,775	13,96	1,3540	20	1,7
30	3,761	13,75	1,3537	20	2,0
46	3,727	13,26	1,3529	20	2,6
48	3,712	13,03	1,3525	20	2,9
50	3,683	12,58	1,3518	20	3,5
52	3,660	12,25	1,3513	20	3,9
68	3,604	11,40	1,3500	20	4,9
70	3,580	11,04	1,3494	20	5,3
72	3,552	10,62	1,3487	20	5,9
74	3,534	10,33	1,3483	20	6,2
90	3,365	7,79	1,3444	20	9,4
92	3,271	5,51	1,3410	20	12,1
94	3,140	4,07	1,3389	20	14,0
96	3,062	3,22	1,3376	20	15,0

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

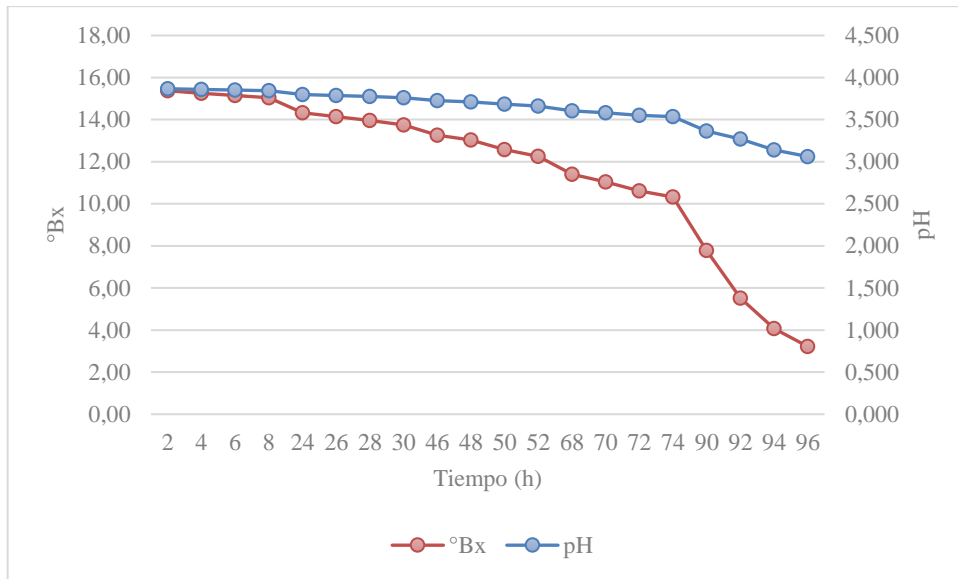


Ilustración 10-3: Niveles de °brix y pH de pruebas realizadas al fermento
Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

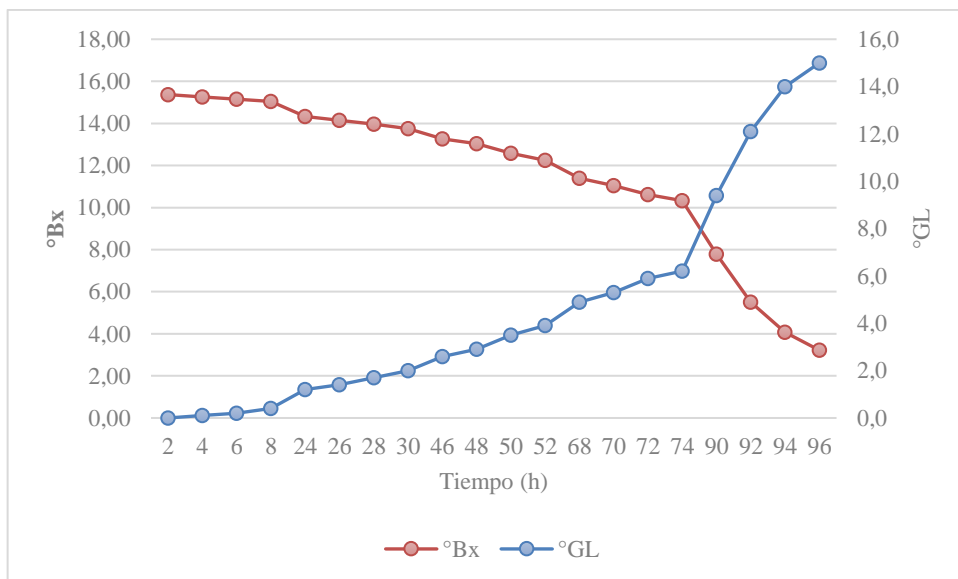


Ilustración 11-3: Niveles de °brix y Gay-Lussac de pruebas realizadas al fermento
Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.9 Balance de masa y energía

3.9.1 Balance de masa

La Ley de Conservación de la Materia rige el equilibrio de la materia. Es así que se realiza un balance de masa de como el jugo de fruta mezcla se transformó en etanol.

La siguiente es la fórmula para el balance de materia:

Entrada = Salida

3.9.1.1 Lavado

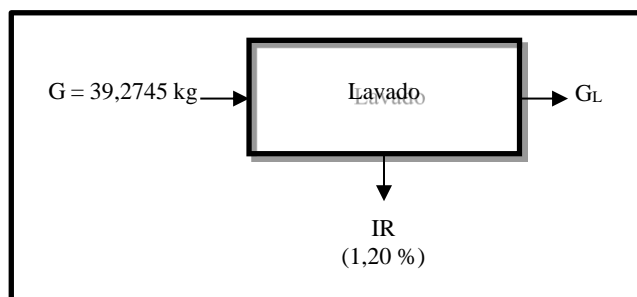


Ilustración 12-3: Balance de Masa Lavado

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

$$G = \frac{\% IR}{100} * G + G_L$$

Donde:

G = Guanábana que ingresa a ser lavada (Kg)

G_L = Guanábana limpia (Kg)

IR = Impurezas removidas en el lavado

$$G_L = G - \frac{\% IR}{100} * G$$

$$G_L = 39,2745 \text{ kg} - \frac{1,20}{100} * 39,2745 \text{ kg}$$

$$G_L = 39,2745 \text{ kg} - 0,4713 \text{ kg}$$

$$G_L = 38,8032 \text{ kg}$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{G_L}{G} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{38,8032 \text{ kg}}{39,2745 \text{ kg}} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 98,80 \%$$

El 1,20% de las impurezas removidas es eliminada durante el proceso de lavado, el rendimiento es del 98,80%. El corte se hizo para facilitar el despulpado y el triturado, el balance de masa de la guanábana lavada se mantiene igual.

3.9.1.2 Despulpado

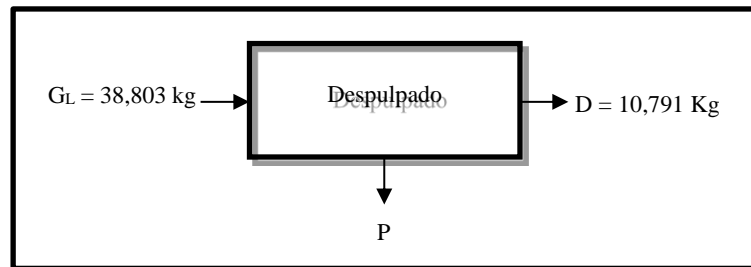


Ilustración 13-3: Balance de Masa Despulpado

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

$$G_L = P + D$$

Donde:

G_L = Guanábana limpia (Kg)

P = Cantidad de guanábana despulpada (Kg)

D = Desperdicios removido en el despulpado (Kg)

$$P = G_L - D$$

$$P = 38,803 \text{ kg} - 10,791 \text{ Kg}$$

$$P = 28,012 \text{ kg}$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{P}{G_L} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{28,012 \text{ kg}}{38,803 \text{ kg}} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 72,19 \%$$

El rendimiento del proceso de despulpado de guanábana es del 72,19%, produciéndose 28,01 kg de pulpa y retirando 10,79 kg de desperdicios (cáscara y semilla).

3.9.1.3 Triturado

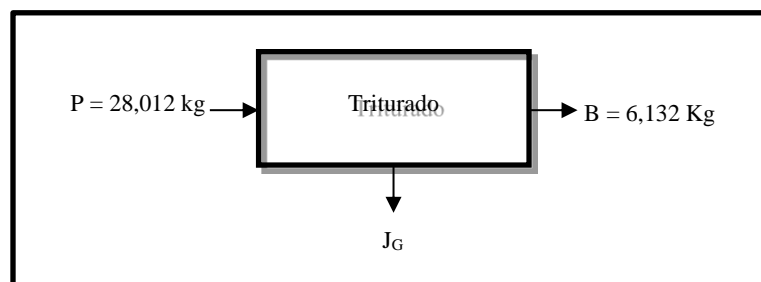


Ilustración 14-3: Balance de Masa Triturado

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

$$P = J_G + B$$

Donde:

P = Cantidad de guanábana despulpada (Kg)

J_G = Jugo de guanábana (Kg)

B = Bagazo removido del jugo de guanábana (Kg)

$$J_G = P - B$$

$$J_G = 28,012 \text{ kg} - 6,132 \text{ Kg}$$

$$J_G = 21,880 \text{ kg}$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{J_G}{P} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{21,880 \text{ kg}}{28,012 \text{ kg}} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 78,11 \%$$

El proceso de trituración nos da un rendimiento del 78,11% para la elaboración de jugo de guanábana. El bagazo tiene un rendimiento de 21,89%, al cual se le podría dar un segundo uso de acuerdo con las disposiciones de la empresa.

3.9.1.4 Filtrado

El jugo de caña y la guanábana entran en este procedimiento para ser filtrados por separado.

Cálculos para el jugo de guanábana

$$V_{JG} = \frac{J_G}{\rho_{JG}}$$

Donde:

V_{JG} = Volumen de jugo de guanábana (L)

J_G = Jugo de guanábana (Kg)

ρ_{JG} = Densidad del jugo de guanábana (Kg)

$$V_{JG} = \frac{21,880 \text{ kg}}{1,0547 \frac{\text{kg}}{\text{L}}}$$

$$V_{JG} = 20,745 \text{ L}$$

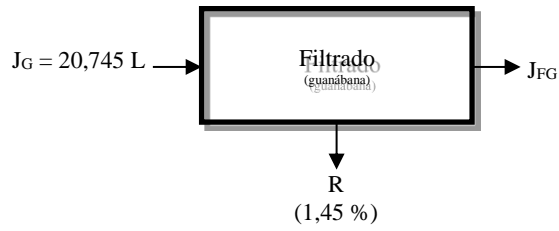


Ilustración 15-3: Balance de Masa Filtrado (guanábana)

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

$$J_G = J_{FG} + \frac{\% R}{100} * J_G$$

Donde:

J_G = Cantidad de jugo de guanábana (L)

J_{FG} = Jugo de guanábana filtrado (L)

R = Residuos sepados en el filtrado de jugo de guanábana

$$J_{FG} = J_G - \frac{\% R}{100} * J_G$$

$$J_{FG} = 20,745 L - \frac{1,4510}{100} * 20,745 L$$

$$J_{FG} = 20,745 L - 0,301 L$$

$$J_{FG} = 20,444 L$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{J_{FG}}{J_G} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{20,444 L}{20,745 L} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 98,55 \%$$

El jugo de guanaba ha tenido un 1,45% de impurezas o residuos eliminados a lo largo de todo el proceso de filtrado.

Cálculos para el jugo de caña azucarera

$$V_{JC} = \frac{J_C}{\rho_{JC}}$$

$$V_{JC} = \frac{12,7901 \text{ kg}}{1,2653 \frac{\text{kg}}{\text{L}}}$$

$$V_{JG} = 10,1083 L$$

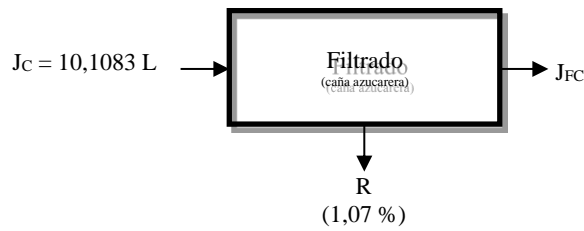


Ilustración 16-3: Balance de Masa Filtrado (Caña azucarera)

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

$$J_C = J_{FC} + \frac{\% R}{100} * J_C$$

Donde:

J_C = Cantidad de jugo de caña azucarera (L)

J_{FC} = Jugo de caña azucarera filtrado (L)

R = Residuos sepados en el filtrado de jugo de caña azucarera

$$J_{FC} = J_C - \frac{\% R}{100} * J_C$$

$$J_{FC} = 10,1083 L - \frac{1,0717}{100} * 10,1083 L$$

$$J_{FC} = 10,1083 L - 0,1083 L$$

$$J_{FC} = 10,0 L$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{J_{FC}}{J_C} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{10,0 L}{10,1083 \text{ kg}} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 98,93 \%$$

El jugo de caña azucarera ha tenido un 1,07% de impurezas o residuos eliminados a lo largo de todo el proceso de filtrado.

3.9.1.5 Fermentación

Para este procedimiento se mezclan 20,6 L de jugo de guanábana y 10 L de jugo de caña azucarera. El azúcar del jugo de fruta mezcla se convirtió durante los procesos fermentativos en alcohol y CO₂ como elemento residual.

$$J_M = J_{FG} + J_{FC}$$

Donde:

$J_M =$ Cantidad de jugo de fruta mezcla (L)

$J_{FG} =$ Jugo de guanábana filtrado (L)

$J_{FC} =$ Jugo de caña azucarera filtrado (L)

$$J_M = 20,44 \text{ L} + 10,0 \text{ L}$$

$$J_M = 30,44 \text{ L}$$

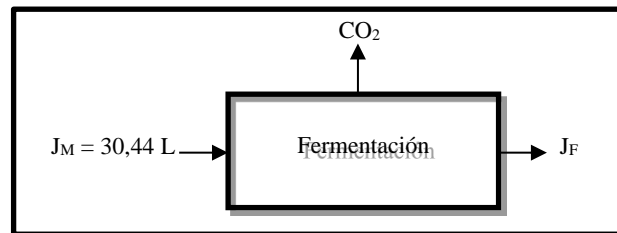


Ilustración 17-3: Balance de Masa Fermentación

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

$$J_M = J_F + \text{CO}_2$$

Donde:

$J_M =$ Cantidad de jugo de fruta mezcla (L)

$J_F =$ Cantidad de jugo fermentado (L)

$\text{CO}_2 =$ Dioxido de carbono residual del fermento (L)

$$\text{CO}_2 = J_M - J_F$$

$$\text{CO}_2 = 30,44 \text{ L} - 29,68 \text{ L}$$

$$\text{CO}_2 = 0,76 \text{ L}$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{J_F}{J_M} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{29,68 \text{ L}}{30,44 \text{ L}} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 97,50 \%$$

El jugo fermentado de frutas mezcla tiene un rendimiento de 97.50% y un contenido alcohólico de 15 °GL. Durante los procesos fermentativos, se crea dióxido de carbono igual a un 2,50%.

3.9.1.6 Destilación

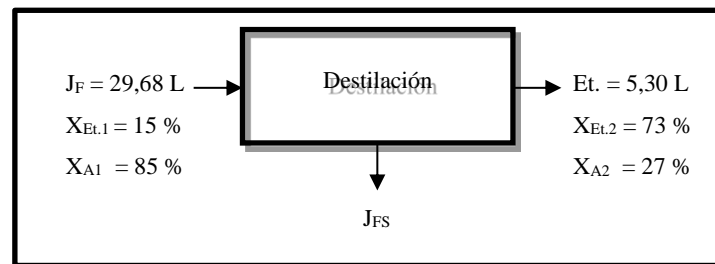


Ilustración 18-3: Balance de Masa Destilación

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

$$J_F = J_{FS} + Et.$$

Donde:

J_F = Cantidad de jugo fermentado (L)

J_{FS} = Cantidad de jugo fermentado sobrante (L)

$Et.$ = Cantidad de alcohol etílico destilado (L)

$$J_{FS} = J_F - Et.$$

$$J_{FS} = 29,68 \text{ L} - 5,30 \text{ L}$$

$$J_{FS} = 24,38 \text{ L}$$

- Balance del alcohol etílico en el fermento residual

$$X_{Et.1} * J_F = X_{Et.2} * Et. + X_{Et.} * J_{FS}$$

Donde:

$X_{Et.1}$ = Fracción masica del alcohol etílico en el jugo fermentado

J_F = Cantidad de jugo fermentado (L)

$X_{Et.2}$ = Fracción masica del alcohol etílico en el destilado

$Et.$ = Cantidad de alcohol etílico destilado (L)

$X_{Et.}$ = Fracción masica del alcohol etílico en el fermento residual

J_{FS} = Cantidad de jugo fermentado residual (L)

$$X_{Et.} = \frac{X_{Et.1} * J_F - X_{Et.2} * Et.}{J_{FS}}$$

$$X_{Et.} = \frac{0,15 * 29,68 \text{ L} - 0,73 * 5,30 \text{ L}}{24,38 \text{ L}}$$

$$X_{Et.} = 0,0239$$

$$X_{Et.} = 2,39 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{Et.}{J_F} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{5,30 \text{ L}}{29,68 \text{ L}} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 17,86 \%$$

El rendimiento del proceso de destilación, que es del 17,86%, es bajo debido a la concentración de alcohol del fermento de 15 °GL. El jugo tiene una concentración residual de 2.39 °GL debido al equipo, esta cantidad queda en el fermento residual.

3.9.1.7 Rectificado

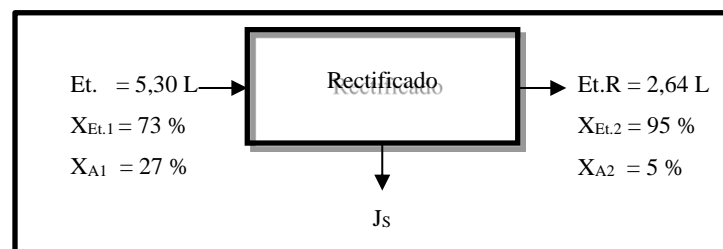


Ilustración 19-3: Balance de Masa Rectificado

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

$$Et. = J_s + Et. R$$

Donde:

$Et.$ = Cantidad de alcohol étílico destilado (L)

J_s = Alcohol étílico residual (L)

$Et. R$ = Cantidad de alcohol étílico rectificado (L)

$$J_s = Et. - Et. R$$

$$J_s = 5,30 \text{ L} - 2,66$$

$$J_s = 2,64 \text{ L}$$

- Balance del alcohol étílico en el residuo alcohólico

$$X_{Et.1} * Et. = X_{Et.2} * Et. R + X_{Et.} * J_s$$

Donde:

$X_{Et.1}$ = Fracción masica del alcohol étílico destilado

$Et.$ = Cantidad de alcohol étílico destilado (L)

$X_{Et.2}$ = Fracción masica del alcohol étílico rectificado

$Et. R$ = Cantidad de alcohol étílico rectificado (L)

$X_{Et.}$ = Fracción masica del alcohol étílico residual

$J_s =$ Cantidad de jugo fermentado residual (L)

$$X_{Et.} = \frac{X_{Et.1} * Et. - X_{Et.2} * Et. R}{J_s}$$
$$X_{Et.} = \frac{0,75 * 5,30 L - 0,95 * 2,65 L}{2,65 L}$$
$$X_{E3} = 0,55$$
$$X_{E3} = 55 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{Et. R}{Et.} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{2,65 L}{5,30 L} * 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 50 \%$$

El rendimiento del método de destilación de la rectificación es del 50%. El concentrado contiene 55 °GL en los residuos alcohólicos.

3.9.1.8 Rendimiento de la pulpa de guanábana y jugo de caña para la obtención de la bebida alcohólica

$$\%R_{global} = \frac{\text{materia saliente}}{\text{materia entrante}} * 100\%$$

$$\%R_{global} = \frac{2,65 L}{47,33 L} * 100\%$$

$$\%R_{global} = 5,60 \%$$

Para este rendimiento se toma la sumatoria de materia prima 39,27 kg de guanábana y 10,11 L de jugo de caña. Los procesos de transformación por los que pasan las materias primas para producir alcohol dan como resultado un bajo porcentaje de rendimiento.

3.9.2 Balance de energía

Por su importancia en la comprensión de la transición energética y sus componentes, los procesos de destilación y rectificación se utilizarán para los balances de energía.

3.9.2.1 Datos para el balance de energía

Las entalpías no se pueden estimar directamente para el balance de energía, por lo que se necesitan datos experimentales basados en el modelado de procesos utilizando paquetes termodinámicos de mezclas multicomponentes. La investigación de Pérez, et al. (2010, p. 12) contiene las entalpías de las diferentes mezclas de etanol-agua que se puede encontrar por interpolación de datos.

Tabla 49-3: Entalpías de los diferentes procesos en función de la fracción másica de etanol-agua

Fase del alcohol	Proceso	Simbología	Fracción Et.-H ₂ O	Ĥ (kJ/kg)
Líquido saturado	Jugo fermentado	J _F	0,1500	350
	Jugo fermentado residual	J _{FS}	0,0239	420
	Alcohol etílico destilado	Et.	0,7300	240
	Alcohol etílico rectificado	Et. R	0,9500	220
	Alcohol residual	J _s	0,5500	260

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

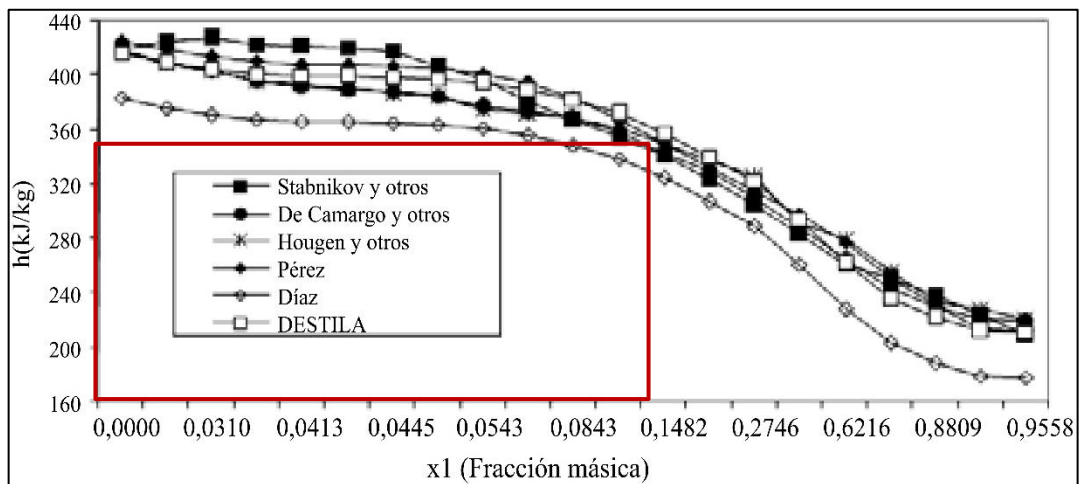


Ilustración 20-3: Entalpías para líquido saturado de Etanol-Agua

Fuente: (Pérez, et al. 2010, p. 12)

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Tabla 50-3: Entalpías de calor residual en el condensado en función de la fracción másica de etanol-agua

Fase del alcohol	Proceso	Simbología	Fracción Et.-H ₂ O	Ĥ (kJ/kg)
Vapor saturado	Destilación	Et.	0,7300	1500
	Rectificación	Et. R	0,9500	1200

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

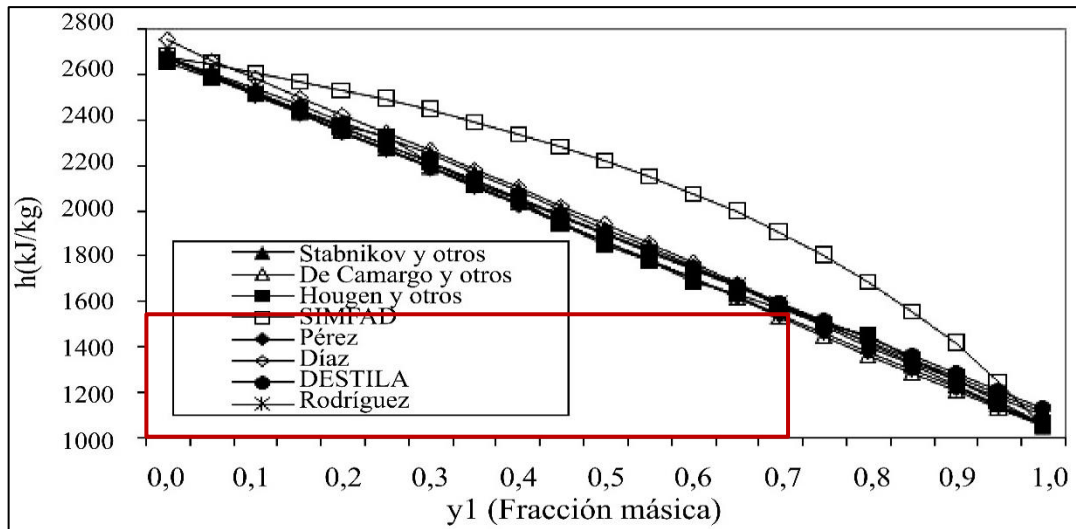


Ilustración 21-3: Entalpías para vapor saturado de Etanol-Agua

Fuente: (Pérez, et al. 2010, p. 12)

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

La densidad del jugo de fruta mezcla y alcohol etílico, junto con un período de uso de 8 horas, se tomaron en consideración para los flujos másicos que se muestran en los cálculos. $\rho_{JF}=1,1606\text{kg/L}$ y $\rho_{\text{etanol}}=0,789\text{kg/L}$.

$$\dot{m} = \frac{\text{Vol.} * \rho}{\text{Tiemp.}}$$

Donde:

\dot{m} = Flujo molar del proceso (kg/h)

Vol. = Volumen del proceso (L)

\dot{H} = Entalpía del proceso (kJ/kg)

Tiemp = Tiempo requerido (h)

$$\dot{m}_{JF} = \frac{29,68 \text{ L} * 1,1606 \frac{\text{kg}}{\text{L}}}{8 \text{ h}}$$

$$\dot{m}_{JF} = 4,31 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Tabla 51-3: Entalpías de calor residual en el condensado en función de la fracción másica de etanol-agua

Proceso	Simbología	Vol. (L)	\dot{m} (kg/h)
Jugo fermentado	J _F	29,68	4,31
Jugo fermentado residual	J _{FS}	24,38	3,54
Alcohol etílico destilado	Et.	5,30	0,52
Alcohol etílico rectificado	Et.R	2,64	0,26
Alcohol residual	J _S	2,64	0,26

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.9.2.2 Balance de energía para la destilación de la bebida alcohólica

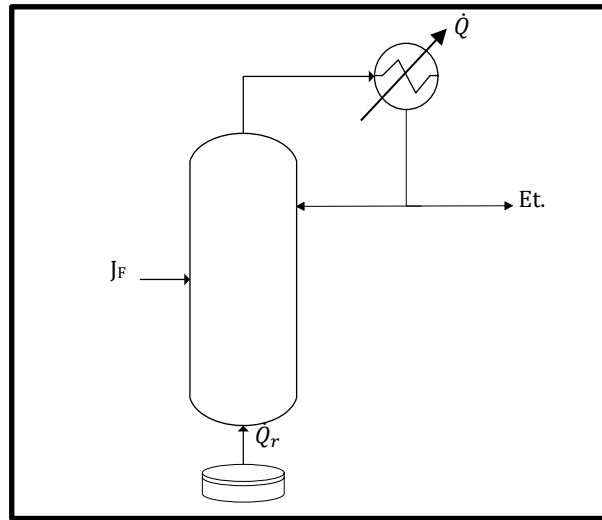


Ilustración 22-3: Balance de Energía Destilación

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

$$\dot{Q} = \dot{m} * \dot{H}$$

Donde:

\dot{Q} = Calor de la destilación (kJ/kg)

\dot{m} = Flujo molar de la destilación (kg/h)

\dot{H} = Entalpía de la destilación (kJ/kg)

$$\dot{Q} = 0,52 \frac{kg}{h} * 1500 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{Q} = 780 \frac{kJ}{h}$$

Haciendo el balance global de energía se tiene:

$$J_F * \dot{h}_{JF} + \dot{Q}_r = Et.* \dot{h}_{Et.} + J_{FS} * \dot{h}_{JFS} + \dot{Q}$$

Donde:

J_F = Flujo molar del jugo fermentado (kg/h)

\dot{h}_{JF} = Entalpía del jugo fermentado (kJ/kg)

\dot{Q}_r = Calor requerido para el proceso de destilación (kJ/kg)

$Et.$ = Flujo molar del alcohol etílico destilado (kg/h)

$\dot{h}_{Et.}$ = Entalpía del alcohol etílico destilado (kJ/kg)

J_{FS} = Flujo molar del jugo fermentado residual (kg/h)

h_{JFS} = Entalpía del jugo fermentado residual (kJ/kg)

\dot{Q} = Calor de la destilación (kJ/kg)

$$4,31 \frac{kg}{h} * 350 \frac{kJ}{kg} + \dot{Q}_r = 0,52 \frac{kg}{h} * 240 \frac{kJ}{kg} + 3,54 \frac{kg}{h} * 420 \frac{kJ}{kg} + 780 \frac{kJ}{h}$$
$$1508,50 \frac{kJ}{h} + \dot{Q}_r = 124,80 \frac{kJ}{h} + 1486,80 \frac{kJ}{h} + 780 \frac{kJ}{h}$$
$$\dot{Q}_r = 883,10 \frac{kJ}{h}$$

3.9.2.3 Balance de energía para la rectificación de la bebida alcohólica

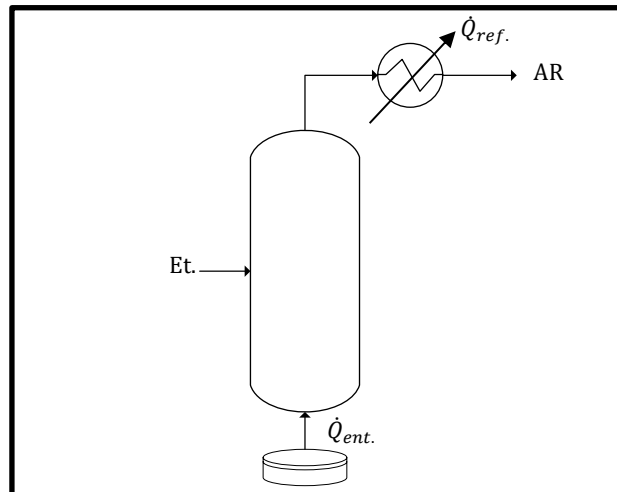


Ilustración 23-3: Balance de Energía Rectificación

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

$$\dot{Q}_{ref} = \dot{m} * \dot{H}$$

Donde:

\dot{Q}_{ref} = Calor de la rectificación (kJ/kg)

\dot{m} = Flujo molar de la rectificación (kg/h)

\dot{H} = Entalpía de la rectificación (kJ/kg)

$$\dot{Q}_{ref} = 0,26 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 1200 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_{ref} = 312 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Haciendo el balance global de energía se tiene:

$$Et.* \dot{h}_{Et.} + \dot{Q}_{ent} = Et.R * \dot{h}_{Et.R} + J_s * \dot{h}_{J_s} + \dot{Q}_{ref}$$

Donde:

Et. = Flujo molar del alcohol etílico destilado (kg/h)

$\dot{h}_{Et.}$ = Entalpía del alcohol etílico destilado (kJ/kg)

\dot{Q}_{ent} = Calor requerido para el proceso de rectificación (kJ/kg)

Et. R = Flujo molar del alcohol etílico rectificado (kg/h)

$\dot{h}_{Et.R}$ = Entalpía del alcohol etílico rectificado (kJ/kg)

J_s = Flujo molar del alcohol etílico residual (kg/h)

\dot{h}_{J_s} = Entalpía del alcohol etílico residual (kJ/kg)

\dot{Q}_{ref} = Calor de la rectificación (kJ/kg)

$$0,52 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 240 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + Q_{ent} = 0,26 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 220 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 0,26 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 312 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$124,80 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + Q_{ent} = 57,20 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 67,60 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 312 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$Q_{ent} = 320 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

3.10 Diseño de ingeniería

3.10.1 Diseño para el contenedor de recepción y lavado de guanana

3.10.1.1 Volumen de guanábana requerido para el proceso.

Para generar ventas, la empresa tiene que fabricar 100 L de la bebida alcohólica por día. En el proceso, la guanábana y caña constituyen el 78,65% y 21,35% respectivamente en el jugo de fruta mezcla. El contenedor de recepción y lavado está destinado únicamente para la guanábana.

$$Cantidad = \frac{C_{Alcohol}}{\%R_{global}} * 100\%$$

$$Cantidad = \frac{100 \text{ L}}{5,60 \%} * 100\%$$

$$Cantidad = 1785,71 L$$

$$V_{guanábana} = 1785,71 L * 0,7865$$

$$V_{guanábana} = 1404,46 L$$

3.10.1.2 Cantidad de guanábana a utilizar en el lavado

$$C_{guanábana} = V_{guanábana} * \rho_{guanábana}$$

$$C_{guanábana} = 1404,46 L * 1,0547 kg/L$$

$$C_{guanábana} = 1481,28 Kg$$

$$V_{guanábana} = \frac{C_{guanábana}}{\rho_{guanábana}}$$

$$V_{guanábana} = \frac{1481,28 Kg}{1,0547 kg/L} = 1404,46L$$

3.10.1.3 Volumen de agua necesario para el lavado

$$V_{agua} = C_{agua} * C_{guanábana}$$

$$V_{agua} = \frac{0,41 L}{2,43 kg} * 1481,28 Kg$$

$$V_{agua} = 249,93 L$$

3.10.1.4 Volumen total para la carga de guanábana

$$V_{Total} = V_{guanábana} + V_{agua}$$

$$V_{Total} = 1404,46 L + 249,93 L$$

$$V_{Total} = 1654,39 L$$

3.10.1.5 Volumen del contenedor

Se considera para el volumen del contenedor el factor de seguridad del 15%.

$$V_{con.} = V_{Total} * fs$$

$$V_{con.} = 1654,39 L * 1,15\%$$

$$V_{con.} = 1902,55 L$$

$$V_{con.} = 1,90 m^3$$

3.10.1.6 Altura para el contenedor de recepción y lavado

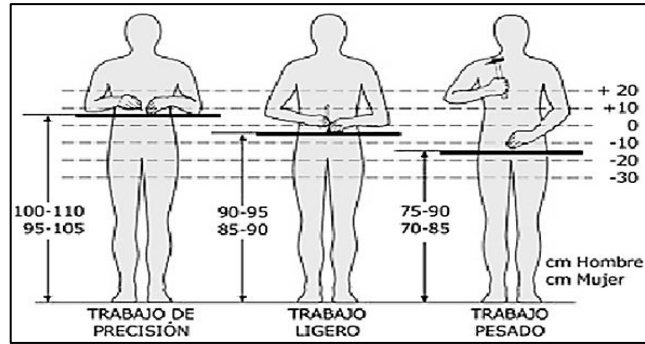


Ilustración 24-3: Altura para contenedor de recepción y lavado

Fuente: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria 2022, p.2,

Según la ergonomía para trabajos pesados de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (2022, p.2), el trabajo que se realiza sobre el contenedor de recepción y lavado es pesado y se especifica a una altura entre 70 y 90 cm y con una profundidad de 0 a 30 cm como se muestra en la Figura 10-3.

3.10.1.7 Área superficial y perímetro del contenedor de recepción y lavado

Para reducir las medidas con respecto al volumen del contenedor el proceso de lavado se realizará en dos partes por lo que el volumen del contenedor será 0,95 m³.

$$A_{con.lav} = \frac{V \text{ contenedor}}{h \text{ profundidad}}$$

$$A_{con.lav} = \frac{0,95 \text{ m}^3}{0,30 \text{ m}}$$

$$A_{con.lav} = 3,17 \text{ m}^2$$

El área superficial de mi contenedor de recepción y lavado es rectangular

$$A_{con.lav} = x * y$$

Donde:

x = es el ancho del contenedor de recepción y lavado

y = es el largo del contenedor de recepción y lavado

$$x = \frac{A_{con.lav.}}{y}$$

$$x = \frac{3,17 \text{ m}^2}{y}$$

El área de un sitio debe ser lo más pequeña posible para que se utilice de manera efectiva. Esto sugiere que el perímetro de la estructura también debería ser lo más pequeño posible. Por lo tanto, tenemos:

$$\begin{aligned}
 P_{con.lav.} &= 2x + 2y \\
 P_{con.lav} &= 2 * \left(\frac{3,17 \text{ m}^2}{y} \right) + 2y \\
 P_{con.lav} &= \left(\frac{6,33 \text{ m}^2}{y} \right) + 2y \\
 P'_{con.lav} &= - \left(\frac{6,33 \text{ m}^2}{y} \right) + 2y \\
 0 &= \frac{-6,33 \text{ m}^2 + 2y^2}{y} \\
 -6,33 \text{ m}^2 + 2y^2 &= 0 \\
 y &= 1,78 \text{ m} \\
 \\ \\
 x &= \frac{3,17 \text{ m}^2}{1,78 \text{ m}} \\
 x &= 1,78 \text{ m}
 \end{aligned}$$

El contenedor de recepción y lavado tendrán la misma longitud y anchura de 1,78m; con 0,30m de altura. En el cual se lavan 1481,28 Kg de guanábana en dos lavados, es decir 720,64 Kg por lavado.

3.10.1.8 *Calculo para la cantidad de guanábana al finalizar el lavado en el contenedor*

$$\begin{aligned}
 C_{guanábana \text{ lavada}} &= \frac{\% R_{lavado} * C_{guanábana}}{100} \\
 C_{guanábana \text{ lavada}} &= \frac{98,80 * 1481,28 \text{ Kg}}{100} \\
 C_{guanábana \text{ lavada}} &= 1463,50 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Con base en el rendimiento experimental de 98.80%, la cantidad requerida de guanábana es de 1463,50 Kg.

3.10.2 *Diseño de la despulpadora*

No hay ecuaciones disponibles para este equipo que ayuden en su diseño. Se ha buscado un equipo que sea beneficioso y ayude con este proceso

Tabla 52-3: Características de una despulpadora de guanábana

Detalles	Equipos
Fabricante	AISI 304
Modelo	DN 50
Poder	3 HP
Voltaje	110 - 220V
Material	Acero inoxidable
Precio	\$ 1990,00

Fuente: Zumec 2023, p. 1.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.10.2.1 Cálculo para la cantidad de jugo de guanábana

$$J_{guanábana} = \frac{\% R_{despulpado} * C_{guanábana}}{100}$$

$$J_{guanábana} = \frac{72,19 \% * 1463,50 \text{ Kg}}{100}$$

$$J_{guanábana} = 1056,50 \text{ Kg}$$

$$J_{guanábana} = \frac{1056,50 \text{ Kg}}{1,0547 \text{ kg/L}}$$

$$J_{guanábana} = 1001,71 \text{ L}$$

Con base en el rendimiento experimental de 72,19%, la cantidad de jugo de guanábana es de 1001,71 L.

3.10.3 Diseño del filtrador

No hay ecuaciones disponibles para este equipo que ayuden en su diseño. Como resultado, se ha buscado la opción más rentable y efectiva para el proceso.

Tabla 53-3: Características de una despulpadora de guanábana

Detalles	Equipos
Fabricante	SERVIEC
Modelo	SVFE 500
Tamiz	1 mm
Poder	0,25 - 3 HP
Voltaje	110 - 220 V
Material	Acero inoxidable
Precio	\$ 1450,00

Fuente: Equipos para ingenios, 2023.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.10.3.1 Cálculo para la cantidad de jugo filtrado

$$FJ_{\text{guanábana}} = \frac{\% R_{\text{filtrado}} * C_{\text{guanábana}}}{100}$$

$$FJ_{\text{guanábana}} = \frac{98,55 \% * 1001,71 \text{ L}}{100}$$

$$FJ_{\text{guanábana}} = 987,19 \text{ L}$$

$$FJ_{\text{caña}} = \frac{\% R_{\text{filtrado}} * C_{\text{caña}}}{100}$$

$$FJ_{\text{caña}} = \frac{98,93 \% * 381,25 \text{ L}}{100}$$

$$FJ_{\text{caña}} = 377,17 \text{ L}$$

Con base en el rendimiento experimental de 98,55% la cantidad de jugo de guanábana filtrado es de 987,19 L y con base en el rendimiento experimental de 98,93% la cantidad de jugo de caña azucarera filtrada es de 377,17 L. El cual se mezcla en el proceso de fermentación teniendo 1364,36 L.

3.10.4 Diseño del fermentador

3.10.4.1 Diámetro total del fermentador

$$D_r = \sqrt[3]{\frac{4 * \text{Volumen}}{\pi}}$$

Donde:

D_r = Diámetro total del fermentador (m)

Volumen = Cantidad de jugo a fermentar (m^3)

$$D_r = \sqrt[3]{\frac{4 * 1,36 \text{ m}^3}{\pi}}$$

$$D_r = 1,20 \text{ m}$$

3.10.4.2 Altura del fermentador

$$h = D_r$$

$$h = 1,20 \text{ m}$$

Se utiliza el factor de seguridad de 15%

$$h_r = h + fs$$

Donde:

h = Altura del fermentador (m)

fs = Factor de seguridad

$$h_r = 1,20 \text{ m} + 1,15$$

$$h_r = 1,38 \text{ m}$$

3.10.4.3 Volumen máximo del fermentador

$$V_{m\acute{a}x} = \pi \left(\frac{D_r}{2} \right)^2 * h_r$$

Donde:

$V_{m\acute{a}x}$ = Volumen máximo del fermentador (m^3)

D_r = Diámetro total del fermentador (m)

h = Altura del fermentador (m)

$$V_{m\acute{a}x} = \pi \left(\frac{1,20 \text{ m}}{2} \right)^2 * 1,38 \text{ m}$$

$$V_{m\acute{a}x} = 1,56 \text{ m}^3$$

3.10.4.4 Diámetro de las paletas de mezclado

$$D_a = \frac{D_r}{3}$$

Donde:

D_a = Diámetro de las paletas de mezclado (m)

D_r = Diámetro total del fermentador (m)

$$D_a = \frac{1,20 \text{ m}}{3}$$

$$D_a = 0,40 \text{ m}$$

3.10.4.5 Altura de las paletas desde el fondo del reactor

$$H = D_a$$

Donde:

H = Altura de las paletas desde el fondo del reactor (m)

D_a = Diámetro de las paletas de mezclado (m)

$$H = 0,40 \text{ m}$$

3.10.4.6 Ancho de las paletas

$$W = \frac{D_a}{5}$$

Donde:

W = Ancho de las paletas (m)

D_a = Diámetro de las paletas de mezclado (m)

$$W = \frac{0,40 \text{ m}}{5}$$

$$W = 0,08 \text{ m}$$

3.10.4.7 Largo de las paletas

$$L = \frac{D_a}{4}$$

Donde:

L = Largo de las paletas (m)

D_a = Diámetro de las paletas de mezclado (m)

$$L = \frac{0,40 \text{ m}}{4}$$

$$L = 0,10 \text{ m}$$

3.10.4.8 Longitud entre la pared del fermentador y los deflectores

$$\frac{J}{D_r} = \frac{1}{12}$$

Donde:

J = Longitud entre la pared del fermentador y los deflectores (m)

D_r = Diámetro total del fermentador (m)

$$J = \frac{1,20 \text{ m}}{12}$$

$$J = 0,10 \text{ m}$$

3.10.4.9 Diámetro de la chaqueta de calentamiento

$$D_c = D_r + 0,3 * D_r$$

Donde:

D_c = Diámetro de la chaqueta de calentamiento (m)

D_r = Diámetro total del fermentador (m)

$$D_c = 1,20 \text{ m} * 0,3 * 1,20 \text{ m}$$

$$D_c = 1,56 \text{ m}$$

3.10.4.10 Espesor de la cámara de calentamiento

$$E_c = \frac{D_c - D_r}{2}$$

Donde:

E_c = Espesor de la cámara de calentamiento (m)

D_c = Diámetro de la chaqueta de calentamiento (m)

D_r = Diámetro total del fermentador (m)

$$E_c = \frac{1,56 \text{ m} - 1,20 \text{ m}}{2}$$

$$E_c = 0,18 \text{ m}$$

3.10.4.11 Altura de la cámara de calentamiento

$$h_c = h_r + E_c$$

Donde:

h_c = Altura de la cámara de calentamiento (m)

h_r = Altura del fermentador (m)

E_c = Espesor de la cámara de calentamiento (m)

$$h_c = 1,38 \text{ m} + 0,18 \text{ m}$$

$$h_c = 1,56 \text{ m}$$

3.10.4.12 Cálculo del volumen total del fermentador

$$V_T = \pi \left(\frac{D_r}{2} \right)^2 * h_c$$

Donde:

V_T = Cálculo del volumen total del fermentador (m^3)

D_r = Diámetro total del fermentador (m)

h_c = Altura de la cámara de calentamiento (m)

$$V_T = \pi \left(\frac{1,20 \text{ m}}{2} \right)^2 * 1,56 \text{ m}$$

$$V_T = 1,76 \text{ m}^3$$

3.10.4.13 Cálculo del volumen de la cámara de calentamiento

$$V_c = V_T - V_{m\acute{a}x}$$

Donde:

V_c = Cálculo del volumen de la cámara de calentamiento (m^3)

V_T = Cálculo del volumen total del fermentador (m^3)

$V_{m\acute{a}x}$ = Volumen máximo del fermentador (m^3)

$$V_c = 1,76 \text{ m}^3 - 1,56 \text{ m}^3$$

$$V_c = 0,20 \text{ m}^3$$

3.10.4.14 Cálculo para la cantidad de jugo de fruta mezcla fermentado

$$JF = \frac{\% R_{\text{fermentación}} * FJ}{100}$$
$$JF = \frac{97,50 \% * 1364,36 L}{100}$$
$$JF = 1330,25 L$$

Con base en el rendimiento experimental de 97,50% la cantidad de jugo de fruta fermentado es de 1330,25 L.

3.10.5 Diseño para la columna de destilación

3.10.5.1 Cálculos e información requerida para la construcción de la columna de destilación

Fracción molar para la alimentación

En el jugo fermentado de fruta hay 15 °GL (15 ml/100 ml)

$$m_{\text{alcohol}} = \frac{0,15 \text{ ml C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1 \text{ ml mezcla}} * \frac{0,789 \text{ g C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1 \text{ ml C}_2\text{H}_5\text{OH}} * \frac{1 \text{ ml mezcla}}{1,1606 \text{ g mezcla}} = 0,102 \frac{\text{g C}_2\text{H}_5\text{OH}}{\text{g mezcla}}$$
$$m_{\text{agua}} = \frac{0,85 \text{ ml H}_2\text{O}}{1 \text{ ml mezcla}} * \frac{1 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ ml H}_2\text{O}} * \frac{1 \text{ ml mezcla}}{1,1606 \text{ g mezcla}} = 0,732 \frac{\text{g H}_2\text{O}}{\text{g mezcla}}$$

$$x_F = \frac{\frac{m_{\text{alcohol}}}{PM_{\text{etanol}}}}{\frac{m_{\text{alcohol}}}{PM_{\text{etanol}}} + \frac{m_{\text{agua}}}{PM_{\text{agua}}}}$$
$$x_F = \frac{\frac{0,102 \text{ g}}{46,07 \text{ g}}}{\frac{0,102 \text{ g}}{46,07 \text{ g}} + \frac{0,732 \text{ g}}{18,02 \text{ g}}}$$
$$x_F = 0,0517$$

Fracción molar para el destilado obtenido

En el proceso de destilación hay 73 °GL (73 ml/100 ml)

$$m_{\text{alcohol}} = \frac{0,73 \text{ ml C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1 \text{ ml mezcla}} * \frac{0,789 \text{ g C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1 \text{ ml C}_2\text{H}_5\text{OH}} * \frac{1 \text{ ml mezcla}}{1,1606 \text{ g mezcla}} = 0,496 \frac{\text{g C}_2\text{H}_5\text{OH}}{\text{g mezcla}}$$
$$m_{\text{agua}} = \frac{0,27 \text{ ml H}_2\text{O}}{1 \text{ ml mezcla}} * \frac{1 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ ml H}_2\text{O}} * \frac{1 \text{ ml mezcla}}{1,1606 \text{ g mezcla}} = 0,233 \frac{\text{g H}_2\text{O}}{\text{g mezcla}}$$

$$x_D = \frac{\frac{m_{\text{alcohol}}}{PM_{\text{etanol}}}}{\frac{m_{\text{alcohol}}}{PM_{\text{etanol}}} + \frac{m_{\text{agua}}}{PM_{\text{agua}}}}$$

$$x_D = \frac{\frac{0,496 \text{ g}}{46,07 \text{ g}}}{\frac{0,496 \text{ g}}{46,07 \text{ g}} + \frac{0,233 \text{ g}}{18,02 \text{ g}}}$$

$$x_D = 0,4543$$

La fracción molar del residuo alcohólico es 2,39 °GL (2,39 ml/100 ml)

$$m_{\text{alcohol}} = \frac{0,0239 \text{ ml C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1 \text{ ml mezcla}} * \frac{0,789 \text{ g C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1 \text{ ml C}_2\text{H}_5\text{OH}} * \frac{1 \text{ ml mezcla}}{1,1606 \text{ g mezcla}} = 0,0162 \frac{\text{g C}_2\text{H}_5\text{OH}}{\text{g mezcla}}$$

$$m_{\text{agua}} = \frac{0,9761 \text{ ml H}_2\text{O}}{1 \text{ ml mezcla}} * \frac{1 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ ml H}_2\text{O}} * \frac{1 \text{ ml mezcla}}{1,1606 \text{ g mezcla}} = 0,8410 \frac{\text{g H}_2\text{O}}{\text{g mezcla}}$$

$$x_w = \frac{\frac{m_{\text{alcohol}}}{PM_{\text{etanol}}}}{\frac{m_{\text{alcohol}}}{PM_{\text{etanol}}} + \frac{m_{\text{agua}}}{PM_{\text{agua}}}}$$

$$x_w = \frac{\frac{0,0162 \text{ g}}{46,07 \text{ g}}}{\frac{0,0162 \text{ g}}{46,07 \text{ g}} + \frac{0,8410 \text{ g}}{18,02 \text{ g}}}$$

$$x_w = 0,0075$$

Tabla 54-3: Datos de diseño para la columna de destilación

$\rho_{\text{etanol}} \left(\frac{\text{g}}{\text{ml}}\right)$	$PM_{\text{etanol}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{mol}}\right)$	$PM_{\text{agua}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{mol}}\right)$	$\sigma_{\text{etanol}} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}}\right)$	$T_{\text{mv}} (\text{°C})$	$P (\text{mmHg})$
0,789	46,07	18,02	20,60	95	760

Fuente: Chuquín, 2013, p. 153

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Donde:

ρ_{etanol} = Densidad de etanol (g/ml)

PM_{etanol} = Peso molecular del etanol (kg/mol)

PM_{agua} = Peso molecular del agua (kg/mol)

σ_{etanol} = Tensión superficial del etanol (N/m)

T_{mv} = Temperatura media de vapores (°C)

P = Presión absoluta media (mmHg)

Peso molecular del jugo de fruta mezcla fermentado

$$PM_{JF} = x_F * PM_{etanol} + (1 - x_F) * PM_{agua}$$

Donde:

PM_{JF} = Peso molecular del jugo de fruta (kg/mol)

x_F = Fracción molar de la alimentación

PM_{etanol} = Peso molecular del etanol (kg/mol)

PM_{agua} = Peso molecular del agua (kg/mol)

$$PM_{JF} = 0,0517 * 46,07 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} + (1 - 0,0517) * 18,02 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

$$PM_{JF} = 19,47 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

Flujo molar del jugo fermentado mezcla por hora

$$JF = \frac{JF_M * \rho_{JFM}}{\text{Tiemp.}}$$

Donde:

JF = Flujo molar del jugo fermentado mezcla (mol/h)

JF_M = Cantidad de jugo de fruta mezcla fermentado (L)

ρ_{JFM} = Densidad del jugo de fruta mezcla fermentado (kg/L)

Tiemp. = Tiempo requerido

$$JF = \frac{1330,25 \text{ L} * 1,1606 \frac{\text{kg}}{\text{L}}}{5,5\text{h}}$$

$$JF = 280,71 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1\text{mol}}{19,47\text{kg}}$$

$$JF = 14,42 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

Flujo molar del destilado por hora

$$ED = \frac{JF * (x_F - x_w)}{(x_D - x_w)}$$

Donde:

ED = Flujo molar del alcohol destilado (mol/h)

JF = Flujo molar del jugo fermentado mezcla (mol/h)

x_F = Fracción molar de la alimentación

x_D = Fracción molar del destilado

x_R = Fracción molar de los residuos

$$ED = \frac{14,42 \frac{\text{mol}}{\text{h}} * (0,0517 - 0,0075)}{(0,4543 - 0,0075)}$$

$$ED = 1,4249 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

$$JF = ED + JFS$$

Donde:

JF = Flujo molar del jugo fermentado mezcla (mol/h)

ED = Flujo molar del alcohol destilado (mol/h)

JFS = Flujo molar del jugo fermentado sobrante (mol/h)

$$JFS = 14,42 \frac{\text{mol}}{\text{h}} - 1,4249 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

$$JFS = 12,9951 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

Flujo molar del líquido de reflujo por hora

$$R = \frac{LR}{ED}$$

Donde:

R = Reflujo

LR = Flujo molar del líquido de reflujo (mol/h)

ED = Flujo molar del alcohol destilado (mol/h)

$$LR = 13,50 * 1,4249 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

$$LR = 19,2362 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

Flujo molar del vapor por hora

$$V = LR + ED$$

Donde:

V = Flujo molar del vapor (mol/h)

LR = Flujo molar del líquido de reflujo (mol/h)

ED = Flujo molar del alcohol destilado (mol/h)

$$V = 19,2362 \frac{\text{mol}}{\text{h}} + 1,4249 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

$$V = 20,6611 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

3.10.5.2 Condiciones de operación de la destilación

La destilación produjo 73 °GL. Comparativamente hablando con otras bibliografías, resulta ser un valor excepcional.

Tabla 55-3: Datos para el proceso de destilado

x_F	x_D	x_w	q	R_{\min}	R
0,0517	0,4543	0,0075	0,50	9,00	13,50

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Donde:

x_F = Fracción molar de etanol presente en el jugo de fruta mezcla para la alimentación

x_D = Fracción molar de etanol destilado

x_w = Fracción molar de etanol presente en los fondos de la columna

q = Cantidad de moles que fluyen en la sección de agotamiento

R_{\min} = Reflujo mínimo

R = Reflujo total

3.10.5.4. Datos para la construcción de la curva equilibrio

Partimos de la ecuación de la fracción molar en el vapor para volatilidad relativa $\alpha=2,35$

$$y = \frac{\alpha * x}{1 + x(\alpha - 1)}$$

$$y = \frac{2,35 * 0,05}{1 + 0,05(2,35 - 1)}$$

$$y = 0,1101$$

Tabla 56-3: Datos de la curva de equilibrio

x	y
0,0000	0,0000
0,0500	0,1101
0,1000	0,2070
0,1500	0,2931
0,2000	0,3701
0,2500	0,4393
0,3000	0,5018
0,3500	0,5586
0,4000	0,6104
0,4500	0,6579
0,5000	0,7015
0,5500	0,7418
0,6000	0,7790
0,6500	0,8136

0,7000	0,8458
0,7500	0,8758
0,8000	0,9038
0,8500	0,9302
0,9000	0,9549
0,9500	0,9781
1,0000	1,0000

Fuente: Valdeón, 2018, p. 1.

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Donde:

x = Fracción molar en el líquido

y = Fracción molar en el vapor

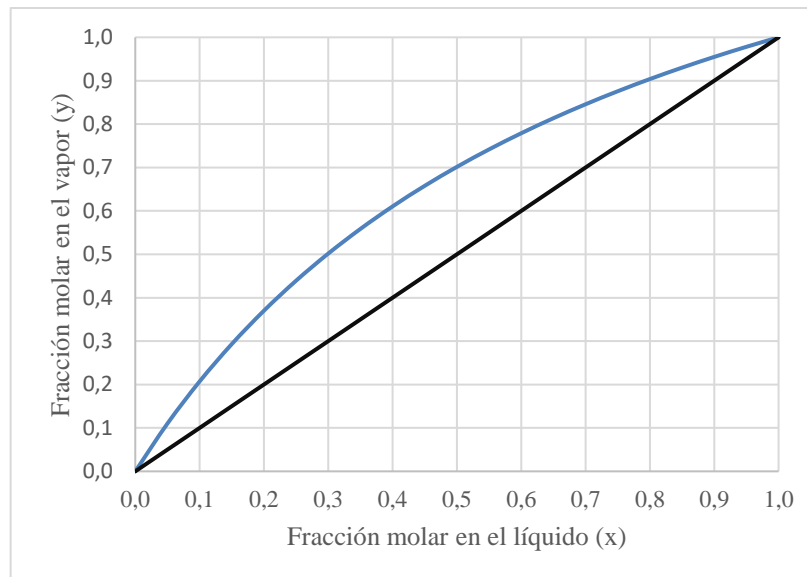


Ilustración 25-3: Curva de equilibrio de la mezcla etanol-agua

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.10.5.3 Cálculo para los puntos de intersección

$$y_{\text{int}} = \frac{R}{R+1}x_{\text{int}} + \frac{x_D}{R+1}$$

$$y_{\text{int}} = \frac{q}{q+1}x_{\text{int}} + \frac{x_F}{q+1}$$

Donde:

R = Reflujo

q = Cantidad de moles que fluyen en la sección de agotamiento

x_D = Fracción molar del alcohol etílico destilado

x_F = Fracción molar del alcohol etílico presente en el jugo de fruta mezcla para la alimentación

Realizamos la igualación de las ecuaciones

$$x_{\text{int}} = \frac{x_F * (R + 1) + x_D * (q - 1)}{q * (R + 1) - R * (q - 1)}$$

Realizamos un reemplazando en los datos

$$x_{\text{int}} = \frac{0,0517 * (13,50 + 1) + 0,4543 * (0,5 - 1)}{0,5 * (13,50 + 1) - 13,50 * (0,5 - 1)}$$

$$x_{\text{int}} = 0,0373$$

Cálculos para y de intersección

$$y_{\text{int}} = \frac{R}{R + 1} x_{\text{int}} + \frac{x_D}{R + 1}$$

Donde:

R = Reflujo

x_D = Fracción molar de alcohol etílico destilado

$$y_{\text{int}} = \frac{13,50}{13,50 + 1} * 0,0373 + \frac{0,4543}{13,50 + 1}$$

$$y_{\text{int}} = 0,0661$$

3.10.5.4 Cálculo para la recta operativa de enriquecimiento

A x se toma como x_D porque son los datos a los que requiere llegar. La otra x es la intersección anteriormente calculada.

$$y_{\text{enr}} = \frac{R}{R + 1} x_{\text{enr}} + \frac{x_D}{R + 1}$$

Donde:

R = Reflujo

x_D = Fracción molar de alcohol etílico destilado

$$y_{\text{enr}} = \frac{13,50}{13,50 + 1} * 0,4543 + \frac{0,4543}{13,50 + 1}$$

$$y_{\text{enr}} = 0,4543$$

Tabla 57-3: Datos para la recta operativa de enriquecimiento

x_{enr}	y_{enr}
0,4543	0,4543
0,0373	0,0661

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.10.5.5 Cálculo para la recta de alimentación

Dado que x_F es la fracción molar de la alimentación, se trata como x . La otra x es la intersección antes calculada.

$$y_{alim} = \frac{q}{q-1} x_{alim} - \frac{x_F}{q-1}$$

Donde:

q = Cantidad de moles que fluyen en la sección de agotamiento

x_F = Fracción molar de etanol presente en el jugo de fruta mezcla para la alimentación

$$y_{alim} = \frac{0,50}{0,50-1} 0,0517 - \frac{0,0517}{0,50-1}$$

$$y_{alim} = 0,0517$$

Tabla 58-3: Datos para la recta operativa de alimentación

x_{alim}	y_{alim}
0,0517	0,0517
0,0373	0,0661

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.10.5.6 Cálculo para la recta operativa de agotamiento

La intersección anterior calculada es la primera x . La x_w es la fracción molar de los fondos alcohólicos

$$y_{ago} = \frac{B}{B-1} * x_{ago} - \frac{x_B}{B-1}$$

$$B = \frac{y_{int} - x_w}{y_{int} - x_{int}}$$

Donde:

y_{int} = Puntos (y) de intersección

x_{int} = Puntos (x) de intersección

x_w = Fracción molar de etanol presente en los fondos de la columna

$$B = \frac{0,0661 - 0,0075}{0,0661 - 0,0373}$$

$$B = 2,0347$$

$$y_{ago} = \frac{B}{B-1} * x_{ago} - \frac{x_w}{B-1}$$

$$y_{ago} = \frac{2,0370}{2,0370 - 1} * 0,0373 - \frac{0,0075}{2,0370 - 1}$$

$$y_{ago} = 0,0661$$

Tabla 59-3: Datos para la recta operativa de agotamiento

x_{ago}	y_{ago}
0,0373	0,0661
0,0075	0,0075

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

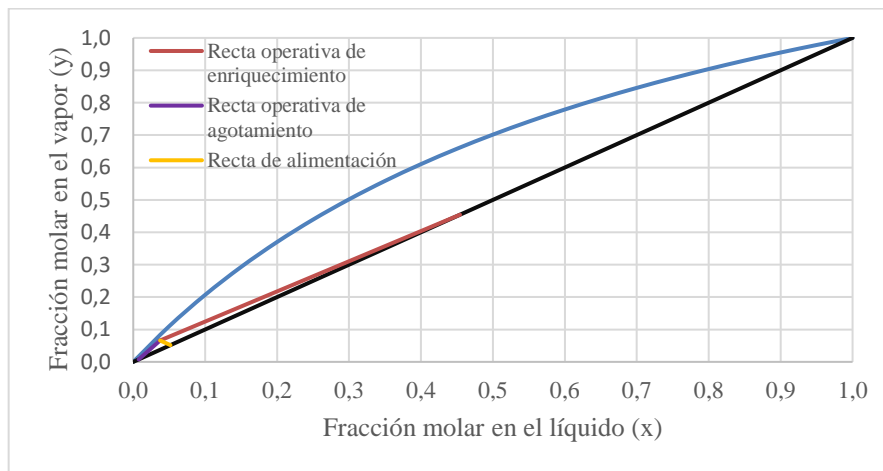


Ilustración 26-3: Curva de equilibrio con las diferentes rectas calculadas

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.10.5.7 Número de platos

Para encontrar los puntos con los que intercepta en la curva de equilibrio utilizamos la ecuación de pendiente de enriquecimiento y agotamiento, estos se tomarán para los valores en (y).

Ecuación de la recta de enriquecimiento

Coordenadas

$$A(0,4543; 0,4543)$$

$$B(0,0373; 0,0661)$$

Pendiente entre dos puntos

$$m_E = \frac{y_{E2} - y_{E1}}{x_{E2} - x_{E1}}$$

$$m_E = \frac{0,0661 - 0,4543}{0,0373 - 0,4543}$$

$$m_E = 0,9310$$

Ordenada con el origen

$$y_{E1} = m_{E1}x_{E1} + b_{E1}$$

$$b_{E1} = y_{E1} - m_{E1}x_{E1}$$

$$b_{E1} = 0,4543 - (0,9310 * 0,4543)$$

$$b_{E1} = 0,0313$$

Ecuación de la recta para el enriquecimiento

$$y_{E1} = 0,9310x_{E1} + 0,0313$$

Ecuación de la recta de agotamiento

Coordenadas

$$A(0,0373; 0,0661)$$

$$B(0,0075; 0,0075)$$

Pendiente entre dos puntos

$$m_A = \frac{y_{A2} - y_{A1}}{x_{A2} - x_{A1}}$$

$$m_A = \frac{0,0075 - 0,0661}{0,0075 - 0,0373}$$

$$m_A = 1,9643$$

Ordenada con el origen

$$y_{A1} = m_{A1}x_{A1} + b_{A1}$$

$$b_{A1} = y_{A1} - m_{A1}x_{A1}$$

$$b_{A1} = 0,0661 - (1,9643 * 0,0373)$$

$$b_{A1} = -0,0072$$

Ecuación de la recta para el agotamiento

$$y_{A1} = 1,9643x_{A1} - 0,0072$$

Datos de intersección con la curva de equilibrio en x

Para encontrar los valores en (x) se toma la ecuación de la fracción molar del líquido con respecto a la volatilidad relativa. El valor de la fracción molar del alcohol destilado se tomó como primeros datos de la tabla.

Volatilidad relativa $\alpha=2,35$

$$x = \frac{y}{\alpha - y(\alpha - 1)}$$

$$x = \frac{0,4543}{2,35 - 0,4543(2,35 - 1)}$$

$$x = 0,2616$$

Datos de intersección con la curva de equilibrio en y

$$y = mx + b$$

Intersección con la curva de equilibrio y la recta de enriquecimiento

$$y = 0,2616 * 0,9310 + 0,0313$$

$$y = 0,2749$$

Intersección con la curva de equilibrio y la recta de agotamiento

$$y = 1,9643 * 0,0329 - 0,0072$$

$$y = 0,0574$$

Tabla 60-3: Datos de intersección con la curva de equilibrio

x	y	Platos
0,4543	0,4543	1
0,2616	0,4543	
0,2616	0,2749	
0,1389	0,2749	2
0,1389	0,1607	
0,0753	0,1607	3
0,0753	0,1015	
0,0458	0,1015	4
0,0458	0,0740	
0,0329	0,0740	5
0,0329	0,0574	
0,0252	0,0574	6
0,0252	0,0424	
0,0185	0,0424	7
0,0185	0,0291	
0,0126	0,0291	8
0,0126	0,0175	
0,0075	0,0175	9
0,0075	0,0075	

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

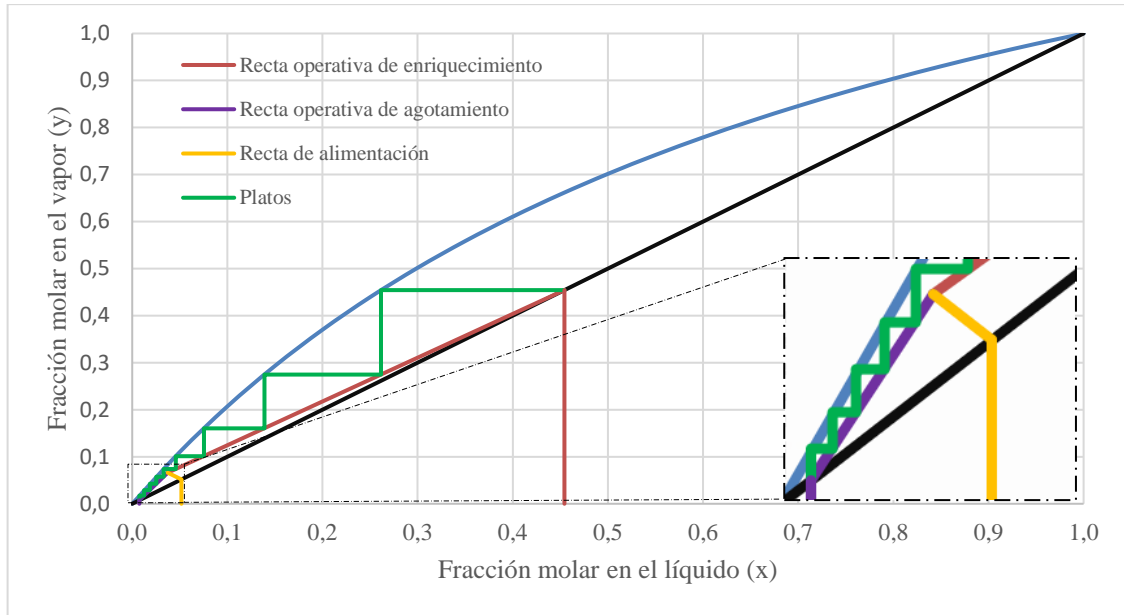


Ilustración 27-3: Método gráfico de McCabe-Thiele para el número de platos
Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Por lo tanto, se requieren de 9 platos teóricos para la columna de destilación.

3.10.5.8 Eficiencia global del proceso

Tabla 61-3: Datos para la eficiencia global del proceso

$P^{\circ}_{C_2H_5OH}$ (mmHg)	$P^{\circ}_{H_2O}$ (mmHg)	$\mu_{C_2H_5OH}$ (cP)	μ_{H_2O} (cP)
677,80	289,10	0,49	0,40

Fuente: (Bonilla & Alvarez, 2011, pp. 1689–1699.)

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Donde:

$P^{\circ}_{C_2H_5OH}$ = Presiones de vapor del etanol a 78°C (mmHg)

$P^{\circ}_{H_2O}$ = Presiones de vapor del agua a 78°C (mmHg)

$\mu_{C_2H_5OH}$ = Viscosidad del etanol (cP)

μ_{H_2O} = Viscosidad del agua (cP)

Volatilidad relativa del alcohol

$$\alpha = \frac{P^{\circ}_{C_2H_5OH}}{P^{\circ}_{H_2O}}$$

$$\alpha = \frac{677,8 \text{ mmHg}}{289,10 \text{ mmHg}}$$

$$\alpha = 2,34$$

Viscosidad media del jugo fermentado mezcla

$$\mu_F = \mu_{C_2H_5OH} * x_F + \mu_{H_2O} * (1 - x_F)$$

Donde:

μ_F = Viscosidad media del jugo fermentado mezcla (cP)

$\mu_{C_2H_5OH}$ = Viscosidad del etanol (cP)

x_F = Fracción molar de etanol presente en el jugo de fruta mezcla para la alimentación

μ_{H_2O} = Viscosidad del agua (cP)

$$\mu_F = 0,49 * 0,0517 + 0,40 * (1 - 0,0517)$$

$$\mu_F = 0,4047$$

$$\alpha * \mu_F = 2,34 * 0,4047$$

$$\alpha * \mu_F = 0,9524$$

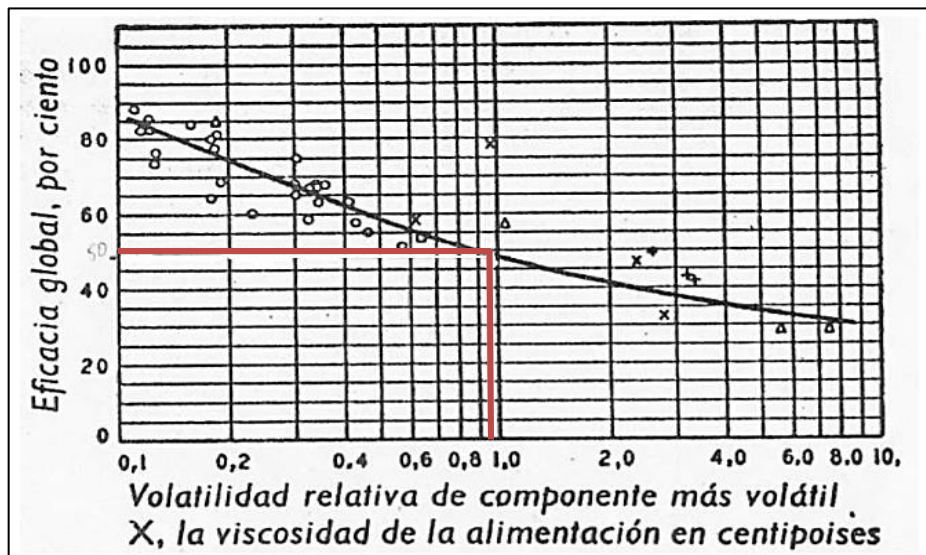


Ilustración 28-3: Eficiencia global a partir de la volatilidad relativa y la viscosidad en destilación

Fuente: (Bonilla & Alvarez, 2011, pp. 1689–1699.)

En la destilación realizada en el laboratorio de Procesos Industriales se logró una eficiencia inferior al 17,86%; esto se debió a que los equipos de la institución tenían un dimensionamiento diferente. El gráfico se toma en consideración por su capacidad tal que la eficiencia esperada sea equivalente al 50%.

3.10.5.9 Número real de platos

$$Platos_{real} = \frac{\# \text{ Platos teóricos}}{Eficiencia}$$

$$Platos_{real} = \frac{9}{0,5} = 18$$

3.10.5.10 Densidad de vapor

$$\rho_V = \frac{PM_{\text{etanol}} * 273}{22,4 * (273 + T_{\text{ebullición de etanol}})}$$

$$\rho_V = \frac{46,07 * 273}{22,4 * (273 + 78,4)}$$

$$\rho_V = 1,5978 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

3.10.5.11 Cálculo del coeficiente k

$$k = \frac{LR}{V} * \left(\frac{\rho_V}{\rho_L} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

LR = Flujo molar del líquido de reflujo (mol/h)

V = Flujo molar del vapor (mol/h)

ρ_V = Densidad de vapor (kg/m³)

ρ_L = Densidad de líquido (kg/m³)

$$k = \frac{19,2362 \text{ mol/h}}{20,6611 \text{ mol/h}} * \left(\frac{1,5978}{789} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$k = 0,0419$$

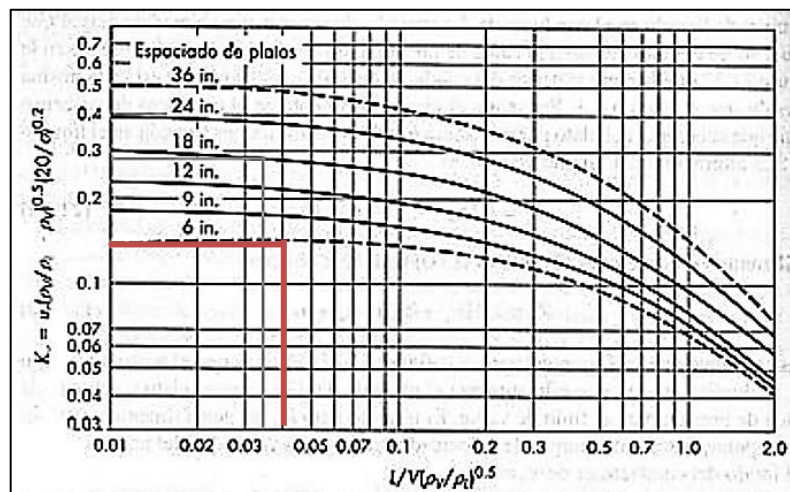


Ilustración 29-3: Determinación del coeficiente k por McCabe para columna de destilación

Fuente: (Bonilla & Alvarez, 2011, pp. 1689–1699.)

Los 9 platos que creó el cálculo, con un espacio de 6 pulgadas entre ellas, ayudarán a un mejor rendimiento. Como resultado, el coeficiente k es igual a 0,15.

3.10.5.12 Velocidad de los vapores

$$\mu = k * \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} * \frac{\sigma}{20}}$$

Donde:

k = Coeficiente para el espaciado de platos

σ = Tensión superficial del etanol (N/m)

ρ_V = Densidad del vapor (kg/m³)

ρ_L = Densidad del líquido (kg/m³)

$$\mu = 0,15 * \sqrt{\frac{789 - 1,5978}{1,5978} * \frac{20,60}{20}}$$
$$\mu = 3,3795 \text{ m/s}$$

3.10.5.13 Diámetro de la columna de destilación

$$D_{\text{columna1}} = \sqrt{\frac{4 * V * (273 + T_{mV}) * 760}{\pi * \mu * 3600 * P}}$$

Donde:

V = Flujo molar del vapor (mol/h)

T_{mV} = Temperatura media de vapores (°C)

μ = Velocidad de los vapor (kg/m³)

P = Presión absoluta media (mmHg)

$$D_{\text{columna1}} = \sqrt{\frac{4 * 20,6611 * (273 + 95) * 760}{\pi * 3,3795 * 3600 * 760}}$$
$$D_{\text{columna1}} = 0,893 \text{ m}$$

3.10.5.14 Altura de la columna

$$h_{\text{columna1}} = \#Platos_{real} * distancia \text{ entre platos}$$

$$h_{\text{columna1}} = 18 * 6 \text{ in} \frac{0,0254 \text{ m}}{1 \text{ in}}$$

$$h_{\text{columna1}} = 2,7432 \text{ m}$$

3.10.5.15 Altura total de la columna

$$h_{T\text{columna1}} = h_{\text{columna1}} + distancia \text{ entre el último plato y el final de la columna}$$

$$h_{T\text{columna1}} = 2,7432 \text{ m} + 0,1524 \text{ m}$$

$$h_{T\text{columna1}} = 2,8956 \text{ m}$$

3.10.5.16 Cantidad de alcohol etanol al 73 % en la columna de destilación

$$AD = \frac{\%R_{destilado} * JF}{100}$$
$$AD = \frac{17,86 \% * 1330,25 L}{100}$$
$$AD = 184,37 L$$

Con base en el rendimiento experimental de 17,86% la cantidad de alcohol etílico destilado es de 184,37 L.

3.10.6 Diseño para la columna de rectificadora

3.10.6.1 Cálculos y datos necesarios para el diseño de la columna de destilación rectificación

Fracción molar para la alimentación

En el jugo fermentado de fruta hay 73 °GL (73 ml/100 ml)

$$m_{alcohol} = \frac{0,73 \text{ ml C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1 \text{ ml mezcla}} * \frac{0,789 \text{ g C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1 \text{ ml C}_2\text{H}_5\text{OH}} * \frac{1 \text{ ml mezcla}}{1,1606 \text{ g mezcla}} = 0,496 \frac{\text{g C}_2\text{H}_5\text{OH}}{\text{g mezcla}}$$
$$m_{agua} = \frac{0,27 \text{ ml H}_2\text{O}}{1 \text{ ml mezcla}} * \frac{1 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ ml H}_2\text{O}} * \frac{1 \text{ ml mezcla}}{1,1606 \text{ g mezcla}} = 0,233 \frac{\text{g H}_2\text{O}}{\text{g mezcla}}$$

$$x_F = \frac{\frac{m_{alcohol}}{PM_{etanol}}}{\frac{m_{alcohol}}{PM_{etanol}} + \frac{m_{agua}}{PM_{agua}}}$$
$$x_F = \frac{\frac{0,496 \text{ g}}{46,07 \text{ g}}}{\frac{0,496 \text{ g}}{46,07 \text{ g}} + \frac{0,233 \text{ g}}{18,02 \text{ g}}}$$
$$x_F = 0,4543$$

Fracción molar para el destilado obtenido

En el proceso de destilación hay 95 °GL (95 ml/100 ml)

$$m_{alcohol} = \frac{0,95 \text{ ml C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1 \text{ ml mezcla}} * \frac{0,789 \text{ g C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1 \text{ ml C}_2\text{H}_5\text{OH}} * \frac{1 \text{ ml mezcla}}{1,1606 \text{ g mezcla}} = 0,6458 \frac{\text{g C}_2\text{H}_5\text{OH}}{\text{g mezcla}}$$

$$m_{\text{agua}} = \frac{0,05 \text{ ml H}_2\text{O}}{1 \text{ ml mezcla}} * \frac{1 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ ml H}_2\text{O}} * \frac{1 \text{ ml mezcla}}{1,1606 \text{ g mezcla}} = 0,0431 \frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{g mezcla}}$$

$$x_D = \frac{\frac{m_{\text{alcohol}}}{PM_{\text{etanol}}}}{\frac{m_{\text{alcohol}}}{PM_{\text{etanol}}} + \frac{m_{\text{agua}}}{PM_{\text{agua}}}}$$

$$x_D = \frac{\frac{0,6458 \text{ g}}{46,07 \text{ g}}}{\frac{0,6458 \text{ g}}{46,07 \text{ g}} + \frac{0,0431 \text{ g}}{18,02 \text{ g}}}$$

$$x_D = 0,8542$$

La fracción molar del residuo alcohólico es 55 °GL (55 ml/100 ml)

$$m_{\text{alcohol}} = \frac{0,55 \text{ ml C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1 \text{ ml mezcla}} * \frac{0,789 \text{ g C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1 \text{ ml C}_2\text{H}_5\text{OH}} * \frac{1 \text{ ml mezcla}}{1,1606 \text{ g mezcla}} = 0,3739 \frac{\text{g C}_2\text{H}_5\text{OH}}{\text{g mezcla}}$$

$$m_{\text{agua}} = \frac{0,45 \text{ ml H}_2\text{O}}{1 \text{ ml mezcla}} * \frac{1 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ ml H}_2\text{O}} * \frac{1 \text{ ml mezcla}}{1,1606 \text{ g mezcla}} = 0,3877 \frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{g mezcla}}$$

$$x_w = \frac{\frac{m_{\text{alcohol}}}{PM_{\text{etanol}}}}{\frac{m_{\text{alcohol}}}{PM_{\text{etanol}}} + \frac{m_{\text{agua}}}{PM_{\text{agua}}}}$$

$$x_w = \frac{\frac{0,3739 \text{ g}}{46,07 \text{ g}}}{\frac{0,3739 \text{ g}}{46,07 \text{ g}} + \frac{0,3877 \text{ g}}{18,02 \text{ g}}}$$

$$x_w = 0,2739$$

Tabla 62-3: Datos de diseño para la columna de rectificación

$\rho_{\text{etanol}} \left(\frac{\text{g}}{\text{ml}} \right)$	$PM_{\text{etanol}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right)$	$PM_{\text{agua}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right)$	$\sigma_{\text{etanol}} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$	$T_{\text{mv}} (^{\circ}\text{C})$	$P (\text{mmHg})$
0,789	46,07	18,02	20,60	95	760

Fuente: Chuquín, 2013, p. 153

Donde:

ρ_{etanol} = Densidad de etanol (g/ml)

PM_{etanol} = Peso molecular del etanol (kg/mol)

PM_{agua} = Peso molecular del agua (kg/mol)

σ_{etanol} = Tensión superficial del etanol (N/m)

T_{mV} = Temperatura media de vapores (°C)

P = Presión absoluta media (mmHg)

Peso molecular del alcohol etílico a 73 °GL

$$PM_{Alcohol73} = x_F * PM_{etanol} + (1 - x_F) * PM_{agua}$$

$$PM_{Alcohol73} = 0,4543 * 46,07 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} + (1 - 0,4543) * 18,02 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

$$PM_{Alcohol73} = 31,05 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

Flujo molar del alcohol etílico por hora

$$ED = \frac{184,37 \text{ L} * 1,1606 \frac{\text{kg}}{\text{L}}}{2 \text{ h}}$$

$$ED = 106,99 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ mol}}{31,05 \text{ kg}}$$

$$ED = 3,45 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

Flujo molar del destilado por hora

$$AR = \frac{AD * (x_F - x_w)}{(x_D - x_w)}$$

$$AR = \frac{3,45 \frac{\text{mol}}{\text{h}} * (0,4543 - 0,2739)}{(0,8542 - 0,2739)}$$

$$AR = 1,0725 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

$$AD = AR + JS$$

$$JS = 3,45 \frac{\text{mol}}{\text{h}} - 1,0725 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

$$JS = 2,3775 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

Flujo molar del destilado por hora

$$R = \frac{LR}{AR}$$

$$LR = 2,33 * 1,0725 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

$$LR = 2,4989 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

Flujo molar del vapor por hora

$$V = LR + AR$$

$$V = 2,4989 \frac{\text{mol}}{\text{h}} + 1,0725 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

$$V = 3,5714 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

3.10.6.2 Condiciones de operación de la destilación

La destilación produjo 95 °GL. Comparativamente hablando con otras bibliografías, resulta ser un valor excepcional para el proceso de rectificación.

Tabla 63-3: Datos para el proceso de rectificación

x_F	x_D	x_w	q	R_{\min}	R
0,4543	0,8542	0,2739	0,50	1,55	2,33

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Donde:

x_F = Fracción molar de etanol presente en el jugo de fruta mezcla para la alimentación

x_D = Fracción molar de etanol destilado

x_w = Fracción molar de etanol presente en los fondos de la columna

q = Cantidad de moles que fluyen en la sección de agotamiento

R_{\min} = Reflujo mínimo

R = Reflujo total

3.10.6.3 Cálculo de los puntos de intersección

$$y_{\text{int}} = \frac{R}{R+1} x_{\text{int}} + \frac{x_D}{R+1}$$

$$y_{\text{int}} = \frac{q}{q+1} x_{\text{int}} + \frac{x_F}{q+1}$$

Realizamos la igualación de las ecuaciones

$$x_{\text{int}} = \frac{x_F * (R+1) + x_D * (q-1)}{q * (R+1) - R * (q-1)}$$

Realizamos un reemplazando en los datos

$$x_{\text{int}} = \frac{0,4543 * (2,33 + 1) + 0,8542 * (0,5 - 1)}{0,5 * (2,33 + 1) - 2,33 * (0,5 - 1)}$$

$$x_{\text{int}} = 0,3836$$

Cálculos para y de intersección

$$y_{\text{int}} = \frac{R}{R + 1} x_{\text{int}} + \frac{x_D}{R + 1}$$

$$y_{\text{int}} = \frac{2,33}{2,33 + 1} * 0,3836 + \frac{0,8542}{2,33 + 1}$$

$$y_{\text{int}} = 0,5250$$

3.10.6.4 Cálculo para la recta operativa de enriquecimiento

A x se toma como xD porque son los datos a los que requiere llegar. La otra x es la intersección anteriormente calculada.

$$y_{\text{enr}} = \frac{R}{R + 1} x_{\text{enr}} + \frac{x_D}{R + 1}$$

$$y_{\text{enr}} = \frac{2,33}{2,33 + 1} * 0,8542 + \frac{0,8542}{2,33 + 1}$$

$$y_{\text{enr}} = 0,8542$$

Tabla 64-3: Datos para la recta operativa de enriquecimiento

x_{enr}	y_{enr}
0,8542	0,8542
0,3836	0,5250

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.10.6.5 Cálculo para la recta de alimentación

Dado que x_F es la fracción molar de la alimentación, se trata como x. La otra x es la intersección antes calculada.

$$y_{\text{alim}} = \frac{q}{q - 1} x_{\text{alim}} - \frac{x_F}{q - 1}$$

Donde:

q = Cantidad de moles que fluyen en la sección de agotamiento

x_F = Fracción molar de etanol presente en el jugo de fruta mezcla para la alimentación

$$y_{\text{alim}} = \frac{0,50}{0,50 - 1} 0,4543 - \frac{0,4543}{0,50 - 1}$$

$$y_{alim} = 0,4543$$

Tabla 65-3: Datos para la recta operativa alimentación

x_{alim}	y_{alim}
0,4543	0,4543
0,3836	0,5250

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.10.6.6 Cálculo para la recta operativa de agotamiento

La intersección anterior calculada es la primera x . La x_w es la fracción molar de los fondos alcohólicos

$$y_{int} = \frac{B}{B-1} * x_{int} - \frac{x_w}{B-1}$$

$$B = \frac{y_{int} - x_w}{y_{int} - x_{int}}$$

$$B = \frac{0,5250 - 0,2739}{0,5250 - 0,3836}$$

$$B = 1,7757$$

$$y_{ago} = \frac{B}{B-1} * x_{ago} - \frac{x_w}{B-1}$$

$$y_{ago} = \frac{1,7757}{1,7757-1} * 0,3836 - \frac{0,2739}{1,7757-1}$$

$$y_{ago} = 0,5250$$

Tabla 66-3: Datos para la recta operativa de agotamiento

x_{ago}	y_{ago}
0,3836	0,5250
0,2739	0,2739

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

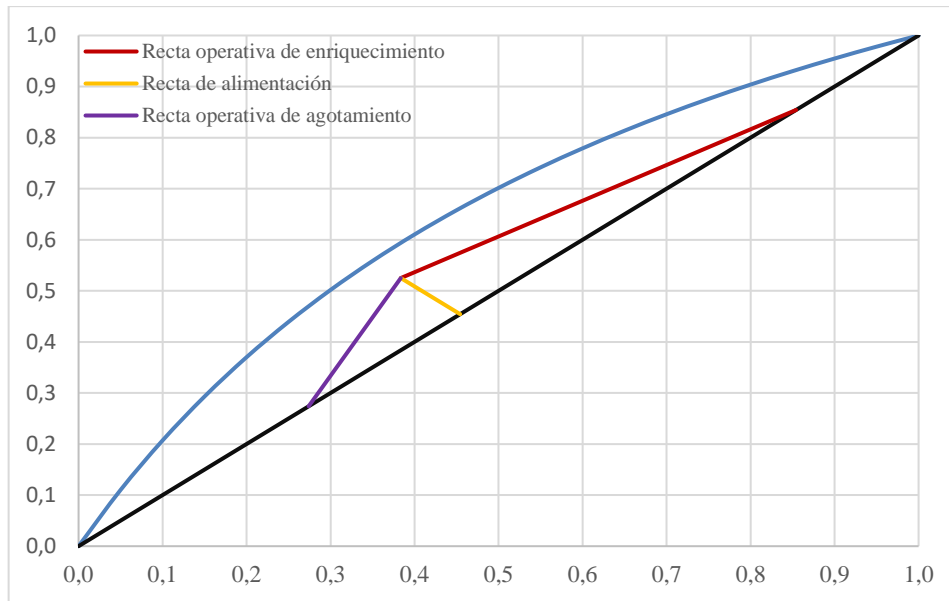


Ilustración 30-3: Curva de equilibrio con las diferentes rectas calculadas
Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.10.6.7 Número de platos

Para encontrar los puntos con los que intercepta en la curva de equilibrio utilizamos la ecuación de pendiente de enriquecimiento y agotamiento, estos se tomarán para los valores en (y).

Ecuación de la recta de enriquecimiento

Coordenadas

$$A(0,8542; 0,8542)$$

$$B(0,3836; 0,5250)$$

Pendiente entre dos puntos

$$m_E = \frac{y_{E2} - y_{E1}}{x_{E2} - x_{E1}}$$

$$m_E = \frac{0,5250 - 0,8542}{0,3836 - 0,8542}$$

$$m_E = 0,6995$$

Ordenada con el origen

$$y_{E1} = m_{E1}x_{E1} + b_{E1}$$

$$b_{E1} = y_{E1} - m_{E1}x_{E1}$$

$$b_{E1} = 0,8542 - (0,6995 * 0,8542)$$

$$b_{E1} = 0,2567$$

Ecuación de la recta para el enriquecimiento

$$y_{E1} = 0,6995x_{E1} + 0,2567$$

Ecuación de la recta de agotamiento

Coordenadas

$$A(0,3836; 0,5250)$$

$$B(0,2739; 0,2729)$$

Pendiente entre dos puntos

$$m_A = \frac{y_{A2} - y_{A1}}{x_{A2} - x_{A1}}$$
$$m_A = \frac{0,2729 - 0,5250}{0,2739 - 0,3836}$$
$$m_A = 2,2891$$

Ordenada con el origen

$$y_{A1} = m_{A1}x_{A1} + b_{A1}$$
$$b_{A1} = y_{A1} - m_{A1}x_{A1}$$
$$b_{A1} = 0,5250 - (2,2891 * 0,3836)$$
$$b_{A1} = -0,3531$$

Ecuación de la recta para el agotamiento

$$y_{A1} = 2,2891x_{A1} - 0,3531$$

Datos de intersección con la curva de equilibrio en x

Para encontrar los valores en (x) se toma la ecuación de la fracción molar del líquido con respecto a la volatilidad relativa. El valor de la fracción molar del alcohol destilado se tomó como primeros datos de la tabla.

Volatilidad relativa $\alpha=2,33$

$$x = \frac{y}{\alpha - y(\alpha - 1)}$$
$$x = \frac{0,8542}{2,35 - 0,8542(2,35 - 1)}$$
$$x = 0,7137$$

Datos de intersección con la curva de equilibrio en y

$$y = mx + b$$

Intersección con la curva de equilibrio y la recta de enriquecimiento

$$y = 0,6995 * 0,7137 + 0,2567$$
$$y = 0,7559$$

Intersección con la curva de equilibrio y la recta de agotamiento

$$y = 2,2891 * 0,3595 - 0,3531$$

$$y = 0,4699$$

Tabla 67-3: Datos de intersección con la curva de equilibrio

x	y	Etapas
0,8542	0,8542	1
0,7137	0,8542	
0,7137	0,7559	
0,5686	0,7559	2
0,5686	0,6544	
0,4462	0,6544	3
0,4462	0,5688	
0,3595	0,5688	4
0,3595	0,4699	
0,2739	0,4699	5
0,2739	0,2739	

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

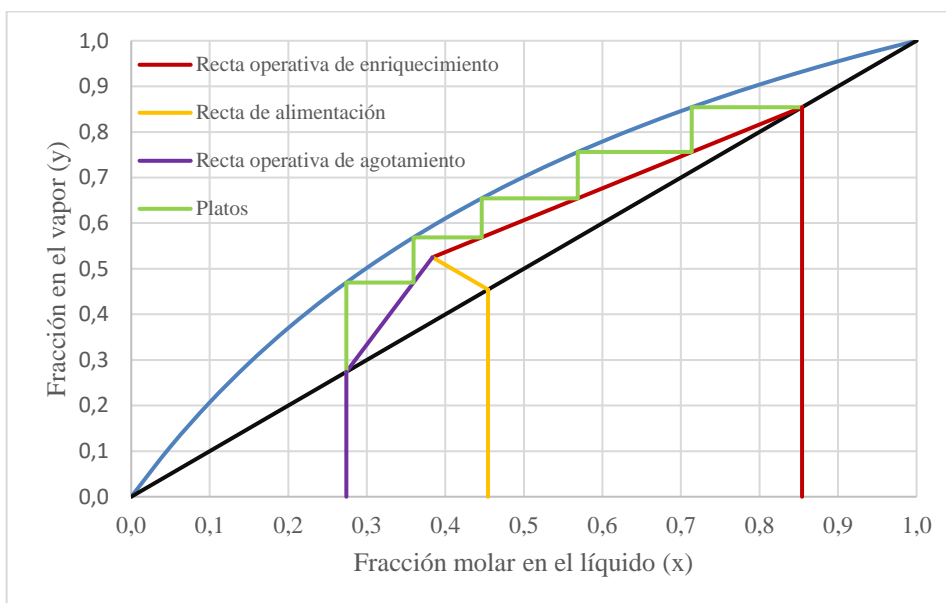


Ilustración 31-3: Método gráfico de McCabe-Thiele para el número de platos

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Por lo tanto, se requieren de 5 platos teóricos para la columna de rectificación.

3.10.6.8 Eficiencia global del proceso

Tabla 68-3: Datos para la eficiencia global del proceso

$P^{\circ} \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (mmHg)	$P^{\circ} \text{H}_2\text{O}$ (mmHg)	$\mu \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (cP)	$\mu \text{H}_2\text{O}$ (cP)
677,80	289,10	0,49	0,40

Fuente: (Bonilla & Alvarez, 2011, pp. 1689–1699.)

Donde:

$P^{\circ} \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ = Presiones de vapor del etanol a 78°C (mmHg)

$P^{\circ} \text{H}_2\text{O}$ = Presiones de vapor del agua a 78°C (mmHg)

$\mu \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ = Viscosidad del etanol (cP)

$\mu \text{H}_2\text{O}$ = Viscosidad del agua (cP)

Volatilidad relativa del alcohol

$$\alpha = \frac{P^{\circ} \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}{P^{\circ} \text{H}_2\text{O}}$$

$$\alpha = \frac{677,8 \text{ mmHg}}{289,1 \text{ mmHg}}$$

$$\alpha = 2,34$$

Viscosidad media del jugo de caña de azúcar fermentado

$$\mu_F = \mu_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} * x_F + \mu_{\text{H}_2\text{O}} * (1 - x_F)$$

$$\mu_F = 0,49 * 0,4543 + 0,4 * (1 - 0,4543)$$

$$\mu_F = 0,4409$$

$$\alpha * \mu_F = 2,34 * 0,4409$$

$$\alpha * \mu_F = 1,0317$$

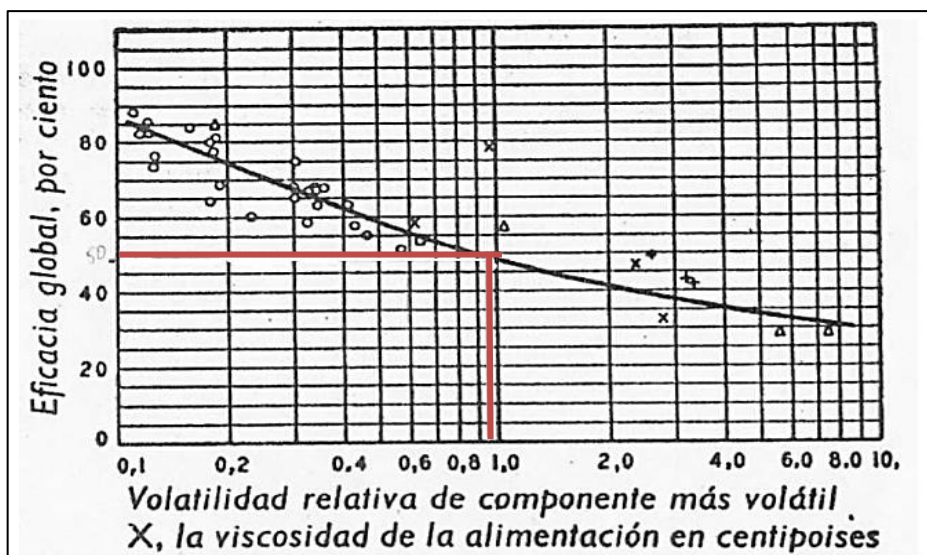


Ilustración 32-3: Eficiencia global a partir de la volatilidad relativa y la viscosidad en destilación

Fuente: (Bonilla & Alvarez, 2011, pp. 1689–1699.)

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

La eficiencia obtenida en la rectificación es de 50 % la cual es una eficiencia considerada ideal para los cálculos.

3.10.6.9 Número real de platos

$$\text{Platos}_{\text{real}} = \frac{\# \text{Platos}_{\text{teóricos}}}{\text{Eficiencia}}$$

$$\text{Platos}_{\text{real}} = \frac{5}{0,50} = 10$$

3.10.6.10 Densidad de vapor

$$\rho_v = \frac{PM_{\text{Alcohol73}} * 273}{22,4 * (273 + T_{\text{ebullición de etanol}})}$$

$$\rho_v = \frac{31,05 * 273}{22,4 * (273 + 78,4)}$$

$$\rho_v = 1,0769 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

3.10.6.11 Cálculo del coeficiente k

$$k = \frac{LR}{V} * \left(\frac{\rho_v}{\rho_L} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$k = \frac{2,4989 \text{ mol/h}}{3,5714 \text{ mol/h}} * \left(\frac{1,0769}{789} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$k = 0,0258$$

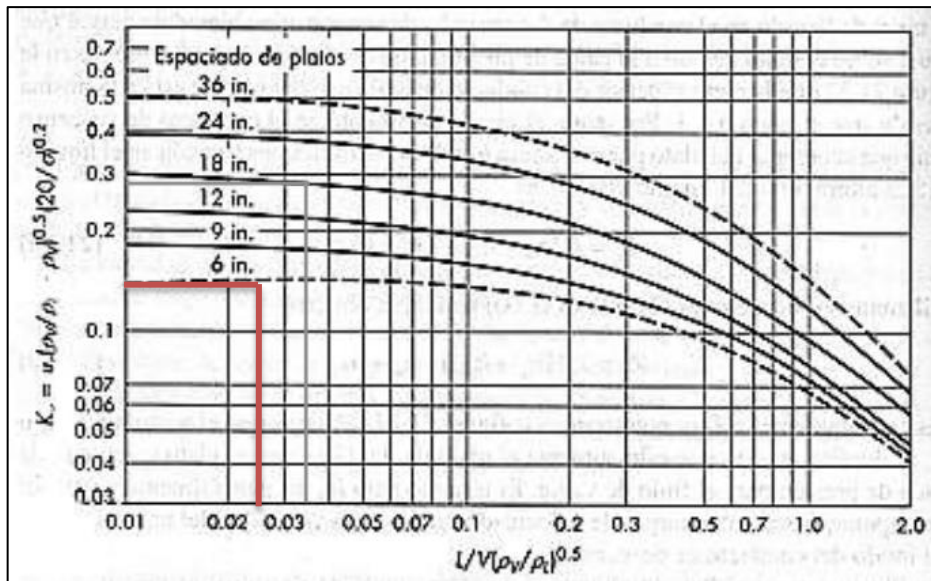


Ilustración 33-3: Determinación del coeficiente k por McCabe para columna de destilación

Fuente: (Bonilla & Alvarez, 2011, pp. 1689–1699.)

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Los 10 platos que creó el cálculo, con un espacio de 6 pulgadas entre ellas, ayudarán a un mejor rendimiento. Como resultado, el coeficiente k es igual a 0,15.

3.10.6.12 Velocidad de los vapores

$$\mu = k * \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} * \frac{\sigma}{20}}$$

$$\mu = 0,15 * \sqrt{\frac{789 - 1,0769}{1,0769} * \frac{20,60}{20}}$$

$$\mu = 4,1178 \text{ m/s}$$

3.10.6.13 Diámetro de la columna de destilación

$$D_{\text{columna2}} = \sqrt{\frac{4 * V * (273 + T_{mV}) * 760}{\pi * \mu * 3600 * P}}$$

$$D_{\text{columna2}} = \sqrt{\frac{4 * 3,5714 * (273 + 95) * 760}{\pi * 4,1178 * 3600 * 760}}$$

$$D_{\text{columna2}} = 0,2337 \text{ m}$$

3.10.6.14 Altura de la columna

$$h_{\text{columna2}} = \#Platos_{\text{real}} * \text{distancia entre platos}$$

$$h_{\text{columna2}} = 10 * 6 \text{ in} \frac{0,0254 \text{ m}}{1 \text{ in}}$$

$$h_{\text{columna2}} = 1,5240 \text{ m}$$

3.10.6.15 Altura total de la columna

$$h_{\text{Tcolumna2}} = h_{\text{columna2}} * \text{distancia entre el último plato y el final de la columna}$$

$$h_{\text{Tcolumna2}} = 1,5240 \text{ m} + 0,1524 \text{ m}$$

$$h_{\text{Tcolumna2}} = 1,6764 \text{ m}$$

3.10.6.16 Cantidad de alcohol etanol al 95 °GL en la columna de destilación

$$AR = \frac{\%R_{\text{destilado}} * AD}{100}$$

$$AR = \frac{50 \% * 184,37 \text{ L}}{100}$$

$$AR = 92,18 \text{ L}$$

Con base en el rendimiento experimental de 50% la cantidad de alcohol etílico rectificado es de 92,18 L.

3.11 Análisis del costo beneficio

3.11.1 Costos variables

Tabla 69-3: Costos de la materia prima e insumos en 2000 litros de producción mensual

Descripción	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Guanábana (Kg)	1482	3,14	4653,48
Jugo de caña (L)	382	1,00	382,00
Levadura (g)	633	0,20	126,60
Agua potabilizada (m ³)	4	0,72	2,88
Etiquetas (Unidad)	20	0,15	3,00
Envases (Unidad)	20	0,45	9,00
		Total	5176,96

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Tabla 70-3: Costos de producción del alcohol etílico

Descripción	Diario	Días laborables	Producción mensual	Costo litro (\$)	Costo Total (\$)
Litros de alcohol etílico en producción	100	20	2000	2,59	5176,96

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Tabla 71-3: Costos variables en pagos de operarios

Descripción	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo total (\$)
Operador	2	450,00	900,00
Total			900,00

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.11.2 Costos fijos

Tabla 72-3: Costos fijos de producción mensual

Descripción	Costo (\$)
Análisis fisicoquímicos del alcohol etílico	165,00
Combustible	360,00
Servicios básicos (agua, luz, teléfono, internet)	80,00
Total	605,00

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.11.3 Precio variable de producción del producto

$$P_p = \frac{C_{\text{fijos proceso de producción al mes}} + C_{\text{variables producción al mes}} + C_{\text{otros variables}}}{\text{Litros de producción mensual}}$$

$$P_p = \frac{(605,00 + 5176,96 + 900,00)\$}{2000 \text{ L}}$$

$$P_p = 3,34 \frac{(\$)}{\text{L}}$$

3.11.4 Precio de venta del producto

Como el alcohol etílico de 96 °GL se vende a \$4.70, el precio por su fabricación es razonable y proporcionará beneficios financieros a la empresa una vez que el producto esté disponible para su venta.

3.11.5 Puntos de equilibrio

Tabla 73-3: Puntos de equilibrio

Detalle	Mensual (\$)	Anual (\$)
Costos fijos	605,00	7260,00
Precio de venta	4,70	4,70
Costo variable	3,34	3,34
Punto de equilibrio	445,17	5342,08

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

$$Q = \frac{CF}{P - CV}$$

$$Q = \frac{605,00}{4,70 - 3,34} \$$$

$$Q = 445,17 \$$$

La empresa tiene que vender \$445,17 en un mes y \$5342,08 en un año para alcanzar el punto de equilibrio y evitar pérdidas económicas.

3.11.6 Proyección de ventas y capital de inversión

Tabla 74-3: Proyección de ventas y capital de inversión

Producto	1L Alcohol etanol al 95 °GL	
Precio de venta	4,70 \$	
Tasa de crecimiento poblacional	1,18 %	
Producción diaria	Producción mensual	Producción anual
100	2000	24000
Años	Proyección de demanda	Proyección de ventas
1	24000	112800,00
2	28320	133104,00
3	33418	157062,72
4	39433	185334,01
5	46531	218694,13

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.11.7 Proyección de costos y capital de inversión

Tabla 75-3: Proyección de costos y capital de inversión

Flujo de inflación	0,0027					
Detalle	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Costos de producción						
Materia prima directa	62123,52	63800,86	63973,12	64145,84	64319,04	64492,70
Mano de obra directa	10800,00	11091,60	11121,55	11151,58	11181,68	11211,88
Mantenimiento y seguros	5390,00	5535,53	5550,48	5565,46	5580,49	5595,56
Depreciación	1440,00	1478,88	1482,87	1486,88	1490,89	1494,92
Subtotal	79753,52	81906,87	82128,01	82349,76	82572,10	82795,05
Costos administrativos						
Servicios básicos	960,00	985,92	988,58	991,25	993,93	996,61
Permisos de funcionamiento	840,00	862,68	865,01	867,34	869,69	872,03
Análisis de laboratorio	1980,00	2033,46	2038,95	2044,46	2049,98	2055,51
Transporte, combustible	4320,00	4436,64	4448,62	4460,63	4472,67	4484,75
Subtotal	8100,00	8318,70	8341,16	8363,68	8386,26	8408,91
Costos financieros						
Intereses bancarios	100,00	102,70	102,98	103,26	103,53	103,81
Subtotal	100,00	102,70	102,98	103,26	103,53	103,81
TOTAL	87953,52	90328,27	90572,15	90816,70	91061,90	91307,77

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

3.11.8 Flujo de caja

Tabla 76-3: Montos de flujo de caja

Detalles	Años					
	0	1	2	3	4	5
(+) Ventas netas		112800,00	133104,00	157062,72	185334,01	218694,13
(-) Costos de producción		81906,87	90572,15	90816,70	91061,90	91307,77
(=) Utilidad neta de reparto		30893,13	42531,85	66246,02	94272,11	127386,36
(-) Reparto de utilidades (15%)		4633,97	6379,78	9936,90	14140,82	19107,95
(=) Utilidades antes de impuestos		26259,16	36152,07	56309,12	80131,29	108278,41
(-) Impuesto a la renta		0,00	0,00	32,36	113,62	593,71
(=) Utilidad neta		26259,16	36152,07	56276,76	80017,67	107684,70
(-) Inversión para equipos	-152500					
(=) Flujo de caja	-152500	26259,16	36152,07	56276,76	80017,67	107684,70
(=) Flujo de caja actualizada al 11,5%	-152500	29278,97	40309,56	62748,59	89219,70	120068,44
(=) Flujo de caja acumulado	-152500	-120721,03	-109690,44	-87251,41	-60780,30	-29931,56

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Tabla 77-3: Resultados VAN, TIR y PR

Detalle	Resultados
Tasa de rendimiento del mercado	11,50 %
Valor actual neto (VAN)	\$2364,55
Tasa interna de retorno (TIR)	22 %
Plazo de recuperación (PR)	3,58

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

Los resultados obtenidos para el VAN >0, nos indica que el diseño del proceso industrial es viable, con un TIR >TM nos regresa un 22% del valor invertido, para un plazo de recuperación de 3 años con 6 meses y 29 días.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Resultados del diseño industrial

4.1.1 Caracterización de las materias primas

Tabla 78-4: Resultados obtenidos en la caracterización de la materia prima

Parámetro	Resultado		Rango de bibliografía	
	Guanábana	Caña	Guanábana	Caña
Sólidos totales (g/100ml)	17,6859	5,3451	17- 20,5	4,32 - 5,82
Cenizas totales (%)	0,1047	0,0997	0,7 - 0,11	0,61 - 0,75
Acidez	0,6987	0,1753	0,2- 0,7	0,14 - 0,18
pH	3,19	4,37	3,1 - 5,1	4,3 - 5,6
Brix (°Bx)	13,08	17,66	7,1 - 24	13 - 22,4
Índice de refracción	1,3526	1,3599	-	-
Temperatura (°C)	20	20	-	-
Densidad	1,0547	1,2653	-	-

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

4.1.2 Análisis realizados en la fermentación

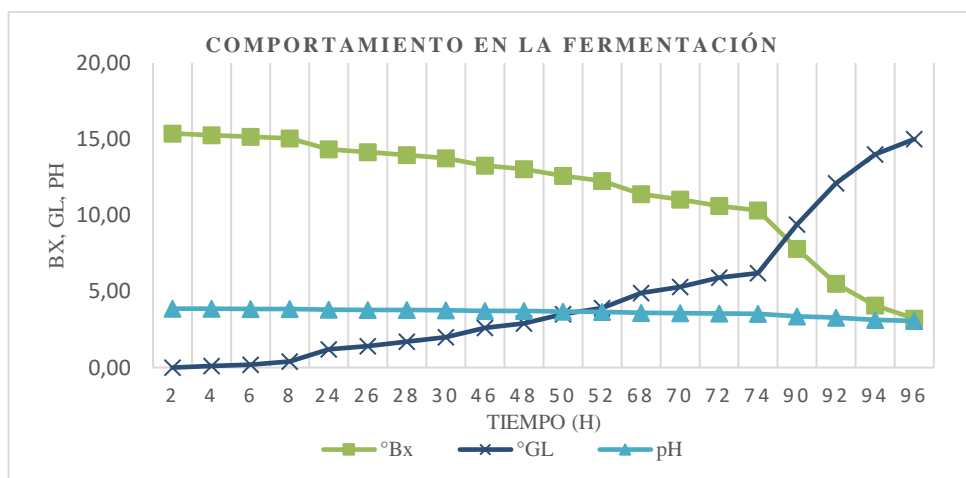


Ilustración 34-4: Comportamiento de las variables °Brix, Gay-Lussac y pH

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

4.1.3 Caracterización del alcohol resultante

Tabla 79-4: Resultados comparativos del alcohol etílico obtenido con la normativa establecida

Parámetro	Unidad	Lab.	NTE INEN	
			Mín.	Máx.
Alcohol, fracción volumétrica	%	95	95	-
Acidez total, como ácido acético	mg/100 cm ³ (*)	1,98	-	3
Ésteres, como acetato de etilo	mg/100 cm ³ (*)	3,71	-	5
Aldehídos, como etanal	mg/100 cm ³ (*)	< 0,01	-	2
Furfural	mg/100 cm ³ (*)	< 0,01	-	0,01
Metanol	mg/100 cm ³ (*)	2,50		10
Alcoholes superiores	mg/100 cm ³ (*)	15,79	-	3

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

4.1.4 Rendimiento de los procesos para obtener la bebida alcohólica

Tabla 80-4: Resultados obtenidos en los procesos para obtener la bebida alcohólica

Proceso	Rendimiento
Lavado	98,80 %
Despulpado	72,19 %
Triturado	78,11 %
Filtración (Guanábana /Caña)	98,55 %
	98,93 %
Fermentación	97,50 %
Destilación	17,86 %
Rectificación	50,00 %
Rendimiento Global	5,60 %

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

4.1.5 Diseño de ingeniería

Tabla 81-4: Diseño de equipos requeridos para obtener de la bebida alcohólica

Contenedor de recepción y lavado			
Largo	1,78 m	Alto	0,30 m
Ancho	1,78 m	Volumen	0,95 m ³
Material	Acero inoxidable		
Despulpadora			
Voltaje	110-120V	Poder	3 HP
Material	Acero inoxidable		
Filtrador			
Voltaje	110-120V	Poder	0,25 - 3 HP
Tamiz	1 mm	Material	Acero inoxidable
Fermentador			
Diámetro	1,20 m	Altura	1,38 m
Volumen	1,56 m ³	Diámetro de paletas de mezclado	0,40 m
Altura de paletas	0,40 m	Ancho de paletas	0,08 m
Diámetro de la chaqueta	1,56 m	Largo de paletas	0,10 m
Espesor de cámara de calentamiento	0,18 m	Longitud de la pared del fermentador y los deflectores	0,10 m
Volumen de la cámara de calentamiento	0,20 m ³	Material	Acero inoxidable
Columna de destilación			
Diámetro	0,89 m	Altura	2,90 m
Platos	18	Material	Acero inoxidable
Columna de rectificación			
Diámetro	0,23 m	Altura	1,68 m
Platos	10	Material	Acero inoxidable

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

4.1.6 Análisis costo-beneficio para el diseño industrial

Tabla 82-4: Resultados económicos del diseño industrial

Detalle	Resultados
Precio unitario de 1 L de alcohol etílico	\$ 4,70
Tasa de rendimiento del mercado	11,50 %
Valor actual neto (VAN)	\$ 2364,55
Tasa interna de retorno (TIR)	22 %
Plazo de recuperación (PR)	3,58 años

Realizado por: Zapata, Edison, 2023.

4.2 Discusión de resultados

La caracterización de la materia prima es fundamental para seleccionar los frutos óptimos dentro de los estándares de calidad para la elaboración de la bebida alcohólica. Para realizar la caracterización no contamos con normativa nacional. Sin embargo, sí tenemos requisitos que debe cumplir el producto final. Los análisis se realizaron con guías prácticas de los laboratorios de la ESPOCH, los valores obtenidos se comparan con estudios de diversos autores que realizan la caracterización fisicoquímica de las materias primas, como es el caso de la caña de azúcar en comparación con López et al. (2013, p. 6); Alarcón (2017, pp. 40–43.) resultados obtenidos como sólidos totales 5,34 g/ml; cenizas totales 0,09%; ácido cítrico 0,17; pH 4,37; °Brix 17,66 cuya ceniza está fuera de rango, el estudio de la guanábana con Nalasco. et al., (2019, p. 11.); Ojera et al. (2007, p. 151-160.); Arrazola, et al (2013, p. 15.) dan resultados de sólidos totales 17,68; cenizas totales 0,10; ácido málico 0,6987; pH 3,19; °Brix 13,08 los cuales se encuentran dentro de los rangos establecidos. En los análisis realizados los valores fuera de rango indican que existe poca cantidad de materia orgánica ya que un mayor porcentaje afecta el desempeño del proceso; Según Hoyos et al. (2010, p. 3-5.), el cobre reduce el rendimiento en la fermentación del jugo de frutas, por el contrario, el potasio y el nitrógeno favorecen la fermentación. Esto puede deberse a variaciones en el suelo de crecimiento de la materia prima y los procesos previos realizados sobre la materia prima en este proyecto.

En la fermentación, la levadura adecuada permite una mejor conversión de azúcares en alcohol, es el caso de *Saccharomyces cerevisiae*, ya que puede transformar estos azúcares en etanol y dióxido de carbono. El °brix presente en el jugo de fruta es un factor esencial para la transformación en alcohol; tal como especifica Rodríguez et al. (2005, p. 7), las diferentes etapas de maduración de la fruta aumentan la composición de azúcares, por lo que la fruta es seleccionada en su estado pintón para el proceso. Tenemos 15,37 °brix, de lo que se obtiene una fermentación

de 15 °GL; en investigaciones realizadas por Lucero (2015, pp.5-9.) parten de valores cercanos a los 17 °brix en este estudio se presenta una disminución en la cantidad de alcohol en 15 °GL ya que el fermento tiene una cantidad más significativa de materia orgánica y se observa que los valores de pH disminuyen en el proceso de fermentación.

En este proyecto se obtuvo alcohol etílico destilado con 30,44 L de jugo, obteniendo 2,64 L a 95 °GL. En la investigación realizada por Pacheco & Trujillo (2019, pp.3-14.) se obtuvo 7,35 L a 95 °GL, parte de 1 Tn de caña azucarera con 74 L de jugo fermentado a 19 °Brix, lo que dio un rendimiento de 7,3%. En cuanto a este proyecto, el rendimiento de 5,60% es menor, lo que puede deberse a los equipos utilizados para su destilación o al uso de materias primas en este proceso. El desempeño obtenido en el diseño del proceso industrial podría verse afectado ya que los equipos de laboratorio de la institución ya tienen años de uso. La empresa beneficiaria del proyecto podrá aplicar este procedimiento e igualar o superar el rendimiento obtenido.

Se compara la validación de alcohol etílico producido con los requisitos establecidos por la NTE INEN 375-2018-03; Se realiza en laboratorios fuera de la institución ya que no se cuenta con los reactivos o equipos necesarios para realizar estos análisis. Los resultados son favorables para el alcohol etílico con resultados de fracción volumétrica del 95%; acidez total 1,98 g/cm³, ésteres 3,71 g/cm³; aldehídos menores de 0,01 mg/cm³; furfural menor de 0,01 mg/cm³; metanol 2,50 mg/cm³; alcoholes superiores 15,79 mg/cm³. Vemos que los valores, especialmente el metanol, están dentro de los rangos, salvo los alcoholes superiores que no afectan al producto, ya que en comparación con el aguardiente de caña se encuentra en 150 mg/cm³. El alcohol se puede utilizar en las diferentes aplicaciones de coctelería que se le quiera dar.

CONCLUSIONES

Se diseñó un proceso industrial para la elaboración de una bebida alcohólica a partir de pulpa de guanábana (*Annona muricata*) y enriquecido con jugo de caña (*Saccharum officinarum*) para la empresa Comercializadora Allpa Grefa Wayusa Shayary Cía. Ltda. dando como resultado un alcohol etílico de 95°GL con rendimiento global del proceso de 5,60%.

Se realizó la caracterización fisicoquímica de la materia prima, se realizaron análisis de acidez, °brix, índice de refracción, cenizas, densidad, sólidos totales y temperatura para asegurar que sean adecuados para el procedimiento y brinden los mejores resultados.

Se realizó pruebas de laboratorio a la bebida alcohólica producida por la fermentación de guanábana y caña, mediante toma de datos de °brix, pH y Gay-Lussac para conocer el comportamiento que estos tienen en un lapso de 95 h. Como consecuencia, se reducen los °brix y pH en la fermentación, se elevan los grados alcohólicos por el consumo de azúcares en la fermentación.

Se determinó las variables de diseño del proceso para la obtención de la bebida alcohólica, como el estado de madurez de la materia prima, temperatura y pH como variables dependientes e independientes como las cantidades utilizadas en los distintos procedimientos. Considerando como principal variable la maduración de la materia prima, ya que esta influirá en la conversión de °brix a alcohol.

Se realizó los cálculos y diseño de ingeniería en base a las variables del proceso para el dimensionamiento de equipos como el contenedor de recepción y lavado, despulpadora, filtrador, fermentador, columna de destilación y rectificación necesaria para el proceso de obtención de alcohol etílico al 95 °GL.

Se realizó la validación técnica y económica del proyecto a través de la norma NTE INEN 375:2018-03. Bebidas alcohólicas. Alcohol Etílico De Origen Agrícola. Estando estos requisitos dentro de los parámetros establecidos, a excepción de los alcoholes superiores, lo cual no afecta en nada a nuestro producto y siendo apto para su elaboración, brindando beneficios en las diferentes aplicaciones de coctelería. Además, se conoce que el precio de producción variable es de \$3,34 por litro, ofreciendo ganancias del 29% con respecto al precio comercial de este producto.

RECOMENDACIONES

Se puede dar un valor agregado a los materiales residuales del despulpado para la elaboración del compostaje, minimizando los residuos generados en los procesos, dando lugar a una economía recircular y brindando una alternativa ecológica.

Una vez recolectadas las materias primas, se deben procesar para evitar pérdidas tanto por descomposición de la materia prima como por pérdida de azúcares, como ocurre con la caña de azúcar, ya que es parte importante de este diseño industrial, sus azúcares contribuyen a la transformación de éstos en alcohol en la fermentación.

Para la activación de la levadura que se pretenda utilizar, es importante seguir las instrucciones presentadas por cada una de ellas.

Si no se alcanza el grado alcohólico deseado durante los tiempos de fermentación, se pueden utilizar edulcorantes para que las levaduras sigan fermentando el jugo de la fruta.

La desinfección del área de trabajo y el lavado de la materia prima son necesarios para garantizar la inocuidad, evitando así la contaminación cruzada en el proceso.

Se podría considerar para próximas investigaciones un rediseño para implementar la destilación y rectificación de la bebida alcohólica en la misma columna.

La empresa podría considerar darle otras utilidades al alcohol etílico obtenida además de uso en coctelería.

GLOSARIO

Aguardiente de frutas. - Se obtiene al destilar una o varias frutas pulposas o el mosto de estas frutas, que han sido fermentadas o maceradas. También puede ser conocida como Aguardiente de fruta, o Aguardiente seguido del nombre de la fruta o frutas utilizadas en su producción.

Alcohol Eílico de origen agrícola. - Producto que se obtiene a través de destilar y refinar los jugos que provienen exclusivamente de la fermentación alcohólica de materias primas de origen agrícola con alto contenido de azúcar o almidón, así como también de refinar aguardientes o destilados alcohólicos simples.

Bebida alcohólica destilada. – Es la bebida alcohólica que se obtiene al someter a destilación y/o rectificación los mostos fermentados que han sido procesados de manera apropiada.

Destilación. - Procedimiento que se basa en la ebullición y la posterior condensación para llevar a cabo la separación de sustancias.

Destilación Fraccionada. - Procedimiento físico que se emplea para separar mezclas simples que contienen dos componentes, como el alcohol y el agua, utilizando el calor como factor clave.

Fermentación. - Es un proceso químico que ocurre de manera natural debido a la actividad de ciertos microorganismos, y se caracteriza por la conversión de sustancias complejas en compuestos orgánicos más simples.

Grado alcohólico. - Es la medida del contenido de alcohol eílico en una bebida alcohólica, expresada en centímetros cúbicos por cada 100 cm³ de la bebida, a una temperatura específica.

Grado alcohólico Gay Lussac. - Es la graduación alcohólica de una mezcla de agua y alcohol puro, medida directamente por el alcoholímetro centesimal de Gay Lussac a una temperatura estándar. Se representa comúnmente con el símbolo "GL" o grados Gay Lussac.

Rectificación. - Es el procedimiento utilizado para remover los componentes no deseados presentes en una mezcla de agua y alcohol, aumentando así el contenido alcohólico de la misma. La normativa NTE INEN 338:1992-04 tiene por objetivo establecer definiciones relacionadas con bebidas alcohólicas y sus materias primas. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1997)

BIBLIOGRAFÍA

ALARCÓN, A. Estudio del comportamiento de propiedades fisicoquímicas, reológicas y térmicas de jugos y mieles de caña panelera. [en línea]. (Tesis) (Ingeniería) Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Colombia. 2017. pp. 40–43. [Consulta: 16 febrero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/63049/1032447558.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ARRAZOLA.; et al. “Determinación física y bromatológica de guanábana cimarrona (annona glabra L.) del departamento de Córdoba Determinación física y bromatológica de la guanábana cimarrona (Annona glabra L.) del departamento de Córdoba” Orinoquia. [en línea], 2013, (Córdoba) 17(2) p. 15. [Consulta: 14 enero 2023]. ISSN 0377-8401. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v17n2/v17n2a02.pdf>

ASUERO.; et al. *Estudio de mercado/ Sector del Azúcar.* [blog] Superintendencia. 2023. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: https://www.scpm.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2021/04/estudio_de_mercado_sector_azucar_SCPM-IGT-INAC-003-2019.pdf

BONILLA, S.; & ALVARES, D. Diseño, construcción y puesta en marcha de una columna piloto de destilación de platos perforados con alimentación dual. [en línea]. (Tesis) (Ingeniería) Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Ingeniería Química, Ecuador. 2011. [[Consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/2078/1/1065.pdf>

CARBONERO, P. *Bioquímica de las fermentaciones.* [blog] Monografías de la escuela. 2022. [Consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <https://oa.upm.es/55235/1/FERMENTACIONES.pdf>

CHANGO, J. OBTENCIÓN DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA DEL FRUTO CHONTADURO (*Bactris gasipaes H.B.K.*) [en línea]. (Tesis) (Ingeniería) Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos, Ingeniería en Alimentos, Ecuador. 2006. pp. 5-17. [Consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3333/1/P70%20Ref.2959.pdf>

CHUQUÍN, D. Diseño y simulación de una columna de destilación binaria de etanol-agua para la empresa Hetween. [en línea]. (Tesis) (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Ecuador. 2013. p.153. [Consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2528/1/96T00210.pdf>

EQUIPOS PARA INGENIOS. *Filtros SIBOMAT. EPI.* [blog] Sibomat. 2023. [Consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <http://equiposparaingenios.com.mx/es/sibomat/>

GONZÁLES, X. DESARROLLO DE UNA TECNOLOGÍA PARA ELABORAR UNA BEBIDA ALCOHÓLICA A PARTIR DE LA GROSELLA BLANCA (*Phyllanthus acidus*). . [en línea]. (Tesis) (Ingeniería) Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos, Ingeniería en Alimentos, Ecuador. 2013. pp. 77-79 [Consulta: 10 noviembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3164/1/AL499.pdf>

HOYOS, J.; et al. “Determinación de parámetros fermentativos para la formulación y obtención de vino de naranja”. Taller Editorial Universidad del Cauca. [en línea], 2010, (Colombia) 8(1) p. 3-5. [Consulta: 16 febrero 2023]. ISSN 1692-3561. Disponible en: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CO2010E00047>

IGLESIA, J. *Operaciones y Procesos.* [blog]. 2006. [Consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1313/course/section/1616/BLOQUE2-OyP.pdf>

NTE INEN:338-04. *Bebidas Alcohólicas Definiciones.*

NTE INEN:2018-03. *Bebidas Alcohólicas. Alcohol Etilico De Origen Agrícola. Requisitos.*

LEIVA, S.; et al. “*Annona muricata* L. “guanábana” (Annonaceae), una fruta utilizada como alimento en el Perú prehispánico”. *Arnaldoa.* [en línea], 2018, (Perú) 1(4) pp. 4-14. [Consulta: 10 febrero 2023]. ISSN 2413-3299. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v25n1/a08v25n1.pdf>

LÓPEZ, E.; et al. “Obtención y caracterización del jugo de caña de azúcar”. Ecorfan. [en línea], 2013, (México) 1(1) p 6. [Consulta: 15 febrero 2023]. ISSN 2359-3299. Disponible en: <https://www.ecorfan.org/handbooks/pdf/CAC11.pdf>

LÓPEZ, M. Diseño del proceso industrial para la obtención de alcohol a partir de eugenia stipitata. [en línea]. (Tesis) (Ingeniería), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Ecuador. 2018. p.35-40. [Consulta: 26 noviembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/8658/1/96T00460.pdf>

LUCERO, P. Efecto del uso de levaduras y concentración de °Brix en las características fisicoquímicas y sensoriales de vino de fresa con miel. [en línea]. (Tesis) (Ingeniería), Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 2015. pp.5-9. [Consulta: 26 noviembre 2022]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/8c5bc078-f8fc-4424-a18d-eb891c624c35/content>

MORENO, L. Plan De Negocios Para La Exportación De Guanábana Hacia El Mercado De Estados Unidos. [en línea]. (Tesis) (Ingeniería), Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Economía Agrícola, Carrera de Ciencias Económicas. 2021. pp.3-14. [Consulta: 26 noviembre 2022]. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MORENO%20LARRAGA%20L..pdf>

NALASCO, Y.; et al. “Caracterización morfológica y fisicoquímica de frutos de accesiones de guanábanas seleccionadas en Nayarit”. Revista Mexicana de Ciencias Agrícola. [en línea], 2019, (México) 23(1) p. 11. [Consulta: 15 febrero 2023]. ISSN 2007-9230. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10nspe23/2007-0934-remexca-10-spe23-223.pdf>

NAYARIT. *La caña de azúcar y su importancia para la industria azucarera. Gobierno de México.* [blog]. 2022. [Consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/nayarit/articulos/la-cana-de-azucar-y-su-importancia-para-la-industria-azucarera?idiom=es>

OJERA, G.; et al. “Caracterización fisicoquímica de la pulpa de la guanábana (*Annona muricata* L.) cultivada en el occidente de Venezuela”. Boletín del centro de Investigaciones Biológicas. [en línea], 2007, (Venezuela) 41(2) p. 151-160. [Consulta: 15 febrero 2023]. ISSN 2477-9458. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/284705114_Caracterizacion_fisicoquimica_de_la_pulpa_de_la_guanabana_Annona_muricata_L_cultivada_en_el_occidente_de_Venezuela

PACHECO, N.; & TRUJILLO, J. “Obtención de etanol por fermentación alcohólica a partir del exudado de la pulpa de cacao (*Theobroma cacao* L.)”. [en línea]. (Tesis) (Química Farmacéutica), Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Escuela Profesionales de Farmacia y Bioquímica. Perú. 2019. pp.3-14. [Consulta: 16 febrero 2022]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/323343109.pdf>

PÉREZ, O.; et al. 2010. “Evaluación de propiedades termodinámicas de mezclas etanol-agua (I)”. Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. [en línea], 2010, (Colombia) 1(52) p.12 [Consulta: 25 febrero 2023]. ISSN 0120-6230. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n52/n52a05.pdf>

PÉREZ, P. OBTENCIÓN DE UNA BEBIDA FERMENTADA ALCOHÓLICA A BASE DE MOSTO DE DURAZNO ABRIDOR (*Prunus persica*). [en línea]. (Tesis) (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Salud Pública, Carrera de Gastronomía, Ecuador. 2019. p.79. [Consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11842/1/84T00642.pdf>

PROCAÑA. *Subproductos y Derivados de la Caña*. [blog]. 2021. [Consulta: 7 agosto 2022]. Disponible en: <https://procana.org/site/subproductos-y-derivados-de-la-cana/>

PROCAÑA. *Asociación Colombiana de Productores y Proveedores de Caña de Azúcar*. [blog]. 2022. [Consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: Recuperado a partir de: <https://procana.org/site/>

RAMÍREZ, G.; & RENDÓN, M. Propuesta para la elaboración de una bebida alcohólica a base de la badea (*Passiflora quadrangularis*). [en línea]. (Tesis) (Ingeniería) Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Carrera Licenciatura en Gastronomía, Ecuador. 2022. pp.15-23. [Consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/61074/1/BINGQ-GS-22P19.pdf>

RODRÍGUEZ, D.; et al. EFECTO DE DOS ÍNDICES DE MADUREZ Y DOS TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO SOBRE EL COMPORTAMIENTO EN ALMACENAMIENTO SOBRE EL COMPORTAMIENTO EN POSCOSECHA POSCOSECHA DE LA PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus* Haw.). Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín. [en línea], 2005, (Colombia) 58(2)

p. 7. [Consulta: 15 febrero 2023]. ISSN 0304-2847. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914237004>

SALAZAR, G. Estudio de la influencia de tres variedades de levaduras vínicas (*saccharomyces bayanus* (lalvin ec1118), *saccharomyces bayanus* (lalvin qa23), *saccharomyces cerevisiae* var. *Cerevisiae* (lalvin icv opale)) y levadura de panificación (*saccharomyces cerevisiae*) en la calidad sensorial del vino de manzana, variedad emilia (*malus communis* – reineta amarilla de blenheim). [en línea]. (Tesis) (Ingeniería) Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Carrera Ingeniería en alimentos, Ecuador. 2010. pp.15-23. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/852/1/AL440%20Ref.%203286.pdf>

SANTOS, M. Evaluación económica de co-inoculación de levaduras *saccharomyces* y no-*saccharomyces* en vinos chilenos. [en línea]. (Tesis) (Ingeniería) Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Química y Medio Ambiente, España. 2016. pp.15. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: https://oa.upm.es/43986/1/TFG_MARIA_DE_LA_CRUZ_SANTOS_NAVARRETE.pdf

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. *Guanábana, fruta exótica perfecta para refrescar nuestros paladares* [blog]. 2022. [Consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/guanabana-fruta-exotica-perfecta-para-refrescar-nuestros-paladares>

TELLO, P. 2018. Efectos que produce el jugo de caña en la durabilidad y propiedades de una carpeta [en línea]. (Tesis) (Ingeniería) Universidad Nacional Agraria – Nicaragua. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 2018. pp.15-23. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/8981/1/Pablo%20Joaquin%20Tello%20Ur%C3%ADzar.pdf>

ULPGC. Altura de plano de trabajo en posición de pie y sentado. [blog]. 2022. [Consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: https://www.ulpgc.es/sites/default/files/ArchivosULPGC/Servicio%20de%20Prevencion%20de%20Riesgos/triptico_imprimible_trabajo_de_pie_y_sentado.pdf

VALDEÓN, D. 2018. *Tecnologías de deshidratación de bioetanol*. San Miguel de Tucumán: Universidad Tecnológica Nacional.

VÁZQUEZ, H & DACOSTA, O, 2007. Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas Ingeniería Investigación y Tecnología. [en línea], 2007, (México) 8(4) pp. 249–259. [Consulta: 15 febrero 2023]. ISSN 2594-0732. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v8n4/v8n4a4.pdf>

ZAMBRANO, C. *Subproductos y derivados de la caña de azúcar*. [blog]. 2014. [Consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <https://servisha.wixsite.com/servishaca/single-post/2014/11/14/Sub-productos-y-derivados-de-la-ca%C3%B1a-de-az%C3%BAcar>

ZUMEC. *Despulpadora de frutas paddle finisher*. [blog]. 2023. [Consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.zumexfoodengineering.com/es/producto/despulpadora-de-frutas-paddle-finisher>



ANEXOS

ANEXO A: RESULTADOS DEL LABORATORIO MULTIANALITYCA S.A. PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL ETANOL



INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-IN.64986a

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	EDISON ZAPATA
Dirección:	RIOBAMBA
Teléfono:	0995955084 0999959732

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	ALCOHOL ETILICO DE ORIGEN AGRICOLA		
Lote	---	Contenido Declarado:	1000MI
Fecha de Elaboración:	2023-02-03	Fecha de Vencimiento:	---
Fecha de Recepción:	2023-02-10	Hora de Recepción	12:01:30
Fecha de Análisis:	2023-02-12	Fecha de Emisión:	2023-02-17
Material de Envase:	PEP (COLOR AZUL)		
Toma de Muestra realizada por:	EL CLIENTE		
Observaciones:	Los resultados reportados en el presente informe se refieren a los datos y las muestras entregadas por el cliente a nuestro laboratorio.		

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Color:	Característico	Olor:	Característico
Estado:	Líquido.	Conservación:	Al Ambiente
Temperatura de la muestra:	AMBIENTE		

RESULTADOS INSTRUMENTAL

PARAMETROS	RESULTADO	UNIDAD	METODO DE ANALISIS INTERNO	METODO DE ANALISIS DE REFERENCIA
GRADO ALCOHOLICO	95	°GL	MIN-06	NTE INEN 340:2016 (Método alcoholímetro vidrio)
ACIDEZ TOTAL	1.98	mg/100 cm ³ AA	MIN-163	NTE INEN 341:1978/ Volimetría
°ESTERES	3.71	mg/100 cm ³ AA	MIN-85	NTE INEN 2014:2015/ CG-FID
°ALDEHIDOS	< 0.01	mg/100 cm ³ AA	MIN-86	NTE INEN 2014:2015/ CG-FID
°FURFURAL	< 0.01	mg/100 cm ³ AA	MIN-88	NTE INEN 2014:2015/ CG-FID
°METANOL	2.50	mg/100 cm ³ AA	MIN-24	NTE INEN 2014:2015/ CG-FID
°ALCOHOLES SUPERIORES	15.79	mg/100 cm ³ AA	MIN-87	NTE INEN 2014:2015/ CG-FID



JORGE ERAZO N50-109 Y CAPITÁN CRISTOBAL SANDOVAL
LA CONCEPCIÓN - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
Telf: (02) 330 0247, 226 9743, 244 4670 / email: informes@multianalityca.com

ANEXO B: NTE INEN 375:2018-03 BEBIDAS ALCOHÓLICAS. ALCOHOL ETÍLICO DE ORIGEN AGRÍCOLA. REQUISITOS



Quito – Ecuador

**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN 375
Tercera revisión
2018-03

**BEBIDAS ALCOHÓLICAS. ALCOHOL ETÍLICO DE ORIGEN
AGRÍCOLA. REQUISITOS**

ALCOHOLIC BEVERAGES. ETHYL ALCOHOL OF AGRICULTURAL ORIGIN. REQUIREMENTS

BEBIDAS ALCOHÓLICAS ALCOHOL ETÍLICO DE ORIGEN AGRÍCOLA REQUISITOS

1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece los requisitos para el alcohol etílico de origen agrícola a utilizarse en la elaboración de bebidas alcohólicas.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos, en su totalidad o en parte, son indispensables para la aplicación de este documento. Para referencias fechadas, solamente aplica la edición citada. Para referencias sin fecha, aplica la última edición (incluyendo cualquier enmienda).

CPE INEN-CODEX CAC/GL-50, *Directrices generales sobre muestreo*

NTE INEN 338, *Bebidas alcohólicas. Definiciones*

NTE INEN 340, *Bebidas alcohólicas. Determinación del contenido de alcohol etílico. Método del alcoholímetro de vidrio*

NTE INEN 341, *Bebidas alcohólicas. Determinación de la acidez*

NTE INEN 2014, *Bebidas alcohólicas. Determinación de los productos congéneres por cromatografía de gases*

3. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, se adopta la siguiente definición contemplada en NTE INEN 338 y la que a continuación se detalla:

3.1

alcohol etílico de origen agrícola

Producto obtenido mediante la destilación y la rectificación de mostos provenientes únicamente de la fermentación alcohólica de materias primas de origen agrícola de naturaleza azucarada o amilácea, así como también de la rectificación de aguardientes o de destilados alcohólicos simples.

4. CLASIFICACIÓN

El alcohol etílico de origen agrícola se clasifica en:

4.1 Alcohol extraneutro

Alcohol etílico de origen agrícola con un grado alcohólico mínimo de 96 % de fracción volumétrica y cuyo contenido total de congéneres se especifica en la Tabla 1.

4.2 Alcohol neutro

Alcohol etílico de origen agrícola con un grado alcohólico mínimo de 95 % de fracción volumétrica y cuyo contenido total de congéneres se especifica en la Tabla 1.

5. REQUISITOS

El alcohol etílico de origen agrícola debe cumplir con los siguientes requisitos:

- 5.1 Tener aspecto transparente e incoloro;
- 5.2 No tener sabores ni olores extraños;
- 5.3 Cumplir con los requisitos físicos y químicos establecidos en la Tabla 1.

TABLA 1. Requisitos físicos y químicos para el alcohol etílico de origen agrícola

Requisito	Unidad	Alcohol etílico extraneutro		Alcohol etílico neutro		Método de ensayo
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
Alcohol, fracción volumétrica	%	96	-	95	-	NTE INEN 340
Acidez total, como ácido acético	mg/100 cm ³ (*)	-	1,5	-	3,0	NTE INEN 341
Ésteres, como acetato de etilo	mg/100 cm ³ (*)		1,3	-	5,0	NTE INEN 2014
Aldehídos, como etanal	mg/100 cm ³ (*)		0,2	-	2,0	NTE INEN 2014
Furfural	mg/100 cm ³ (*)	-	0,01	-	0,01	NTE INEN 2014
Metanol	mg/100 cm ³ (*)	-	1,5		10,0	NTE INEN 2014
Alcoholes superiores **	mg/100 cm ³ (*)	-	0,7	-	3,0	NTE INEN 2014

* El volumen de 100 cm³ corresponde al alcohol absoluto.
 ** Los alcoholes superiores comprenden: isopropanol, propanol, isobutanol, isoamílico, amílico.

6. MUESTREO

El número de unidades de muestra y los criterios sobre el nivel aceptable de calidad pueden determinarse de acuerdo con los planes de muestreo para características químicas y físicas establecidas en CPE INEN-CODEX CAC/GL 50.

ANEXO C: CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

a)



b)



c)



d)



NOTAS:

- a) Determinación de sólidos totales y cenizas totales.
- b) Determinación de °brix, índice de refracción y temperatura.
- c) Determinación de pH.
- d) Determinación de acidez.

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ELABORADO POR:
ZAPATA EDISON**

PARTE EXPERIMENTAL

LÁMINA	ESCALA	FECHA
1	1:1	2023/01/09

ANEXO D: ELABORACIÓN DE LA BEBIDA ALCOHÓLICA

a)



b)



c)



d)



NOTAS:

- a) Recolección de guanábana.
- b) Recolección de jugo de caña azucarera.
- c) Despulpado de guanábana.
- d) Pulpa de guanábana.

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Certificado
- Información
- Preliminar
- Por aprobar
- Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**
ELABORADO POR:
ZAPATA EDISON

PARTE EXPERIMENTAL

LÁMINA	ESCALA	FECHA
2	1:1	2023/01/09

e)



f)



g)



h)



NOTAS:

- e) Filtrado de jugo de guanábana y caña azucarera.
- f) Fermentación del jugo mezcla.
- g) Columna de destilación para el jugo mezcla.
- h) Rectificación del alcohol etílico obtenido.

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Certificado
- Información
- Preliminar
- Por aprobar
- Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**
ELABORADO POR:
ZAPATA EDISON

PARTE EXPERIMENTAL

LÁMINA	ESCALA	FECHA
3	1:1	2023/01/09

ANEXO E: CARACTERIZACIÓN REALIZADA AL FERMENTO Y BEBIDA ALCOHÓLICA DESTILADA

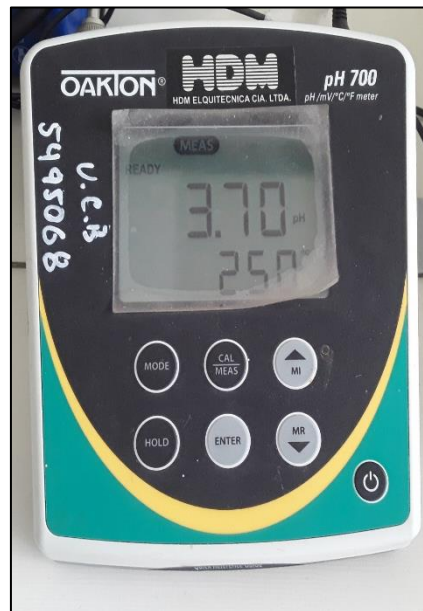
a)



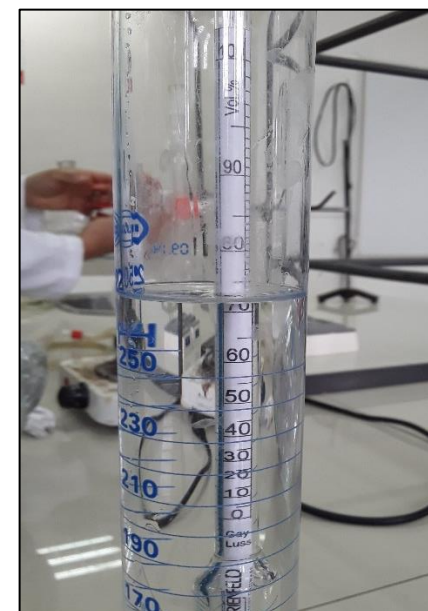
b)



c)



d)



NOTAS:

- a) Determinación de densidad.
- b) Determinación de °brix, índice de refracción y temperatura.
- c) Determinación de pH.
- d) Determinación de °GL del alcohol etílico destilado.

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Certificado
- Información
- Preliminar
- Por aprobar
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 ELABORADO POR:
 ZAPATA EDISON

PARTE EXPERIMENTAL

LÁMINA	ESCALA	FECHA
4	1:1	2023/01/09



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 07 / 07 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Edison Rolando Zapata Gómez
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1193-DBRA-UPT-2023