



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente.

Carrera de Agroindustrias

TEMA:

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESTILACIÓN MEDIANTE UNA COLUMNA EMPACADA, PARA LA OBTENCIÓN DE PÁJARO AZUL, EN LA PARROQUIA FACUNDO VELA, PROVINCIA BOLÍVAR.

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Agroindustrias.

AUTORES:

Bryan Eugenio Andrade Viscarra

Danilo Alexis Merino Azogue

TUTOR:

Ing. Franz Patricio Verdezoto Mendoza MSc

Guaranda – Ecuador

2024

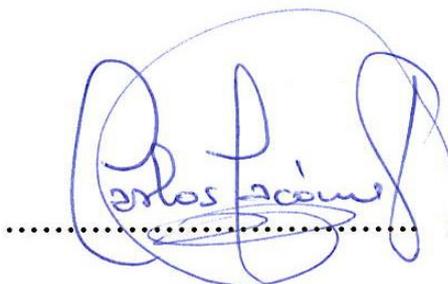
OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESTILACIÓN MEDIANTE UNA
COLUMNA EMPACADA, PARA LA OBTENCIÓN DE PÁJARO AZUL, EN LA
PARROQUIA FACUNDO VELA, PROVINCIA BOLÍVAR.

REVISADO Y APROBADO POR:



Ing. Franz Patricio Verdezoto Mendoza MSc.

TUTOR



Ing. Carlos Rodrigo Jácome Pilco PhD.

PAR LECTOR



Ing. Darwin Alberto Núñez Torres MSc.

PAR LECTOR

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Bryan Eugenio Andrade Viscarra, con CI: 1752239960 y Danilo Alexis Merino Azogue, con CI: 0202617460, declaramos que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional y que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivos autor(es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.

Bryan Eugenio Andrade Viscarra

1752239960

Danilo Alexis Merino Azogue

0202617460

Ing. Franz Patricio Verdezoto Mendoza MSc.
0201668043





DRA. MSc. GINA CLAVIJO CARRION
Notaria Cuarta del Cantón Guaranda.

ESCRITURA N° 20240201004P00331

DECLARACIÓN JURAMENTADA

OTORGAN:

DANILO ALEXIS MERINO AZOGUE Y
BRYAN EUGENIO ANDRADE VISCARRA

CUANTÍA: INDETERMINADA

Di 2 COPIAS

En el Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy martes a los treinta días del mes de abril del año dos mil veinticuatro, ante mí **DOCTORA MSc. GINA LUCIA CLAVIJO CARRIÓN, NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA** comparecen con plena capacidad, libertad y conocimiento, a la celebración de la presente escritura los señores, **DANILO ALEXIS MERINO AZOGUE** de estado civil soltero; y, **BRYAN EUGENIO ANDRADE VISCARRA**, de estado civil soltero, por sus propios y personales derechos en calidad de OTORGANTES. Los comparecientes declaran ser de nacionalidad ecuatorianos, mayores de edad, de estado civil como se deja expresado, de ocupación ambos estudiantes, domiciliado el primero en la parroquia Facundo Vela, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, con teléfono celular número cero nueve seis cero siete cero cinco siete seis cero; y, con correo electrónico danilomerino100@gmail.com; y, el segundo en la parroquia Guanujo, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, con teléfono celular número cero nueve ocho cinco dos cinco dos tres cero cuatro; y, con correo electrónico bryanandrade19969@gmail.com, hábiles en derecho para contratar y contraer obligaciones, a quienes de conocer doy fe, en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación cuyas copias fotostáticas debidamente certificadas por mí, agrego a esta escritura como documentos habilitantes. Advertidos los comparecientes por mí la Notaria de los efectos y resultados de esta escritura, así como examinados que fueron en forma aislada y separada de que comparecen al otorgamiento de esta escritura sin coacción, amenazas, temor reverencial, ni promesa o seducción instruidos por mí de la obligación que tienen de decir la verdad con claridad y exactitud; y, advertidos sobre la gravedad del juramento y de las penas de perjurio, me solicitan que recepte su declaración juramentada: Nosotros, **DANILO ALEXIS MERINO AZOGUE** de estado civil soltero; y, **BRYAN EUGENIO ANDRADE VISCARRA**, de estado civil soltero, declaramos que los criterios e ideas emitidos en el presente Proyecto de investigación de titulación es de nuestra absoluta autoría, titulado **OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESTILACIÓN MEDIANTE UNA COLUMNA EMPACADA, PARA LA OBTENCIÓN DE PÁJARO AZUL, EN LA PARROQUIA FACUNDO VELA, PROVINCIA BOLÍVAR**, previo a la obtención del título de Ingenieros Agroindustriales, otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, carrera de Agroindustria.- Es todo cuanto podemos declarar en honor a la verdad.- Para su otorgamiento se observaron los preceptos de ley y leída que les fue a los comparecientes íntegramente por mí la Notaria, aquellos se afirman y ratifican en todas sus partes y firman junto conmigo en unidad de acto, incorporando al protocolo de esta Notaria la presente escritura de Declaración Juramentada, de todo cuanto doy Fe.-----

SR. DANILO ALEXIS MERINO AZOGUE.
C.C. 0202617460



SR. BRYAN EUGENIO ANDRADE VISCARRA.
C.C. 1752239960



DOCTORA MSc. GINA LUCIA CLAVIJO CARRION
NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA.



NOMBRE DEL TRABAJO

Proyecto_de_investigacion_Andrade_Merino.docx

AUTOR

Bryan Andrade

RECUENTO DE PALABRAS

17857 Words

RECUENTO DE CARACTERES

98029 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

114 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

9.1MB

FECHA DE ENTREGA

May 1, 2024 9:23 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 1, 2024 9:27 AM GMT-5

7% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de Internet
- Base de datos de publicaciones
- Base de datos de trabajos entregados
- Fuentes excluidas manualmente



ING. Franz Patricio Verdezoto Mendoza MSc.

TUTOR

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación se lo dedico primeramente a Dios, por haberme dado salud, y sabiduría en esta travesía llamada vida. A mi madre que desde el cielo me dio la fortaleza y me guió a lo largo de toda mi carrera, fui soy y seré todo gracias a ella, A mi padre por nunca haberme dejado solo, gracias a todo su esfuerzo y dedicación por hacer de mí alguien mejor, A mis hermanas por su cariño y apoyo incondicional en todo este lapso de mi carrera, A mi esposa por haber estado siempre a mi lado en las buenas y en las malas como muestra irrevocable de su amor, A mi hija por haber sido la motivación más grande de amor para culminar este trayecto, espero llegar hacer un padre ideal en tu vida.

Andrade Viscarra Bryan

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación es un paso más en mi etapa formativa, un logro que se lo dedico a Dios por bendecirme con la salud y vida para seguir luchando día a día en estos 6 años de carrera, a mis padres Lilian y Carmita, en especial a mi madre por los sacrificios económicos por esa voluntad para ser primero madre y luego mujer. También quiero dedicar este avance sustancial a mi hermano Ariel, que desde el cielo bendice mis pasos y celebra mis logros.

Merino Azogue Danilo

AGRADECIMIENTO

Después de años de esfuerzo, dedicación y muchos sentimientos encontrados, extiendo mi agradecimiento a la Universidad Estatal de Bolívar por haberme permitido desde sus aulas formar parte de esta enriquecedora experiencia, A mi querida carrera de Ingeniería Agroindustrial por su formación y enseñanzas y a todos los docentes que formaron parte de la misma en especial a mi Tutor Ing. Franz Verdezoto por su confianza, aporte y guía en el desarrollo de este trabajo, de igual manera al Dr. Carlos Jácome (Par evaluador), Ing. Darwin Núñez (Par evaluador), e Ing. Katherine Beltrán por su apoyo incondicional en el lapso de mi carrera. Agradezco también a todas las personas que de una u otra forma me brindaron su apoyo para culminar esta etapa. Finalmente agradezco a mis compañeros de Universidad por todos estos años compartidos, y a mi mejor amigo Ronald Guerrero por siempre estar en los momentos trascendentales de mi vida.

Andrade Viscarra Bryan

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento a Dios por no descuidarme en todo este difícil trayecto por bendecirme con la salud y vida para realizar mis proyectos. También agradecer a mis padres por sus enseñanzas, su esfuerzo y su confianza, por los valores y principios que cultivaron en mí, han sido cruciales para no perder de vista mis objetivos, a mis hermanas Amanda y Mireya, a mi cuñado Fabián, por el apoyo económico y moral, a mi novia Janeth quien formó parte de este proceso como amiga, consejera y cómplice. Hoy puedo decir que la educación no es una obligación es un privilegio, un privilegio que gracias al esfuerzo y sacrificio de ustedes mi familia he podido aprovechar. Agradezco a la Universidad Estatal de Bolívar, y a quienes conforman la carrera de Agroindustrias por su aporte académico y personal en especial al Ing. Franz Verdezoto Mendoza (Tutor), Dr. Carlos Jácome (par evaluador), Ing. Darwin Núñez (par evaluador) y en general al personal docente de esta gran carrera por compartir sus experiencias académicas, laborales y personales me motivan a perseguir el éxito profesional.

Merino Azogue Danilo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PROBLEMA	3
1.2.1. Planteamiento del problema	3
1.2.2. Formulación del problema	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. HIPÓTESIS	5
1.4.1. Hipótesis nula (Ho)	5
1.4.2. Hipótesis alternativa (Ha)	5
CAPÍTULO II	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Columnas empacadas	6
2.1.1. Características y funcionamiento de una torre empacada	8
2.2. COMPONENTES INTERNOS DE UNA TORRE EMPACADA	9
2.2.1. Distribuidor de líquido de alimentación	9
2.2.2. Empaque	10
2.2.3. Empaques al azar	12
2.3. TIPOS DE EMPAQUES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA DE LA DESTILACIÓN	14
2.3.1. Empaques regulares	15
2.3.2. Columna de empacado	17
2.3.3. Composición permisible en bebidas alcohólicas	18
2.3.4. Alcoholes superiores	18
2.4. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE ALCOHOLES SUPERIORES	19

2.4.1. Metanol-----	20
2.4.2. Intoxicación por metanol -----	23
2.4.3. Furfurales -----	24
2.4.4. Proceso de destilación de licor-----	25
CAPÍTULO III-----	28
3. MARCO METODOLÓGICO -----	28
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN -----	28
3.1.1. Localización de la investigación-----	28
3.1.2. Situación geográfica y climática de la localidad -----	28
3.1.3. Zona de vida-----	29
3.2. MATERIALES-----	29
3.2.1. Material experimental-----	29
3.2.2. Materiales de laboratorio -----	29
3.2.3. Materiales de trabajo -----	29
3.2.4. Equipos-----	30
3.3. MÉTODOS -----	30
3.3.1. Factores en estudio -----	30
3.3.2. Tratamientos-----	31
3.3.3. Características del experimento-----	31
3.3.4. Tipo de diseño experimental -----	31
3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL -----	33
3.4.1. Análisis de la materia prima para la obtención de pájaro azul -----	33
3.4.2. Medición del grado alcohólico-----	33
3.4.3. Medición del furfural-----	33
3.5. NIVEL DE METANOL-----	33
3.5.1. Nivel de alcoholes superiores -----	34
3.6. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO Y RECTIFICACIÓN DEL ALCOHOL -----	34

3.6.1. Modelos matemáticos empleados en la construcción del equipo de destilación-----	34
3.6.2. Descripción del proceso para la rectificación del alcohol artesanal -	35
3.6.3. Determinación del mejor tratamiento y formulación del licor pájaro azul.	36
3.7. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL PÁJARO AZUL -----	36
3.7.1. Formulación del licor pájaro azul -----	37
3.7.2. Diagrama de flujo para la elaboración de pájaro azul -----	37
3.7.3. Descripción del diagrama de elaboración del licor pájaro azul -----	38
3.7.4. Diagrama de proceso para elaboración de licor pájaro azul. -----	39
CAPITULO IV -----	40
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	40
4.1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA -----	40
4.2. DISEÑO DE LA COLUMNA EMPACADA -----	41
4.2.1. Diámetro de la columna empacada-----	41
4.2.2. Diagrama del prototipo de destilador empacado -----	42
4.3. RESULTADOS DE LOS TRATAMIENTOS EN FUNCIÓN DEL RENDIMIENTO -----	43
4.3.1. Evaluación de la calidad del pájaro azul -----	54
4.4. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS-----	55
4.4.1. Justificación de la hipótesis -----	55
CAPÍTULO V -----	56
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	56
5.1. CONCLUSIONES-----	56
5.2. RECOMENDACIONES-----	57
ANEXOS -----	65

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Detalle	Pág.
1.	<i>Requisitos para un alcohol con base a la normativa NTE INEN1837:1991</i>	18
2.	<i>Localización geográfica del proyecto</i>	28
3.	<i>Aspectos generales del territorio</i>	28
4.	<i>Equipos a emplear dentro de la presente investigación.....</i>	30
5.	<i>Factores de estudio para el diseño escala piloto</i>	30
6.	<i>Combinación de tratamientos</i>	31
7.	<i>Características de la experimentación.....</i>	31
8.	<i>Análisis de varianza (ANOVA) para el diseño en arreglo factorial AxBxC.</i>	32
9.	<i>Porcentajes utilizados en la formulación del licor pájaro azul.</i>	37
10.	<i>Análisis de congéneres e interpretación según la NTE INEN 1837:1991</i>	40
11.	<i>Dimensionamiento de la columna y sus componentes</i>	43
12.	<i>Resultado del alcohol rectificado obtenido.....</i>	43
13.	<i>Análisis de Varianza para el rendimiento o volumen de alcohol rectificado..</i>	44
14.	<i>Prueba de múltiples rangos para el rendimiento de alcohol rectificado.....</i>	45
15.	<i>Prueba de múltiples rangos para el rendimiento de alcohol</i>	45
16.	<i>Prueba de múltiples rangos para el rendimiento de alcohol rectificado.....</i>	45
17.	<i>Análisis de varianza para la graduación obtenida</i>	49
18.	<i>Prueba de múltiples rangos al 95% de confianza para la graduación obtenida</i>	50
19.	<i>Análisis químico del licor pájaro azul</i>	54

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Detalle	Pág.
1.	<i>Torre empacada</i>	7
2.	<i>Estructura de la columna empacada</i>	9
3.	<i>Ejemplo de anillo Raschig</i>	12
4.	<i>Anillo Pall</i>	13
5.	<i>Anillo Hy-Pak</i>	13
6.	<i>Empaques al azar existentes en el mercado</i>	15
7.	<i>Ejemplo de empaques regulares</i>	16
8.	<i>Estructura del metanol</i>	21
9.	<i>Esquema de metabolismo del metanol en el cuerpo humano</i>	22
10.	<i>Estructura de los furfurales</i>	24
11.	<i>Equipo de destilación</i>	25
12.	<i>Esquema del funcionamiento de un alambique</i>	27
13.	<i>Diagrama para la rectificación del alcohol</i>	35
14.	<i>Diagrama para la elaboración del pájaro azul</i>	37
15.	<i>Diagrama de Proceso en la obtención de pájaro Azul</i>	39
16.	<i>Prototipo destilador columna empacada</i>	42
17.	<i>Gráfico de medias del rendimiento (Tipo de empaque)</i>	46
18.	<i>Gráfico de medias del rendimiento (Concentración)</i>	47
19.	<i>Gráfico de medias del rendimiento (Tiempo)</i>	47
20.	<i>Interacción de los factores para rendimiento (Tipo de empaque y concentración)</i>	48
21.	<i>Interacción de los factores para rendimiento (Tipo de empaque y tiempo)</i>	48
22.	<i>Interacción de los factores para rendimiento</i>	49
23.	<i>Gráfico de medias de Graduación (Tipo de empaque)</i>	50
24.	<i>Gráfico de medias de Graduación (Concentración)</i>	51
25.	<i>Gráfico de medias de Graduación (Tiempo)</i>	52
26.	<i>Interacción del tipo de empaque en la graduación final</i>	52
27.	<i>Interacción de la concentración en la graduación final</i>	53
28.	<i>Interacción del tiempo en la graduación final</i>	53

ÍNDICE DE ANEXOS

N°	Detalle	Pág.
1.	Ubicación de la investigación	65
2.	Resultados del análisis químico de la materia prima.	66
3.	Análisis del producto final	67
4.	Cromatografía del análisis químico del pájaro azul rectificado.....	68
5.	Diseño de logotipo distintivo	69
6.	Diseño de etiqueta	69
7.	Envase utilizado	70
8.	Presentación del producto, Licor Pájaro azul.....	70
9.	Figura del proceso de fabricación del prototipo.....	71
10.	Figura de la rectificación del alcohol	73
11.	Obtención del pájaro azul.....	75
12.	Costos de producción de la columna empacada de Acero inoxidable.	75
13.	Costos de producción de la columna empacada de Cerámica	75
14.	Costos de producción del pájaro azul	76
15.	Costo beneficio.....	76
16.	Glosario de términos técnicos	77

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se encarga de analizar dos tipos de empaques del tipo anillos Raschig de cerámica y de acero inoxidable en una columna de destilación para obtener un alcohol rectificado para ello se analiza el alcohol base de grado alcohólico 30° y 40° GL que químicamente contiene: Furfural 1,06 y 1,96 mg/100 cm³, Metanol 5,01 y 4,03 mg/100 cm³, Alcoholes superiores 254,37 y 250,25 mg/100 cm³. El diseño de la columna de empaque tiene las siguientes medidas: altura total 85 cm y altura del empaque 18 cm. Como mejor tratamiento se determinó el T4:R2 con rendimiento del 67% y una graduación final de 80° GL el cual tiene un relleno de 152 anillos de 2cm * 2 cm tipo de anillos Raschig de cerámica. El alcohol rectificado se usó para la elaboración de una bebida tradicional de la zona denominada Pájaro azul con una formulación estandarizada, al producto obtenido se lo sometió a un análisis químico para determinar la presencia de congéneres en lo cual se reportan los siguientes valores: grado alcohólico 40 GL, Furfural <0.01 mg/100 cm³AA, Metanol 0.70 mg/100 cm³AA, Alcoholes superiores 1.29 mg/100 cm³AA, Congéneres 1.29 mg/100 cm³AA, el producto obtenido cumple con la norma técnica Ecuatoriana obligatoria INEN 338 para la elaboración y consumo de bebidas alcohólicas.

Palabras clave: destilación, columna empacada, anillos Raschig, grado alcohólico.

SUMMARY

The present research work is responsible for analyzing two types of packaging such as ceramic and stainless steel Raschig rings in a distillation column to obtain a rectified alcohol. For this purpose, the base alcohol of 30° and 40° GL alcoholic strength is analyzed, which chemically contains: Furfural 1.06 and 1.96 mg/100 cm³, Methanol 5.01 and 4.03 mg/100 cm³, Higher alcohols 254.37 and 250.25 mg/100 cm³. The design of the packaging column has the following measurements: total height 85 cm and packaging height 18 cm. T4:R2 was determined as the best treatment with a yield of 67% and a final graduation of 80° GL, which has a filling of 152 rings of 2cm * 2cm type of ceramic Raschig rings. The rectified alcohol was used to prepare a traditional drink from the area called Pájaro Azul with a standardized formulation. The product obtained was subjected to a chemical analysis to determine the presence of congeners in which the following values are reported: alcoholic strength 40 GL, Furfural <0.01 mg/100 cm³AA, Methanol 0.70 mg/100 cm³AA, Higher alcohols 1.29 mg/100 cm³AA, Congeners 1.29 mg/100 cm³AA, the product obtained complies with the mandatory Ecuadorian technical standard INEN 338 for production and consumption of alcoholic beverages.

Keywords: distillation, packed column, Raschig rings, alcoholic strength.

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

La calidad de las bebidas alcohólicas depende mucho de la destilación de las mismas, siendo esta operación la encargada de separar el alcohol etílico de un sinnúmero de compuestos perjudiciales para la salud, por ende, se propone una destilación o rectificación mediante torres empacadas. Estas son empleadas para establecer contacto continuo entre un gas y un líquido fundamentalmente bajo flujo a contracorriente, son columnas verticales que han sido llenadas con empaques o dispositivos de una elevada área superficial. En estos equipos el líquido es distribuido por encima de la torre y se escurre a través del lecho empacado, exponiendo una elevada área superficial durante su contacto con el gas (Chen et al., 2022).

El empaque de la torre (o relleno) debe suministrar una elevada superficie interfacial entre el líquido y el gas por unidad de volumen de espacio empacado, además de poseer características de flujo deseadas. El empaque a emplear deberá ser químicamente inerte con respecto a los fluidos manejados y poseer una determinada fortaleza estructural que permita su fácil manejo e instalación). Los empaques usualmente se dividen en empaques al azar (distribuidos al azar en el interior de la columna) y estructurados (distribuidos siguiendo una geometría regular) (Aramendiz, 2019).

Según Hinojosa (2021) Para el diseño preliminar de una columna empacada se deben tomar en cuenta los siguientes pasos generales:

- Selección del empaque
- Estimación del diámetro de la columna
- Determinación de los coeficientes de transferencia de masa
- Estimación de la caída de presión
- Diseño de los accesorios internos

Los anillos Nor-Pac® son un tipo de empaque al azar de alto rendimiento utilizado fundamentalmente en columnas empacadas para la depuración (remoción) de compuestos orgánicos volátiles y otros gases, así como para el lavado (absorción) de gases, incluyendo la neutralización de gases ácidos como HCl, SO₂ y NO_x (Bagomedov et al., 2019). Este empaque es también empleado en lavadores

industriales para la absorción (o recobrado) de alcoholes y otros compuestos químicos solubles.

Con base en estos aspectos, en el presente trabajo se propone la construcción de un equipo de destilación con una columna empacada empleando anillos Raschig de acero inoxidable y cerámico de 35 mm, la cual se utiliza para rectificar el etanol contenido en una corriente gaseosa a partir de un proceso de absorción gas líquido. Para la posterior producción del licor pájaro azul. Se realiza la determinación de varios parámetros importantes de diseño tales como el diámetro de la columna, tipo de empaque y tiempo de trabajo. Por último, se evalúa la calidad del producto obtenido.

1.2. PROBLEMA

1.2.1. Planteamiento del problema

En la parroquia Facundo Vela, actualmente la mayor actividad es la obtención de alcohol etílico artesanal por distintos métodos que en muchos de los casos no cumplen estándares de calidad, y generan mucho consumo de energía y tiempo. La mayoría de los métodos de destilación utilizados producen alcoholes de baja graduación y con un alto contenido de congéneres que no cumplen la normativa, esto debido al uso de equipos de destilación rudimentarios e ineficientes. Al ser esta la actividad de mayor sustento económico de la zona, es necesario implementar nuevas tecnologías para mejorar el grado alcohólico, cumplir las normas, optimizar tiempos y costos, en la producción de diferentes licores de la zona como el pájaro azul.

1.2.2. Formulación del problema

Con base en lo mencionado en los párrafos anteriores se plantea el siguiente problema de investigación:

¿De qué forma se puede optimizar el proceso de destilación y rectificación del alcohol base producida en la parroquia Facundo Vela que cumpla las normas técnicas y se pueda utilizar en la elaboración de la bebida tradicional pájaro azul con mejores niveles de calidad?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Optimizar el proceso de destilación mediante una columna empacada, para la obtención de Pájaro azul, en la parroquia Facundo Vela, Provincia Bolívar.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar la calidad del alcohol artesanal a utilizarse en el proceso. (Grado alcohólico, furfural, metanol, alcoholes superiores, azúcares totales.)
- Construir un prototipo de destilador empacado para la rectificación y elaboración de pájaro azul.
- Determinar el mejor tratamiento con anillos Raschig en base al rendimiento y la formulación del licor pájaro azul.
- Evaluar la calidad del pájaro azul, con el análisis de congéneres: (Grado alcohólico, furfural, metanol, alcoholes superiores y congéneres).

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis nula (H₀)

La rectificación de alcohol mediante el proceso de destilación con una columna empacada, no presenta mejora significativa en los niveles de grado alcohólico y calidad requerida para la elaboración de la bebida tradicional, en la parroquia Facundo Vela, Provincia Bolívar.

1.4.2. Hipótesis alternativa (H_a)

La rectificación de alcohol mediante el proceso de destilación con una columna empacada, presenta mejora significativa en los niveles de grado alcohólico y calidad requerida para la elaboración de la bebida tradicional, en la parroquia Facundo Vela, Provincia Bolívar.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Columnas empacadas

Las columnas empacadas son cilindros que tienen sólidos conocidos como empaquetaduras rellenas en su interior. Estas empaquetaduras pueden tener diversas formas y materiales. Debido al hecho de que ofrecen áreas significativamente mayores de contacto a contracorriente entre dos fases, estas columnas son muy utilizadas en el sector industrial para fines de destilación, desorción y absorción (Corona, 2023). Se utilizan en la destilación cuando la separación es relativamente simple, suelen ser menos costosas que las columnas de platos y tienen una menor caída de presión. Sin embargo, el principal inconveniente es que es difícil obtener una buena distribución del líquido, sobre todo en columnas con un diámetro muy grande o muy altas. En consecuencia, se utilizan con mayor frecuencia en situaciones en las que se requiere un diámetro no muy grande (Hinojosa, 2021).

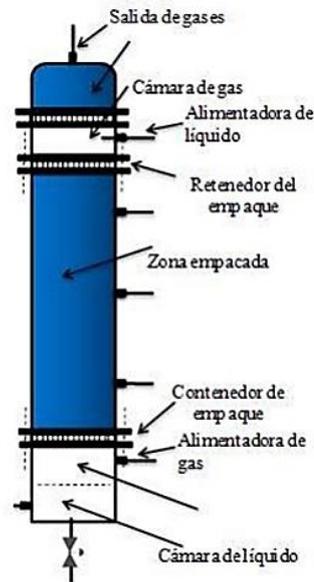
Esta forma particular de columna, como se ha señalado anteriormente, está diseñada para optimizar el contacto entre las fases líquidas y vapor. El grado en que esto se consigue depende del tipo de embalaje que se utilice y del método en que se coloque (ya sea de forma ordenada o aleatoria). En lo que respecta a la industria, existen numerosas formas de envasado, que suelen estar compuestas de materiales como metal, vidrio, plástico o cerámica. Sin embargo, todos estos tipos de envases comparten las mismas características necesarias para cumplir su función de envasado (Zambrano et al., 2021).

Según (Dueñas et al., 2019) dentro de las principales características que presentan las columnas empacadas se encuentran las siguientes:

- Deben ser químicamente inertes con los fluidos de la columna
- Deben ser resistentes mecánicamente
- Deben proporcionar una baja caída de presión.
- Deben proporcionar un buen contacto entre el líquido y el gas.

Figura 1

Torre empacada



Nota: Figura tomada de (Aramendiz, 2019)

Esta torre está expuesta a una gran superficie mientras el líquido está en contacto con el gas porque se extiende por encima de la torre y drena a través del lecho empacado de este aparato. Esto ocurre durante el tiempo en que el líquido está en contacto con el gas (Bagomedov et al., 2019). Del mismo modo, los empaques de la torre deben tener las características de flujo apropiadas además de tener una amplia superficie interfacial entre el líquido y el gas por unidad de volumen de espacio empacado. Este es un requisito para la empaquetadura de torre (Miranda y Rentería, 2020). Todo el embalaje que se vaya a utilizar debe ser químicamente inerte debido a los fluidos que se van a manipular. Además, es necesario que posea una resistencia estructural particular que ayude en el proceso de manipulación e instalación (Cuaical, 2019).

Según Bagomedov et al. (2019), los empaques suelen clasificarse en empaquetaduras aleatorias (distribuidas de forma aleatoria dentro de la columna) o estructuradas (distribuidas de acuerdo con una geometría regular). Al desarrollar el diseño preliminar de una columna empacada, es importante tener en cuenta las siguientes categorías:

- Selección del empaque
- Estimación del diámetro de columna

- Cálculo de los coeficientes de transferencia de masa
- Cálculo de la caída de presión
- Diseño de accesorios internos

La eliminación de polvo, olores, partículas extrañas y compuestos químicos no deseados son sólo algunas de las aplicaciones para las que se emplean las columnas de relleno. Las columnas de relleno se utilizan principalmente en los procesos de absorción, destilación, lavado e intercambio de calor, entre otras operaciones (Zapata et al., 2020).

2.1.1. Características y funcionamiento de una torre empacada

Las torres empacadas son usadas cada vez más en una variedad de aplicaciones en los procesos químicos industriales, ya que se ha incrementado la disponibilidad de información de diseño, la evolución de mayor capacidad y mayor eficiencia de la transferencia de masa en los empaques (García et al., 2023). Una torre empacada es un cuerpo o columna cilíndrica, que contiene una entrada de gas, una entrada de líquido, un dispositivo de distribución y una salida de gas en la parte superior, una salida de líquido en el fondo, secciones de empaque, soportes de empaque y redistribuidores intermedios. El cuerpo de la torre puede ser de metal, plástico, cerámica o vidrio. El tipo de material a utilizar lo determina el tipo de sustancias a manejar, así como las condiciones de presión y temperatura (Santana y Muñoz, 2021).

A través de diversas vías, la fase líquida se distribuye por la superficie de la empaquetadura mediante anillos o placas distribuidoras, lo que permite que una amplia superficie entre en contacto con la fase vapor a medida que fluye por el interior de la torre. Este proceso de distribución comienza en la parte superior de la columna y continúa hacia abajo. En la base de la torre, esta fase de vapor pasa a través de los orificios de empaquetadura. Aunque estas columnas suelen estar empaquetadas con material sólido en un patrón orientado, hay muchas aplicaciones en las que el empaquetado es organizado (Miranda y Rentería, 2020).

2.2. COMPONENTES INTERNOS DE UNA TORRE EMPACADA

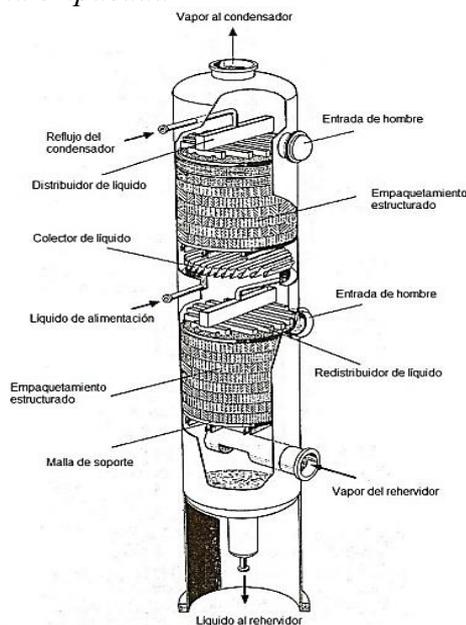
2.2.1. Distribuidor de líquido de alimentación

Según (Machado, 2019). La distribución del líquido juega un papel muy importante en el adecuado funcionamiento de torres empacadas. El relleno por sí solo no produce una adecuada distribución del líquido, por lo tanto, se instalan distribuidores de líquido en la parte superior de la columna, el cual debe proporcionar las siguientes características:

- Distribución uniforme del líquido
- Resistencia al ensuciamiento
- Elevados rangos de caudales de operación
- Elevada área libre para el flujo de gas
- Construcción en módulos para una mayor facilidad de instalación.

Figura 2

Estructura de la columna empacada



Nota. Forma de empaquetadura tomado de (Arismendi, 2019)

Del mismo modo, Hinojosa (2021) menciona que se pueden encontrar diferentes tipos de distribuidores, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

- Vertedero: proporciona buena distribución en un amplio intervalo de caudales de gas y de líquido.
- Orificios: se diseña para depositar el líquido cuidadosamente en el interior del lecho, manteniendo un mínimo contacto con el gas durante el proceso, puede

diseñarse para proporcionar un gran número de corrientes de líquido.

- Tubería perforada: comprende un sumidero central de la alimentación y tubos que se ramifican desde él hacia afuera para la descarga del líquido, el nivel en el sumidero varía con el caudal total de líquido y el tamaño de las tuberías laterales y sus perforaciones deben determinarse cuidadosamente para asegurar que el líquido llega a los extremos de los tubos (Hernández et al., 2022).

2.2.2. Empaque

En el proceso de diseño de una columna de relleno, la selección del material de relleno es el factor más importante a tener en cuenta. Este material debe ser capaz de crear un contacto eficaz entre las fases sin causar una pérdida de presión excesiva (Bagomedov et al., 2019). Es posible adquirir una amplia variedad de empaquetaduras comerciales, cada una de las cuales ofrece un conjunto único de ventajas, como la pérdida de presión, el peso, la resistencia a la corrosión y las dimensiones de la superficie. Los rellenos aleatorios y los rellenos estructurados, a menudo conocidos como rellenos de geometría regular, son las dos categorías en las que se suelen clasificar los lechos de relleno (Pérez et al., 2019).

Según Arismendi (2019), para garantizar la proximidad de las fases (vapor y líquido), estos rellenos pueden ser desde simples sólidos hasta intrincados y costosos diseños geométricos. En términos más generales, se exige que estos rellenos posean las siguientes características:

- Para tener una gran área que sea favorable a la interacción de fases, es necesario que tenga una mayor área de superficie mojada en comparación con el volumen de espacio empaquetado.
- El porcentaje de espacios vacíos en el lecho empaquetado tiene que ser de un tamaño significativo. Para conseguir bajas reducciones de la presión del gas, la empaquetadura tiene que poder facilitar el movimiento de grandes volúmenes de fluido en sentido transversal a través de la torre.
- Promover la distribución uniforme del líquido en la superficie del relleno.
- Ser químicamente inerte con respecto a los fluidos que se involucren en el proceso.
- Ser resistente para permitir el fácil manejo e instalación.

- Para grandes torres empacadas, debe tener baja densidad a granel, ya que se pueden tener problemas de soporte.
- Tener un costo relativamente bajo

Según Nishimura, (2020); Flagiello y Di Natale, (2020); Zapata, (2020), es importante mencionar que no existe un empaque único que posea todas las características; sin embargo, el método que se utiliza para empaquetar la torre es de suma importancia. Esto se debe a que el empaque no es totalmente eficaz si el líquido y el gas no hacen contacto en todas las zonas que contiene la torre. Otras características que debe ofrecer el empaque de una torre son las siguientes:

- Crear una superficie enorme que sirva de puente entre el líquido y el gas. Por otra parte, la superficie del empaquetamiento debe ser considerable en comparación con el volumen del espacio empaquetado, pero no en el sentido de ser microscópica. Los trozos de coque, por ejemplo, tienen una superficie enorme debido a su estructura porosa; sin embargo, la mayor parte de la superficie estará cubierta por la película de líquido que escurre. Por otra parte, la superficie específica de empaquetamiento a es prácticamente siempre mayor que la superficie que crea la interfacial entre el líquido y el gas (Nishimura et al., 2020)
- Cuando se trata de lechos empaquetados, esto indica generalmente que el volumen fraccionario vacío, también conocido como ϵ o fracción de espacio vacío, debe ser bastante sustancial. Para evitar sobrecargas o inundaciones, la empaquetadura debe diseñarse de forma que permita el paso de grandes volúmenes de fluido a través de secciones transversales minúsculas de la torre. Además, la caída de presión del gas debe ser mínima. Además, la caída de presión del gas debe ser predominantemente consecuencia de la fricción de la piel, si es posible, porque tiene más éxito que la creación de arrastres a la hora de fomentar valores elevados de coeficientes de transferencia de masa. Asimismo, la caída de presión del gas debe ser principalmente consecuencia de la fricción superficial (Borroto et al., 2021).
- Ser químicamente inerte con respecto a los fluidos que se están procesando.
- Ser estructuralmente fuerte para permitir el fácil manejo y la instalación.
- Tener un costo de producción bajo.

2.2.3. Empaques al azar

Como lo menciona Corona (2023), los empaques al azar son aquellos que no tienen un orden predeterminado de acomodación ya que se introducen en el cuerpo de la columna de forma aleatoria. Estas empaquetaduras se han empleado con diversos materiales a lo largo del tiempo, como grava y fragmentos de coque. Aunque estos materiales son baratos, no eran adecuados para su uso porque tienen una superficie relativamente pequeña y no proporcionan un flujo adecuado de gas y líquido. En la actualidad, las juntas se fabrican con una gran variedad de formas y tamaños, algunos de ellos con geometrías complejas. Esto se debe a que se desea que tengan una amplia superficie, lo que permite un mejor contacto entre las fases, con la consiguiente mejora de la eficacia en la separación de compuestos (Tan et al., 2021). Por esta razón, los canales de flujo que se generan cuando se suministra líquido y gas a la torre no tienen una estructura o dimensión determinada. Esto se debe a que estas empaquetaduras se vacían o descargan en la torre de forma aleatoria. El desarrollo de la forma de este empaquetamiento es un ejemplo de arte empírico, en el que la caída de presión se calcula por medios experimentales (Maghaddam et al., 2021). El anillo Raschig, que tiene una empaquetadura cilíndrica con una longitud igual a su diámetro exterior y se representa en la figura, es el más antiguo de los tres. Los materiales con los que está construido son cerámica, metal, plástico o carbono. Una variante de esta estructura se conoce como anillo de Lessing, que se distingue por la presencia de un tabique interno dentro del anillo (Kang y Lim, 2020).

Figura 3

Ejemplo de anillo Raschig



Nota: Figura tomada de (Aramendiz, 2019)

A principios de la década de 1950 se creó una mejora del anillo Raschig, el anillo Pall, que consistía en una pared cilíndrica con aberturas que se extendían hacia el

interior de la empaquetadura. Tanto el anillo Pall como el anillo Raschig tienen la misma superficie geométrica; sin embargo, la superficie interior de la empaquetadura presenta aberturas en la pared que facilitan el movimiento del líquido y el gas a través de la empaquetadura (Pavlenko et al., 2021). La junta Hy-Pak es la modificación del anillo Pall. Esta junta tiene una superficie interna de mayor dimensión, que mejora el contacto entre el gas y el líquido (Liu et al., 2022).

Figura 4
Anillo Pall



Figura 5
Anillo Hy-Pak



Nota: Figura tomada de (Aramendiz, 2019)

De igual manera, Bagomedov, (2019) señalan que las empaquetaduras aleatorias proporcionan grandes áreas de contacto, aunque no mejoran la distribución de las fases. Las empaquetaduras convencionales no se utilizan en columnas grandes debido a la falta de control sobre la distribución del flujo. Como resultado, estas empaquetaduras son adecuadas para su uso en columnas de diámetro pequeño, que tienen una capacidad de flujo restringida. En general, las empaquetaduras de menor tamaño ofrecen mayores superficies; sin embargo, la pérdida de presión es muy significativa y el coste aumenta debido al mayor número de unidades que hay que utilizar (Niegodajew y Marek, 2021).

2.3. TIPOS DE EMPAQUES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA DE LA DESTILACIÓN

A lo largo del tiempo se han producido distintos tipos de envases en respuesta a los requisitos necesarios de las operaciones. La primera generación de envases aleatorios está formada por los anillos Raschig, que se cuentan entre las formas más antiguas (Kögi et al., 2023). Estos anillos, que son cilindros huecos, fueron diseñados por Frederick Raschig. El diámetro exterior de estos anillos es igual a su altura, y pueden variar desde aproximadamente media pulgada hasta cuatro pulgadas o incluso más. En general, son rentables, aunque menos eficaces que otras opciones, ya que envían una mayor cantidad de líquido a las paredes de la torre. Están disponibles en una gran variedad de materiales (Poulsen et al., 2021).

Por otra parte, las empaquetaduras Berl, otra forma de primera generación, se desarrollaron a finales de la década de 1930; estas empaquetaduras son más caras y delicadas que los anillos Raschig, pero son más eficaces y tienen una mejor distribución del líquido (Corona, 2023). También producen menos pérdidas de carga. Los cilindros con paredes acanaladas y nervaduras o lengüetas internas de igual altura y diámetro formaron la segunda generación de anillos en las décadas de 1950 y 1970. Estos anillos supusieron una mejora respecto a los anillos Raschig porque producían menos pérdida de carga. Estas características aumentan el espacio libre y mejoran la distribución del líquido (Kutscherauer et al., 2023).

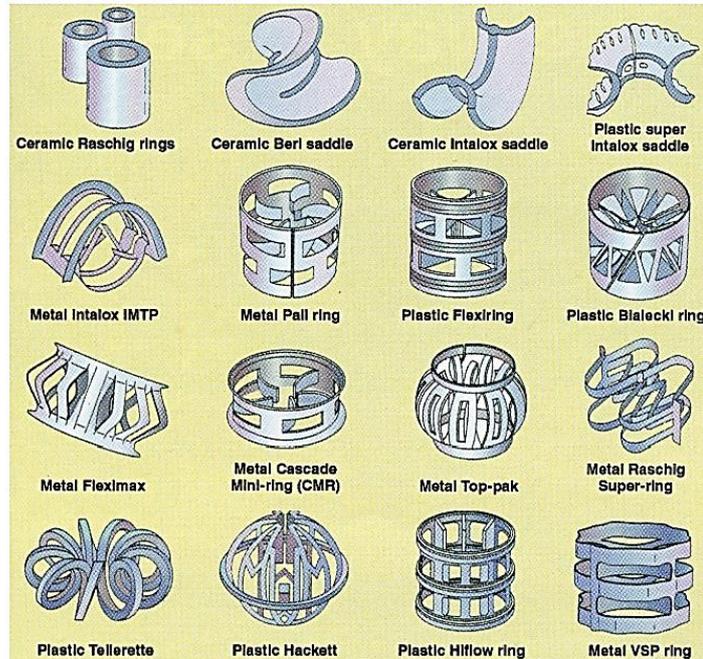
Del mismo modo, los sillines Intalox de Norton Company son una versión mejorada de los sillines Berl tradicional; superan tanto a los anillos Raschig como a los sillines Berl tradicionales en términos de eficacia gracias a su empaquetadura homogénea, su capacidad para eliminar las zonas estancadas y su reducida caída de presión. Son más asequibles por sus características, pero su forma facilita su fabricación. Hay disponibles tamaños de ½ a 3 pulgadas para los sillines Intalox y Berl (Nemati y Rydén, 2021).

A lo largo del tiempo, como lo señalan Pavlenko, (2021), se han desarrollado numerosos diseños de empaquetaduras con el fin de mejorar su rendimiento, generando así un proceso más eficaz que se traduce en una mejor transferencia de masa y, en consecuencia, en una mejor separación. No existe una empaquetadura que posea todas las características, pero el material de empaquetadura y el proceso

de empaquetadura tienen un impacto significativo en el rendimiento de una columna. En la siguiente figura se pueden apreciar de mejor manera los tipos de empaques al azar existentes en el mercado en la actualidad.

Figura 6

Empaques al azar existentes en el mercado



Nota: Imagen tomada de (Chen et al., 2022)

Es importante mencionar que el material empleado en el empaque va a depender directamente del uso que tendrá el sistema y de la duración estimada para el mismo. En lo que respecta a los anillos de cerámica, estos pueden emplearse donde sea necesaria la interacción entre un líquido con un gas, esto con la finalidad de obtener la absorción de dicho gas, la separación de los componentes presentes dentro de la fase líquida o para la generación de una reacción química (Valenz et al., 2023).

Con respecto a los anillos Raschig de acero inoxidable, estos se emplean cuando los compuestos que fluyen alrededor de los mismos no generan altos niveles de corrosión en el material. Es importante señalar también que los anillos Raschig de acero inoxidable se emplean cuando los compuestos que transitan por ellos tienen altas temperaturas, dada la resistencia térmica propia del material (Chen et al., 2022).

2.3.1. Empaques regulares

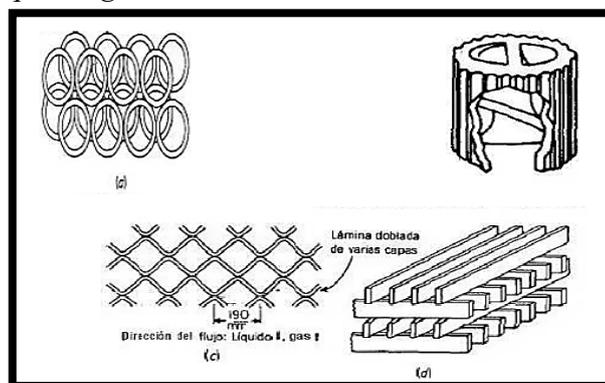
Estos empaques se presentan en una amplia gama de variedades diferentes. Además de ser un tipo de junta normal, las placas de contracorriente también lo son. Esto es

algo que ya se ha tenido en cuenta anteriormente. Un mayor caudal y una menor caída de presión para el gas son dos ventajas que pueden obtenerse mediante el uso de empaquetaduras regulares. Sin embargo, el proceso de instalación de las empaquetaduras regulares suele ser más caro que el de las empaquetaduras aleatorias (Chen et al., 2022).

Sólo en tamaños extremadamente grandes hay disponibles anillos de sobrepresión Raschig a un precio razonable. Las empaquetaduras de metal expandido pueden ajustarse de varias maneras. Cuando se necesitan grandes volúmenes vacíos, como en el transporte de gases con alquitranes de coquería o líquidos con partículas sólidas en suspensión, se suelen utilizar rejillas o "vallas" de madera porque son asequibles y se emplean en situaciones en las que se necesitan grandes volúmenes vacíos (Dueñas et al., 2019).

Por otro lado, el objetivo inicial de los mezcladores estáticos era mezclar dos fluidos mediante un flujo paralelo. Estos mezcladores se diseñaron inicialmente para ser mezcladores en línea (Bagomedov et al., 2019). Como lo menciona Arizmendi (2019), los dispositivos se instalan en una tubería; provocan una multiplicidad de roturas de fluido que discurren en corriente paralela en corrientes izquierda y derecha; cada corriente se rompe en otras más pequeñas; existen diferentes diseños, diseños, pero en general, consisten en dispositivos en forma de rejilla de huevo; los huevos; los dispositivos se instalan en una tubería; provocan una multiplicidad de roturas de fluido. Otras más pequeñas. A bajas caídas de presión del gas, se ha demostrado que estos dispositivos son útiles para los azulejos para el contacto entre el gas y el líquido.

Figura 7
Ejemplo de empaques regulares



Nota: Figura tomada de (Chen et al., 2022)

2.3.2. Columna de empacado

Una columna de empacado es un componente común utilizado en los aparatos de destilación. Su finalidad es separar los componentes de una mezcla líquida. Para facilitar la separación y purificación de los componentes, se compone de un material poroso o estructurado que se coloca en el interior de la columna. Esto se hace para ofrecer una mayor área de contacto entre el vapor ascendente y el líquido descendente (Bagomedov et al., 2019). Según Rodríguez et al (2019), las columnas de empacado, por lo general, presentan la siguiente estructura:

- La columna de empacado se encuentra entre el matraz de destilación y el condensador en el equipo de destilación.
- El empacado se puede presentar de diferentes formas: anillos metálicos, esferas de cerámica, láminas corrugadas, malla metálica, entre otros. Los materiales son elegidos con base en la resistencia a la corrosión que estos presentan y la capacidad de los mismos para retener líquidos.
- El objetivo principal del empacado es aumentar la superficie de contacto entre el vapor ascendente y el líquido descendente. Esto permite una transferencia de masa más eficiente, lo que resulta en una separación más efectiva de los componentes.
- El líquido a destilar ingresa en la parte superior de la columna de empacado y se distribuye de manera uniforme sobre el empacado.
- El calor se aplica al matraz de destilación, lo que provoca la evaporación de los componentes con puntos de ebullición más bajos.
- Durante el proceso de destilación, los componentes más ligeros se evaporan y suben por la columna, mientras que los componentes más pesados permanecen en estado líquido y descienden.

Es importante tener en cuenta que existen diferentes tipos de columnas de empacado y que la selección del empacado adecuado depende de varios factores, como las características de la mezcla, los objetivos de separación y las condiciones de operación. Además, la destilación con columna de empacado puede requerir ajustes y optimizaciones según las necesidades específicas de cada aplicación (Pérez et al., 2019).

2.3.3. Composición permisible en bebidas alcohólicas

Tabla 1

Requisitos para un alcohol con base a la normativa NTE INEN1837:1991

REQUISITOS	UNIDAD	A		B		C		METODO DE ENSAYO
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
GRADO ALCOHOLICO A 15°C	GL	15	45	15	45	15	45	INEN 340
ACIDEZ TOTAL	*	*	1,5	*	15	*	40	INEN 341
ESTERES	*	*	2,0	*	5	*	30	INEN 342
ALDEHIDOS	*	*	0,5	*	2	*	10	INEN 343
FURFURAL	*	*	0	*	0,5	*	1,0	INEN 344
ALCOHOLE SUPERIORES	*	*	0,5	*	5	*	150	INEN 345
METANOL	*	*	2	*	6	*	10	INEN 347

A Licores fabricados en base de alcohol etílico rectificado extra neutro, INEN 1 675.
 B Licores fabricados en base de alcohol etílico rectificado, INEN 375.
 C Licores fabricados en base de aguardiente de caña rectificada, INEN 362.
 * m/100 cm³

2.3.4. Alcoholes superiores

El metabolismo secundario de la levadura da lugar a la producción de alcoholes superiores, que se producen en mayores concentraciones que otros compuestos volátiles (Borroto et al., 2021). Estos alcoholes superiores son de gran importancia por el impacto que tienen en la fragancia y el sabor de las bebidas alcohólicas. Además, el peso molecular y el punto de ebullición de estos alcoholes son mayores que los del etanol. Además, estos alcoholes incluyen más de dos carbonos (Gao et al., 2020). Hay unos cuarenta tipos diferentes de alcoholes superiores que pueden encontrarse en las bebidas alcohólicas (Jiang et al., 2019).

Morales (2021) menciona que, durante la fermentación, también conocida como fase de aclimatación, las levaduras producen alcoholes superiores. Estos alcoholes superiores se producen como resultado de la síntesis o descomposición de aminoácidos, que puede tener lugar mediante la utilización de piruvato y acetyl-CoA en el primer caso o tras la asimilación de la fuente de nitrógeno en el segundo. Dicho de otro modo, la acumulación de alcoholes superiores en las bebidas alcohólicas es el resultado de la reproducción activa de la levadura, que necesita aminoácidos para producir sustancias clasificadas como proteínas (Sanmartín,

2023). Es posible que se utilice la ruta de Ehrlich en el proceso de catabolismo de los aminoácidos una vez que han entrado en las propias células de levadura. Los procesos de transaminación, descarboxilación y reducción forman parte de esta vía, que finalmente da lugar a la producción de los alcoholes correspondientes, que son expulsados al medio ambiente (Erdiwansyah et al., 2019).

Los alcoholes superiores se consideran impurezas en la fabricación de determinadas bebidas alcohólicas, y la concentración de estas impurezas puede ser lo suficientemente alta como para producir un sabor desagradable y un olor fuerte (Hinojosa, 2021). Los procedimientos espectrofotométricos, que no tienen en cuenta la concentración de 1-propanol, se utilizan normalmente en las instalaciones de fabricación para determinar estas concentraciones. A la hora de establecer la técnica como método de rutina, la adecuación de la metodología y su comparación con los datos obtenidos mediante cromatografía de gases serán de gran ayuda (Yuan et al., 2019).

Según Devia (2020), los alcoholes superiores se producen mayoritariamente a partir de aminoácidos aromáticos y de cadena ramificada a través de dos vías metabólicas.

Existen dos métodos conocidos:

- Vía catabólica o vía de Ehrlich: Los aminoácidos son primeramente transaminados a 2-oxoácidos, después descarboxilados a aldehídos y finalmente reducidos a los correspondientes alcoholes superiores.
- Vía anabólica o del piruvato: A través de intermediarios 2-oxoácidos que están a su vez involucrados en la biosíntesis de estos aminoácidos ramificados.

2.4. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE ALCOHOLES SUPERIORES

Los métodos capaces de determinar la concentración de alcoholes superiores en bebidas alcohólicas son cruciales en el mundo actual por su precisión, fiabilidad y repetibilidad. Estos métodos se utilizan para determinar el contenido de alcohol de las bebidas alcohólicas (Miranda y Rentería, 2020). Los métodos cromatográficos son los más utilizados porque son muy amplios y adaptables para el analista químico, además de ser sencillos de manejar. Sin embargo, los métodos volumétricos son los más utilizados en los laboratorios de destilación debido a que los cromatógrafos son muy caros (Borroto et al., 2021).

En la cromatografía de gases, la técnica cromatográfica más común, el material se vaporiza antes de ser inyectado en el cabezal de la columna cromatográfica. Los distintos componentes de la muestra se reparten entre la fase móvil y la fase estacionaria. La fase móvil puede ser un gas portador como nitrógeno, helio, argón o hidrógeno; nuestro laboratorio utiliza hidrógeno. Los principales componentes, incluidos aldehídos, ésteres, ácidos y alcoholes, se disponen a diferentes velocidades en función de su afinidad con la fase estacionaria; así, el poli etilenglicol es el material más utilizado en el tipo de separación carbowax (Rayo et al., 2022).

Las columnas capilares son las más utilizadas en la actualidad en cromatografía de gases. Se trata de tubos largos, de diámetro muy pequeño, de vidrio o más frecuentemente de sílice fundida, en las que la fase estacionaria está retenida sobre la pared interna de la columna. Un ejemplo de este tipo de columna son las columnas con la pared recubierta (WCOT) (wallcoated open tubular column), donde la fase estacionaria está directamente depositada en la pared de la columna sin que exista ningún aditivo considerado como soporte (Holt et al., 2019).

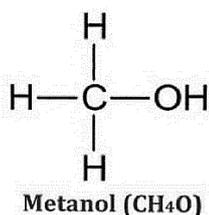
Por su parte, los procedimientos espectrofotométricos, a pesar de ser los más utilizados en las instalaciones de destilación, requieren la aplicación de prácticas de laboratorio adecuadas. Esto se debe al hecho de que pueden surgir problemas de contaminación por disolventes y una elevada imprecisión debida a fuentes de error humano (Bagomedov et al., 2019)

2.4.1. Metanol

El metanol es un tipo de alcohol que puede encontrarse en cantidades variables dentro de todas las bebidas destiladas, incluyendo el tequila, el whisky, el mezcal y otras bebidas similares. Este alcohol se considera un componente inevitable en las bebidas destiladas, ya que se produce por la fermentación de las pectinas que se originan a partir de la materia prima que se utiliza en la producción del destilado (Simon et al., 2020).

Figura 8

Estructura del metanol



Nota. Estructura del metanol tomado de ITC América 2024.

Más concretamente, la producción de metanol se consigue mediante el proceso de desmetilación, que implica la eliminación de un grupo metilo de las pectinas presentes en la materia prima de la bebida destilada. Borroto et al (2021) menciona que una hidrólisis excesiva, que es el proceso de ruptura de moléculas en una solución acuosa, puede provocar dificultades con el metanol, lo que a su vez puede conducir a un aumento de la cantidad de metanol presente en el producto. Por otro lado, una hidrólisis insuficiente evita la formación de metanol, pero provoca la pérdida de azúcares de los hidratos de carbono (Morales, 2021).

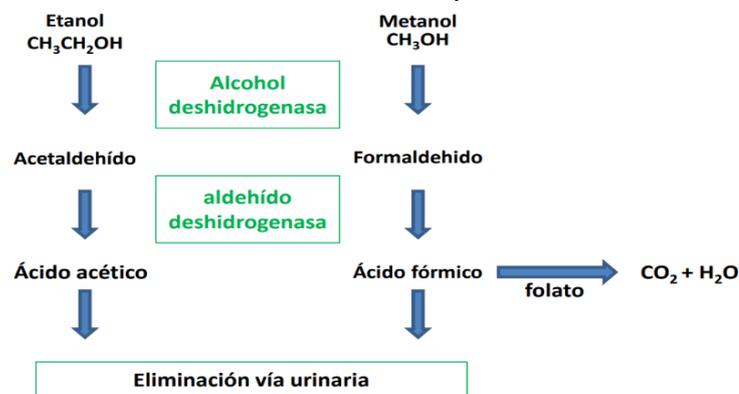
La estructura química del metanol es similar a la del agua, el grupo funcional metil es mayor a un átomo de hidrógeno y el ángulo de enlace C-O-H del metanol es de 108.9 y el del agua es de 104.5. Condiciones normales: Líquido incoloro, olor y sabor frutal fuerte. Se puede mezclar con solventes orgánico, el olor puede ser tan fuerte que es detectado desde 2 ppm (partículas por millón). Tiene un peso molecular de 32g/mol, cuenta con una densidad de 79kg/l; en cuanto al cambio de estado en la materia, tiene un punto de fusión de -97°C y por otro lado un punto de ebullición de 65°C (Alias et al., 2020). Esto quiere decir que, a diferencia del agua, tiene un punto de ebullición bastante bajo, y mientras que el punto de fusión del agua es de 0°C, el del metanol es mucho menor. La acidez del metanol es prácticamente nula. El ácido fórmico es el metabolito que produce los efectos tóxicos del metanol, ya que inhibe el citocromo oxidasa, creando interferencia directa con el transporte de electrones en la cadena respiratoria. También se ha comprobado que el ácido fórmico inhibe la función mitocondrial en la retina y se presenta estrés oxidativo (Kang y Lim, 2020).

Ya sea por vía oral, cutánea o pulmonar, el metanol se absorbe rápidamente. Cuando se toma por vía oral, el fármaco alcanza su concentración plasmática máxima en 30

a 90 minutos, tras lo cual se absorbe por completo. A continuación, el metanol puede dializarse, ya que per funde rápidamente todos los órganos durante su distribución y no se adhiere a las proteínas (Bagomedov et al., 2019). La penetración en los tejidos es mínima debido a su volumen de distribución, que oscila entre 0,6 y 0,7 L/kg. La mayor parte del metanol se absorbe en el torrente sanguíneo a través del nivel plasmático, donde se metaboliza lentamente en el hígado. La vida promedio de esta sustancia dentro del organismo es de 12-24 horas (Herrera y Peña, 2021). Aproximadamente el 10% del metanol se elimina del organismo en su forma original por el riñón y los pulmones. El noventa por ciento de la sustancia se procesa en el hígado a través de dos vías enzimáticas diferentes. La primera de ellas es la conversión del metanol en formaldehído por la enzima alcohol deshidrogenasa. A continuación, se produce un segundo proceso oxidativo que lleva a cabo el aldehído deshidrogenasa (Borroto et al., 2021). Este proceso transforma el formaldehído en ácido fórmico, que se elimina a través del tracto urinario como se presenta en el siguiente diagrama.

Figura 9

Esquema de metabolismo del metanol en el cuerpo humano



Nota: Figura tomada de (Borroto et al., 2021)

En cuanto a los efectos de estas sustancias, el metanol y sus metabolitos, se afirma que el metanol por sí solo simplemente causa depresión del sistema nervioso central (SNC), y que sus metabolitos son los responsables del efecto nocivo. En cuanto a este asunto, se desconoce si el formaldehído tiene un efecto nocivo sobre el sistema nervioso central (SNC), a pesar de que algunos informes sugieren que el formaldehído no tiene ningún efecto debido a su rápida biotransformación en ácido fórmico (Sehested, 2019).

Por el contrario, el ácido fórmico, además de provocar acidosis metabólica, inhibe el citocromo oxidasa, lo que interfiere directamente en el transporte de electrones en la cadena respiratoria. Además, inhibe la función mitocondrial en la retina, lo que provoca un aumento del estrés oxidativo. Existe la posibilidad de que se produzcan anomalías visuales, ceguera, convulsiones, coma e incluso la muerte, según la terminología clínica. Los pacientes declaran experimentar anomalías visuales como visión borrosa y colores que rodean los objetos de su entorno (González et al., 2020).

2.4.2. Intoxicación por metanol

La contaminación con metanol, se produce en el momento de la fermentación de jugos azucarados implementada para la obtención de bebidas alcohólicas, en la cual, además de etanol, se producen también cantidades variables de metanol y otros compuestos volátiles. En el caso de bebidas alcohólicas adulteradas con alcohol desnaturalizado, la intoxicación por metanol se produce frecuentemente a través del tracto digestivo. En el caso de exposición en entornos laborales, la intoxicación por metanol también puede producirse a través del tracto respiratorio, el tracto digestivo o a través de la piel intacta (González et al., 2020). Todas ellas son fuentes potenciales de intoxicaciones graves e incluso mortales. Dado que la retina es el lugar donde se produce la manifestación de la toxicidad del metanol, el individuo o individuos pueden sobrevivir, pero quedarán con una ceguera irreversible como consecuencia (Herrera y Peña, 2021).

La inhalación, la administración oral y la aplicación tópica son los tres métodos por los que el metanol se absorbe rápidamente en el organismo. Su conversión en ácido fórmico también es rápida, y es oxidado a dióxido de carbono por una enzima que depende de la disponibilidad de ácido fólico (Machado, 2019). La mayoría de las técnicas que se utilizan en el proceso de determinación del metanol se basan en la oxidación del metanol a formaldehído y la posterior determinación del formaldehído. Sin embargo, en la actualidad es posible detectar metanol específicamente mediante la cromatografía de gases (García et al., 2023).

Su naturaleza irritante provoca lesiones de entrada repetidas, que son bastante comunes en la contaminación crónica a través del sistema respiratorio. La bronquitis crónica, que con frecuencia incluye componentes asmáticos, y las

modificaciones en la mucosa del tracto respiratorio superior son ejemplos de afecciones provocadas por este tipo de contaminación. Debido a que su volumen de distribución es de 0,6 litros por kilogramo de peso corporal, el metanol se disemina rápidamente por los tejidos en función del contenido acuoso de los mismos. Una parte importante del metanol se encuentra en el agua plasmática. Una vez absorbido, viaja hasta el hígado, donde puede someterse a procesos de oxidación a un ritmo siete veces más lento que el del alcohol (Alias et al., 2020).

Según Kutscherauer et al (2023), de acuerdo a la dosis absorbida, las formas de presentación de la intoxicación son las siguientes:

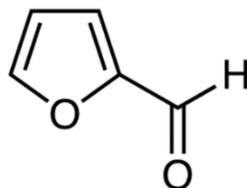
- Forma Leve: Sensación nauseosa, molestias epigástricas y cefaleas. Si el tiempo de absorción es de algunas horas se presenta visión borrosa
- Forma Moderada: Se producen vómitos. Hay taquicardia y depresión del sistema nervioso central. Si se produce el cuadro de embriaguez, es poco intenso y corto en su duración. La piel está fría y sudorosa, la visión es borrosa y hay taquipnea
- Forma Grave: El paciente está en coma y presenta acidosis metabólica. La respiración es superficial y rápida. El color de la piel y las mucosas es cianótico. Las dificultades para respirar pueden llegar al edema agudo de pulmón.

2.4.3. Furfurales

El furfural es una sustancia química que se genera a partir del etanol, y tiene el potencial de causar graves molestias si está presente en concentraciones significativamente altas en las bebidas alcohólicas. Tanto el furfural como el hidroximetil furfural son subproductos que se producen durante el proceso de destilación de las bebidas. El furfural puede actuar como inhibidor de la fermentación (Jiang et al., 2019).

Figura 10

Estructura de los furfurales



Nota. Tomado de TCI América marzo 2024

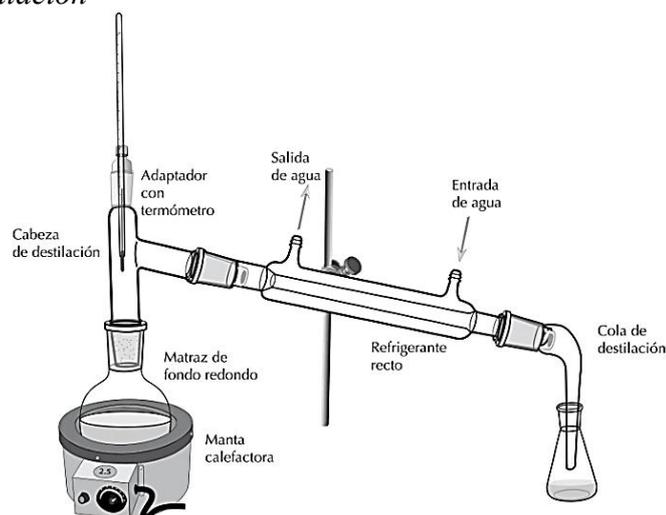
La hidrólisis, que es el proceso de descomposición de las moléculas en una solución acuosa, es el proceso primario que da lugar a la producción de esta sustancia. Para obtener azúcares, principalmente fructosa, las materias primas que se utilizan en la producción de bebidas destiladas contienen hidratos de carbono. Estos hidratos de carbono deben hidrolizarse (Herrera y Peña, 2021). Durante la hidrólisis de las cadenas complejas, los azúcares de las cadenas simples de hidratos de carbono tienen el potencial de caramelizarse. Esta reacción da lugar a la formación de compuestos secundarios como el furfural. Esta es la razón por la que esta etapa del proceso se considera complicada. Es esencial tener un control exhaustivo de esta operación para evitar la formación de una cantidad excesiva de furfural (Chen et al., 2022).

2.4.4. Proceso de destilación de licor

La destilación es una operación que consiste en separar uno o varios componentes de una mezcla líquida cuyos puntos de ebullición difieren entre sí. Esto se logra calentando un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasen a la fase de vapor, para después enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación (Rodríguez, 2017).

Figura 11

Equipo de destilación



Nota. Partes de un equipo de destilación simple. Tomado de Recursos Educativos de Químicas, por De Química (2022).

El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles (Cruz et al., 2019).

No sólo varían los tamaños de los calderos de unas provincias a otras, sino que, incluso dentro de las fábricas bien establecidas, no existe una fórmula universalmente aceptada para saber cuántas arrobas hay que llenar cada uno. El cumplimiento meticuloso de estas reglas es esencial para el éxito de la operación. Debido a que la sustancia hierve para extraer licor o vino extraordinariamente y ocupa más espacio, así como porque el caldero estará demasiado lleno durante la destilación, las burbujas subirán a la parte superior. Como regla general, basta decir que se deben dejar cerca de siete u ocho pulgadas (aproximadamente 20 cm) de vacío (Bagomedov et al., 2019)

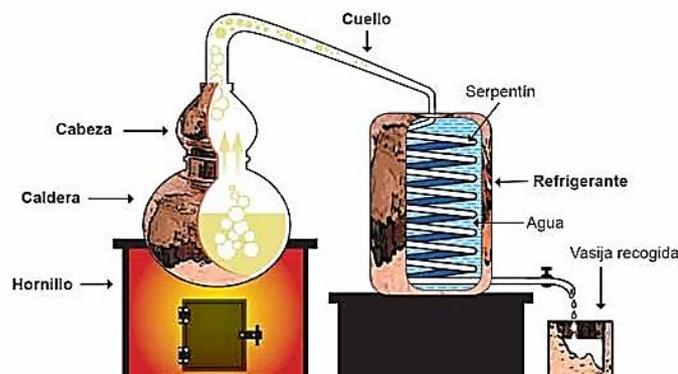
A decir de Liu et al (2022), es sencillo ver si un caldero tiene suficiente agua mientras está destapado, pero para saber a qué altura está el vino, hay que introducir una cadena que se introduce en el suelo por el tubo superior y luego llenarlo de agua. Para ajustar la cantidad, se puede inyectar más por el mismo cañón si es necesario. A la inversa, para drenar el exceso, se abre la espita del cañón inferior, dejando salir el residuo. A continuación, se extrae la cantidad necesaria. Dado que el vino joven tiene una cantidad infinita de aire y burbujas más grandes que el vino más viejo, se requiere un mayor espacio entre la superficie del cuello y el alambique a la hora de almacenarlo (Rodríguez et al., 2019).

Según (García et al., 2023). Dentro de la destilación, en sí, se pueden tomar en cuenta a los siguientes términos:

- **Destilación simple.** En la destilación simple el vapor que se retira del seno del líquido, pasa inmediatamente al refrigerante donde condensa y luego se recolecta el líquido destilado. Mediante este procedimiento pueden separarse mezclas de dos componentes que tengan una diferencia de puntos de ebullición de, al menos 60-80 °C. Mezclas de sustancias cuyos puntos de ebullición difieran en 30-60 °C se pueden separar por destilaciones sencillas repetidas, recogiendo las fracciones enriquecidas en uno de los componentes, las cuales se vuelven a destilar.
- **Alambique.** Con diferencia, éste es el método de destilación más común. En términos de rendimiento técnico, supera a la alquitara, y no siempre es inferior. El hecho de poder gestionar el proceso con mayor precisión gracias a la separación de las fases de vaporización y condensación lo convierte en

un avance tecnológico significativo con respecto a la alquitara. Una caldera u olla de cobre de capacidad regulable, una campana de condensación montada sobre una trompa de elefante o cuello de cisne, un condensador de refrigeración (tambor) con un serpentín de cobre en su interior, una base para el condensador y una conexión al cuello de cisne componen el aparato (Aramendiz, 2019).

Figura 12
Esquema del funcionamiento de un alambique



Nota. Funcionamiento del alambique tomado de supercamarero.com 2013.

Por otro lado, Alias et al (2020) mencionan que la destilación es el proceso que se utiliza para llevar a cabo la separación de diferentes líquidos, que se encuentran disueltos en líquidos, o incluso gases de una mezcla, gracias al aprovechamiento de los diversos puntos de ebullición de cada sustancia partícipe, mediante la vaporización y la condensación. Los puntos de ebullición de las sustancias son una propiedad de tipo intensiva, lo que significa que no cambia en función de la masa o el volumen de las sustancias, aunque sí de la presión (Erdiwansyah et al., 2019).

El líquido azucarado y fermentado está en ebullición para producir el alcohol en una primera destilación, cuyos vapores son transportados por un brazo o refrigerante para luego ser recolectado en un recipiente adecuado, el resultado de éste primera destilación es conocido como base o licor madre. Por lo general, este proceso genera alcohol cortado a 95 grados (Bagomedov et al., 2019).

Se procede a colocar en una olla o tanque de cocción de acero inoxidable cuya capacidad de litros de almacenamiento depende del tipo de destiladora hay de 200 a 500 litros de capacidad, se cocina a una temperatura de 120 grados centígrados, va por un cabezote de cobre evaporándose por un sistema de serpentinas y al pasar por tuberías de cobre alcanza un grado alcohólico óptimo (Machado, 2019).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizará en Imperio del Sabor, microempresa productora de alcohol etílico ubicada en la parroquia Facundo Vela, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar.

3.1.1. Localización de la investigación

Tabla 2

Localización geográfica del proyecto

Provincia		Bolívar
Cantón	Guaranda	
Parroquia	Facundo Vela	
Sector	Facundo Vela	
Dirección	Calle 24 de mayo, Barrio La Libertad.	

3.1.2. Situación geográfica y climática de la localidad

Tabla 3

Aspectos generales del territorio

Parámetros	Valores
Altitud promedio	1725.7 msnm
Latitud	-1. 2166667° S
Longitud	-79.0833333° W
Temperatura máxima	25 °C
Temperatura mínima	12 °C
Temperatura media	15 °C
Precipitación media anual	1500 mm
Humedad relativa	75%
Heliofanía promedio	900 horas/luz/año
Velocidad de viento	5 m/s

Nota. Tomado de tierra.tutiempo.net 2021.

3.1.3. Zona de vida

La investigación en estudio se encuentra en la zona de vida según Holdridge, L. bosque Seco Montano Bajo (bs-MB).

3.2. MATERIALES

3.2.1. Material experimental

- Alcohol artesanal (vinillo 30° y 40° GL)

3.2.2. Materiales de laboratorio

- Termómetros
- Manómetros
- Refractómetro
- PH metro
- Balanza
- Alcohólímetro
- Destilador de columna empacada

3.2.3. Materiales de trabajo

- Computadora portátil
- Láminas de acero inoxidable 304 (grado alimenticio)
- Tubos 1" ½ acero inoxidable 304 (grado alimenticio)
- Suelda TIG
- Cortadora eléctrica
- Cortadora de plasma
- Consumibles TIG
- Codos, válvulas y acoples clamp 304 (grado alimenticio)
- Gel decapante
- Anillos Raschig de acero inoxidable y cerámica
- Tubería de cobre

3.2.4. Equipos

Tabla 4
Equipos a emplear dentro de la presente investigación

Equipo	Función	Imagen
Balanza	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar muestras 	
Refractómetro	<ul style="list-style-type: none"> • Medir el índice de refracción de un medio material 	
Equipo de rectificación	<ul style="list-style-type: none"> • Rectificar el alcohol etílico de baja graduación 	
Medidor de pH	<ul style="list-style-type: none"> • Indica su grado de acidez o alcalinidad expresada como pH. 	

Nota. Equipos presentes en la UEB. Elaboración propia (2024).

3.3. MÉTODOS

El desarrollo del presente estudio corresponde a un tipo de investigación experimental. Se emplea también una investigación descriptiva con base en los resultados que se obtienen mediante los análisis realizados al licor.

3.3.1. Factores en estudio

Los factores considerados para la rectificación del alcohol etílico son: Factor A tipo de empaque con dos niveles, Factor B concentración inicial con dos niveles y Factor C Tiempo de trabajo con dos niveles.

Tabla 5
Factores de estudio para el diseño escala piloto

Factores	Código	Nivel
Tipo de empaque	A	a_1 : Anillo Raschig cerámica a_2 : Anillo Raschig acero
Concentración inicial	B	b_1 : 30° Gay Lussac b_2 : 40° Gay Lussac
Tiempo de trabajo	C	c_1 : 20 min c_2 : 30 min

Nota. Elaboración propia (2024).

3.3.2. Tratamientos

Los tratamientos constituyen la combinación de cada uno de los niveles de los factores AxBxC que intervienen en el estudio.

Tabla 6

Combinación de tratamientos

Tratamiento	Código	Niveles		
		A	B	C
1	$a_1b_1c_1$	Cerámica	30° GL	20 min
2	$a_1b_1c_2$	Cerámica	30° GL	30 min
3	$a_1b_2c_1$	Cerámica	40° GL	20 min
4	$a_1b_2c_2$	Cerámica	40° GL	30 min
5	$a_2b_1c_1$	Acero	30° GL	20 min
6	$a_2b_1c_2$	Acero	30° GL	30 min
7	$a_2b_2c_1$	Acero	40° GL	20 min
8	$a_2b_2c_2$	Acero	40° GL	30 min

Nota. Elaboración propia (2024).

3.3.3. Características del experimento

Tabla 7

Características de la experimentación

Atributos del Diseño Factorial	
Número de factores experimentales	3
Número de niveles factor A	2
Número de niveles factor B	2
Numero de niveles factor C	2
Número de replicas	2
Unidades experimentales	16
Tamaño de la muestra	10 L
Variabes de respuesta	2

Nota. Elaboración propia (2024).

3.3.4. Tipo de diseño experimental

Se aplicó un diseño en arreglo factorial AxBxC (2x2x2) con 2 repeticiones, obteniendo 16 unidades experimentales, el cual se ajusta al siguiente modelo matemático:

Modelo matemático del diseño

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

μ = media general.

α_i = efecto debido al i-esimo nivel del factor A.

β_j = efecto del j-esimo nivel del factor B.

γ_k = efecto del j-esimo nivel del factor C.

$(\alpha\beta)_{ij}, (\alpha\gamma)_{ik}, (\beta\gamma)_{jk}$ = efecto de interacción doble en los niveles ij, ik, jk .

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = efecto de interacción triple en la combinación ijk .

ε_{ijkl} = error aleatorio en la combinación ijk .

➤ **Análisis de varianza (ANOVA)**

Tabla 8

Análisis de varianza (ANOVA) para el diseño en arreglo factorial $A \times B \times C$.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	Valor-p
Efecto A	SC_A	a-1	CM_A	CM_A/CM_E	$P(F > F_0^A)$
Efecto B	SC_B	b-1	CM_B	CM_B/CM_E	$P(F > F_0^B)$
Efecto C	SC_C	c-1	CM_C	CM_C/CM_E	$P(F > F_0^C)$
Efecto AB	SC_{AB}	(a-1)(b-1)	CM_{AB}	CM_{AB}/CM_E	$P(F > F_0^{AB})$
Efecto AC	SC_{AC}	(a-1)(c-1)	CM_{AC}	CM_{AC}/CM_E	$P(F > F_0^{AC})$
Efecto BC	SC_{BC}	(b-1)(c-1)	CM_{BC}	CM_{BC}/CM_E	$P(F > F_0^{BC})$
Efecto ABC	SC_{ABC}	(a-1)(b-1)(c-1)	CM_{ABC}	CM_{ABC}/CM_E	$P(F > F_0^{ABC})$
Error	SC_E	abc(n-1)	CM_E		
Total	SC_T	abcn-1			

Nota. Tomado de Análisis y diseño de experimentos, por Gutiérrez & Salazar (2012).

➤ **Pruebas de rangos múltiples**

Método LSD (Diferencia mínima significativa)

$$LSD = |\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > t_{(\frac{\alpha}{2}, N-k)} \sqrt{CM_E \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

Donde:

k = número de tratamientos.

$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j|$ = valor absoluto entre las medias muestrales.

$t_{(\frac{\alpha}{2}, N-k)}$ = distribución T de Student con N-k grados de libertad que corresponden al error.

CM_E = cuadrado medio del error que se obtiene de la tabla ANOVA.

n_i, n_j = número de observaciones para los tratamientos i y j , respectivamente.

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.4.1. Análisis de la materia prima para la obtención de pájaro azul

La materia prima (Alcohol artesanal) para la rectificación procede a ser recolectada de las fincas de la parroquia Facundo Vela, perteneciente a la provincia Bolívar. El alcohol base o alcohol artesanal fue sometido a pruebas de laboratorio para evidenciar la idoneidad de la misma. Se tomaron en consideración los siguientes análisis:

- Grado alcohólico
- Nivel de furfurales
- Nivel de metanol
- Alcoholes superiores

3.4.2. Medición del grado alcohólico

Para la determinación del grado alcohólico de la muestra enviada se emplea la NTE INEN 340:2016. La norma establece que se debe realizar un proceso de destilado simple a la bebida alcohólica seleccionada para determinar el contenido de alcohol etílico mediante la lectura establecida por un alcoholímetro. El grado de alcohol permitido para una bebida alcohólica se delimita en la NTE INEN 1837:1991. Esta norma establece también las diferentes cantidades de los compuestos medidos que son consideradas como adecuadas para un licor en territorio nacional.

3.4.3. Medición del furfural

En los análisis realizados, la medición del furfural existente en la muestra se realizó con base en lo establecido dentro de la norma NTE INEN 2014:2015, empleando cromatografía de gases para el análisis. La norma NTE INEN 1837:1991, establece que los productos congéneres son sustancias volátiles diferentes al etanol y metanol que se forman en el proceso de fermentación y añejamiento de las bebidas alcohólicas. También se denominan impurezas o sustancias volátiles. Dentro de los congéneres se consideran: ácidos orgánicos, aldehídos, furfural, ésteres y alcoholes superiores.

3.5. NIVEL DE METANOL

Al igual que el furfural, el nivel de metanol presente en el alcohol seleccionado se calculó mediante lo establecido dentro de la norma NTE INEN 2014:2015.

3.5.1. Nivel de alcoholes superiores

El nivel de alcoholes superiores, se calculó con base en lo establecido en la NTE INEN 2014:2015. El resultado obtenido se compara con la norma NTE INEN 1837:1991, lo que indica si este alcohol puede o no ser consumido por un ser humano, con riesgo de presentar intoxicación.

3.6. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO Y RECTIFICACIÓN DEL ALCOHOL

3.6.1. Modelos matemáticos empleados en la construcción del equipo de destilación

Diámetro de la columna empacada

El diámetro de la columna empacada fue determinado mediante correlaciones y ecuaciones descritas por autores como Borroto, (2021), quien toma en cuenta factores como las condiciones de operación, los parámetros de transferencia de masa y el tipo de empaque utilizado. El peso molecular de la mezcla gaseosa (M_G) fue determinado a partir de la siguiente expresión:

$$M_G = Y_o \cdot M_1 + Y_2 \cdot M_2$$

Donde:

Y_o : Concentración H_2O ($^{\circ}GL$)

Y_2 : Concentración C_2H_6O ($^{\circ}GL$)

M_1 : Peso molecular H_2O (g/mol)

M_2 : Peso molecular C_2H_6O (g/mol)

Por su parte, la densidad de la mezcla gaseosa (ρ_G) se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$\rho_G = \frac{M_G}{22,4} \cdot \frac{273 \cdot P_G}{T_G \cdot P_0}$$

Donde:

M_G : Peso molecular de la mezcla gaseosa (g/mol)

P_G : Presión (kPa)

P_0 : Presión inicial (kPa)

T_G : Temperatura ($^{\circ}K$)

El caudal másico de entrada de la mezcla gaseosa (m_G) se expresa de la siguiente manera:

$$M_G = Q_G \cdot \rho_G$$

Donde:

Q_G : Caudal volumétrico (m^3/h)

ρ_G : Densidad de la mezcla gaseosa (g/l)

La viscosidad de la mezcla gaseosa (μ_G) viene dada por la siguiente expresión:

$$\mu_G = \frac{M_G}{\left(\frac{y_{et(1)} * M_{et}}{\mu_{et}}\right) + \left(\frac{y_{CO2(1)} * M_{CO2}}{\mu_{CO2}}\right)}$$

Donde:

M_G : Peso molecular de la mezcla gaseosa (g/mol)

$y_{et(1)}$: Fracción molar del etanol

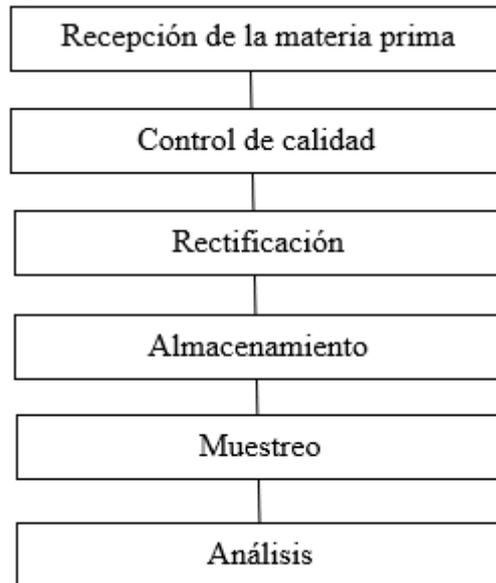
M_{et} : Masa molar del etanol (kg/k_{mol})

$y_{CO2(1)}$: Fracción molar del dióxido de carbono

M_{CO2} : Masa molar del dióxido de carbono (kg/k_{mol})

Figura 13

Diagrama para la rectificación del alcohol



3.6.2. Descripción del proceso para la rectificación del alcohol artesanal

1. **Recepción de la materia prima.** El alcohol se recibe a granel, en la planta de producción en canecas de 10 litros.

2. **Control de calidad.** En esta etapa la materia prima se analiza si tiene olores anormales su concentración inicial 30° GL y 40° GL, si la materia prima no cumple con los requerimientos establecidos se devuelve al productor.
3. **Rectificación.** Para la rectificación se hace uso del equipo de destilación el cual consta de 1 columna empacada, como producto de esta operación se obtiene alcohol rectificado y como residuo vinazas.
4. **Almacenamiento.** El alcohol de alta graduación se almacena en envases herméticos en un lugar oscuro y a temperaturas inferiores a los 20°C.
5. **Muestreo.** Para utilizar el producto se envasa en botellas de 500 ml, esto facilita la manipulación del producto.
6. **Análisis.** Para conocer la composición química del producto se envía una muestra de 500 ml al laboratorio.

3.6.3. Determinación del mejor tratamiento y formulación del licor pájaro azul.

Con ayuda de los datos obtenidos de la cantidad obtenida (litros) y concentración (°GL) de alcohol rectificado obtenido en intervalos de 20 y 30 minutos, se procedió a realizar el cálculo del rendimiento, aplicando la siguiente ecuación:

$$\% = \left(\frac{M_1}{M_2} \right) * 100$$

Donde:

% = rendimiento del proceso de destilación.

M_1 = masa final del rectificado.

M_2 = masa inicial del alcohol artesanal.

100 = es un factor matemático.

3.7. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL PÁJARO AZUL

El pájaro azul es un licor anisado, dulce, de concentración alcohólica que va desde los 20 a 45° GL, con tonalidades frutales lo que le otorga un sabor agradable al paladar y brillante tonalidad azul. El aguardiente de caña de azúcar y los extractos naturales de frutas tropicales son los dos ingredientes principales de esta tradicional bebida, Este licor es usado como ingrediente en diversas bebidas, como margaritas azules, daiquiris azules y otras bebidas refrescantes y vibrantes. Al mismo tiempo, es esencial tener en cuenta que el consumo de alcohol debe realizarse de forma

responsable y moderada. Además, las leyes y normativas que regulan la venta y el consumo de bebidas alcohólicas pueden variar de una nación o región a otra. Por ello, es esencial respetar las restricciones vigentes en cada lugar.

3.7.1. Formulación del licor pájaro azul

Tabla 9

Porcentajes utilizados en la formulación del licor pájaro azul.

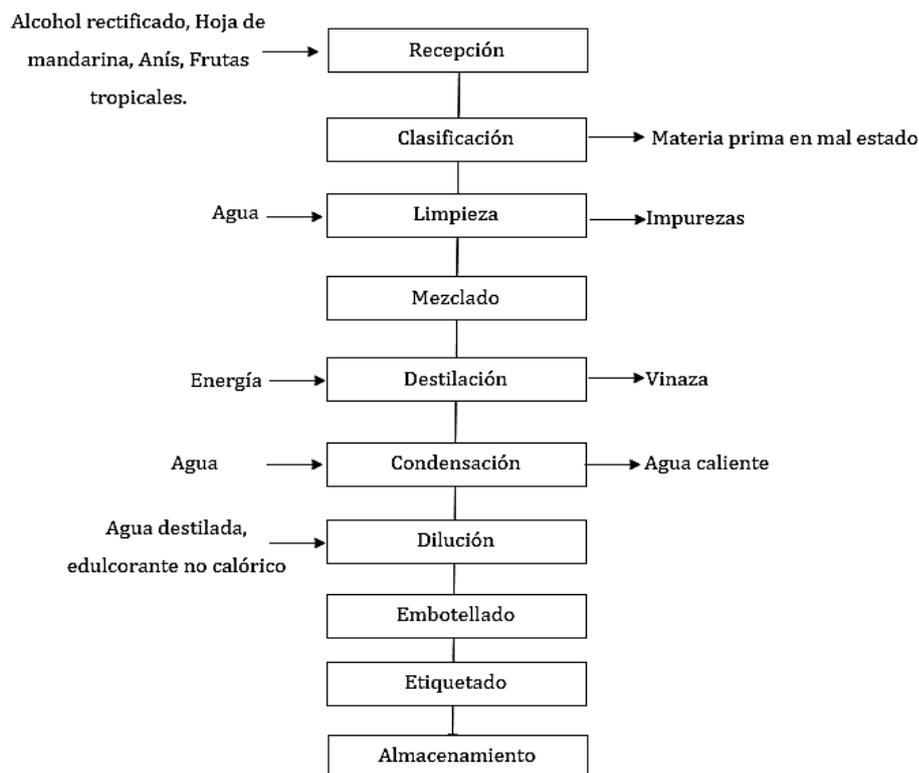
Ingrediente	Unidad	%
Alcohol rectificado (Alc.70% vol.)	100 L → 220lb	71,3 %
Agua desmineralizada	35,5 L → 78,1 lb	25,3 %
Edulcorante no calórico	0,099 lb	0,03 %
Hoja de mandarina	5 lb	1,62 %
Anís	1 lb	0,32 %
Piña	2 lb	0,65 %
Plátano	2 lb	0,65 %
TOTAL:	308,199 lb	100 %

Nota. Elaboración propia (2024).

3.7.2. Diagrama de flujo para la elaboración de pájaro azul

Figura 14

Diagrama para la elaboración del pájaro azul



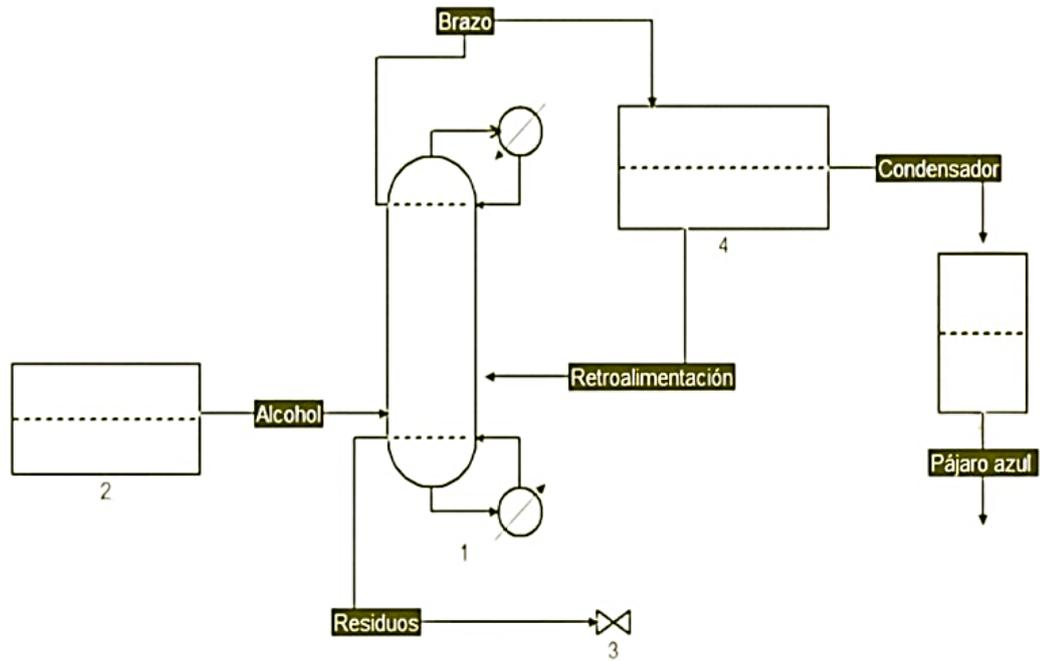
3.7.3. Descripción del diagrama de elaboración del licor pájaro azul

- a) **Recepción de la materia prima:** En esta actividad se recibe y pesa los ingredientes a procesar, en el andén de la planta de producción (100 litros de alcohol rectificado, 1 libra de anís estrella, 5 libras de hoja de mandarina, 2 libras de piña, 2 libras de plátano).
- b) **Clasificación:** Se selecciona los ingredientes aptos para el proceso, y se elimina la materia prima en mal estado.
- c) **Limpieza:** Se lava las frutas y hojas con agua donde se elimina impurezas como tierra y partículas extrañas.
- d) **Mezclado:** Se agrega en el calderín el alcohol rectificado, frutas, anís y hoja de mandarina y se agita, generando una mezcla homogénea.
- e) **Destilación:** Se enciende el equipo para que por medio de la temperatura los componentes más volátiles se separen de los más pesados, como residuo se obtienen vinazas.
- f) **Condensación.** Es un cambio de estado del alcohol etílico de fase gaseosa a fase líquida, los vapores pasan por un serpentín sumergido en agua fría, obteniendo como resultado alcohol de alta graduación, dulce, con un perfil frutal y color azul cristalino.
- g) **Dilución:** Al producto de la destilación se agrega (35,5 litros) de agua desmineralizada y (45 gramos) de edulcorante a la mezcla y remover hasta que se disuelva completamente.
- h) **Filtrado:** Es la separación o eliminación de cualquier impureza o sedimento presente en el producto.
- i) **Embotellado:** Se envasa el producto en botellas de vidrio o plástico en las presentaciones de 50 ml, 250 ml, 500 ml y 1000 ml.
- j) **Etiquetado:** Se estampan las botellas con etiquetas que contienen el nombre del producto, marca comercial, contenido neto, ingredientes, fecha de elaboración y cualquier otra información requerida por las regulaciones locales.
- k) **Almacenado:** Se almacenan las botellas en un lugar fresco y oscuro durante un período de tiempo determinado para permitir que los sabores se fusionen y se desarrolle el color característico.

3.7.4. Diagrama de proceso para elaboración de licor pájaro azul.

Figura 15

Diagrama de proceso para la obtención de pájaro azul



Nota: Diseño en el software COCO, elaboración propia.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA

En los siguientes puntos y tablas se presentan los principales hallazgos presentes en el trabajo.

Tabla 10

Análisis de congéneres e interpretación según la NTE INEN 1837:1991

Parámetros	Resultado		Unidad	Máximo	Método de análisis de referencia
	M1	M2			
Grado alcohólico a 20°C	30	40	°GL	50	NTE INEN 340:2016
Furfural	1.06	1.96	mg/100 cm ³ aa	1.5	NTE INEN 2014:2015/ cg-fid
Metanol	5.01	4.03	mg/100 cm ³ aa	10	NTE INEN 2014:2015/ cg-fid
Alcoholes superiores	254.37	250.25	mg/100 cm ³ aa	150	NTE INEN 2014:2015/ cg-fid

Nota. Elaboración propia (2024).

La tabla 9 reporta que el Grado alcohólico para las muestras M1 y M2 reportan una concentración de 30° y 40° GL, este alcohol es obtenido mediante una destilación simple de la caña de azúcar, Según (Narváez, 2020), en su estudio reporta que el etanol de primera generación empleando el jugo de caña de azúcar obtuvo un rendimiento alrededor del 45 %. Por ende, las graduaciones de las presentes muestras se justifican como un alcohol base o denominado coloquialmente como vinillo.

En cuanto a los furfurales las dos muestras estableció un nivel de furfural de 1.06 y 1.96 mg/100 cm³ aa. Según la norma NTE INEN 1837:1991, este valor se encuentra ligeramente por debajo del máximo permitido para este grupo de congéneres. Según (Calvache, 2020), en su estudio menciona que la presencia de congéneres en el

aguardiente de caña de presentó metanol (3.07 mg/100 cm³ de alcohol absoluto). Por ello los valores reportados hasta este momento se consideran fuera de los rangos permisibles y un riesgo su consumo.

La concentración de metanol, para M1 es de 5.01 y para M2 es 4.03 mg/100 cm³ aa. Según (Calvache, 2020), su estudio reportó valores de (3.08 y 3.06 mg/100 cm³ aa), Este valor se encuentra por debajo de lo establecido dentro de la norma NTE INEN 1837:1991, sin embargo, estos valores aún siguen siendo insatisfactorios por su riesgo de intoxicación.

En los alcoholes superiores, el resultado obtenido para este congénere en la muestra M1 fue de (254,37 mg/100 cm³ aa) y en la muestra M2 fue (250.25 mg/100 cm³ aa). Según (Gerra, 2019), en su estudio obtuvo valores de (1,4 y 1,78 mg/100 cm³ aa). Estos valores se encuentran muy por encima de lo establecido dentro de la norma NTE INEN 2014:2015, lo que significa que este alcohol no debe ser consumido por un ser humano, puesto que tienen un alto riesgo de presentar intoxicación.

4.2. DISEÑO DE LA COLUMNA EMPACADA

4.2.1. Diámetro de la columna empacada

El diámetro de la columna empacada fue determinado mediante correlaciones y ecuaciones descritas por autores como Borroto, (2021), quien toma en cuenta factores como las condiciones de operación, los parámetros de transferencia de masa y el tipo de empaque utilizado. El peso molecular de la mezcla gaseosa (M_G) fue determinado a partir de la siguiente expresión:

$$M_G = Y_o \cdot M_1 + Y_2 \cdot M_2$$

$$M_G = 0.3(18)g/mol + 0.7(46.068)g/mol$$

$$M_G = 37.64 \frac{g}{mol}$$

Por su parte, la densidad de la mezcla gaseosa (ρ_G) se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$\rho_G = \frac{M_G}{22,4} \cdot \frac{273 \cdot P_G}{T_G \cdot P_o}$$

$$T_G = 75^\circ C + 273^\circ C$$

$$T_G = 348^\circ K$$

$$P_o = 100K_{pa} = 100000P_a$$

$$P_G = Y \cdot P_o$$

$$P_o = 0.7(100) = 70 Kpa$$

$$\rho_G = \frac{46.068g/mol}{22.4l/mol} \cdot \frac{(273)^\circ K (70)K_{pa}}{(348)^\circ K(100)K_{pa}}$$

$$\rho_G = 1.13 \frac{g}{l}$$

El caudal másico de entrada de la mezcla gaseosa (m_G) se expresa de la siguiente manera:

$$m_G = Q_G \cdot \rho_G$$

$$m_G = 50 \frac{l}{dia} \cdot (1.13) \frac{g}{l}$$

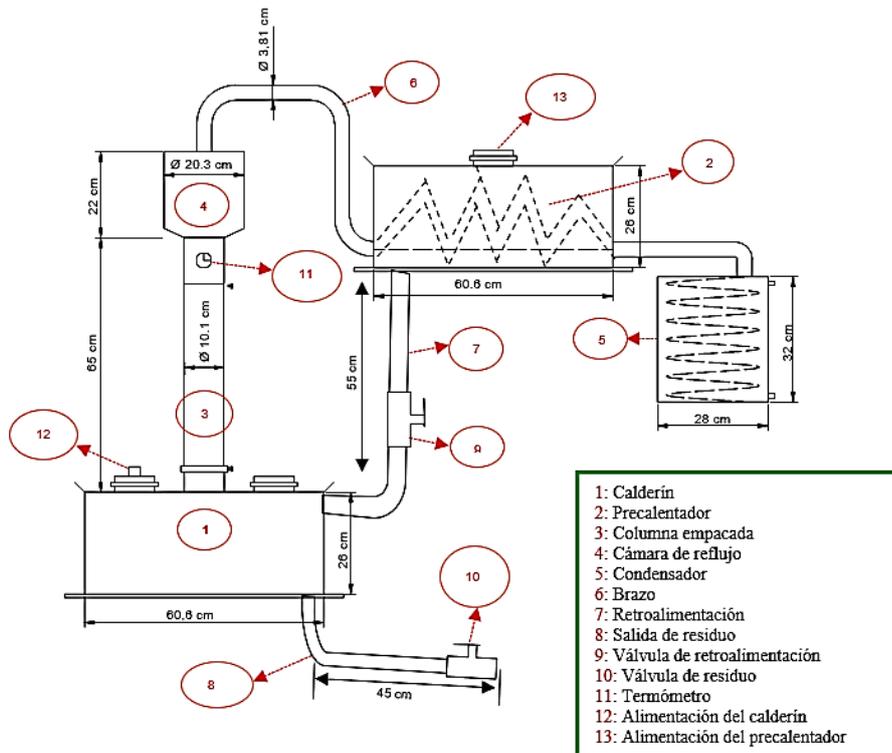
$$m_G = 56,5 \frac{g}{dia}$$

4.2.2. Diagrama del prototipo de destilador empacado

En lo que respecta al prototipo diseñado para el destilador empacado, en la siguiente figura se presenta el diseño base para la construcción del mismo.

Figura 16

Prototipo destilador columna empacada



Nota. Elaboración propia (2024) software AutoCAD

Tabla 11*Dimensionamiento de la columna y sus componentes*

Dimensionamiento de la columna y sus componentes	
Elemento	Medida
Altura total de la columna	87 cm
Diámetro de la columna	10.1 cm
Altura del empaque	18 cm
Numero de anillos	152
Diámetro de los anillos	2 cm x 2cm
Altura de la cámara de reflujo	22 cm
Diámetro de la cámara de reflujo	20.3 cm

4.3. RESULTADOS DE LOS TRATAMIENTOS EN FUNCIÓN DEL RENDIMIENTO

A continuación, se reportan los resultados de la rectificación del alcohol con cada empaque, donde se aplicaron parámetros operaciones tales como; concentración inicial y tiempo.

Tabla 12*Resultado del alcohol rectificado obtenido*

DESTILACION UNIDAD EXPERIMENTAL 10 L					
Tratamiento	Unidad experimental L	Concentración inicial (°GL)	Volumen obtenido(L)	Rendimiento %	Graduación (°GL)
a1b1c1	10	30	5,2	52 %	70
a1b1c2	10	30	5,5	55 %	78
a1b2c1	10	40	6,1	61 %	75
a1b2c2	10	40	6,4	64 %	79
c2b1c1	10	30	4,6	46 %	71
a2b1c2	10	30	4,9	49 %	71
a2b2c1	10	40	5,1	51 %	74
a2b2c2	10	40	5,3	53 %	75
a1b1c1	10	30	5,1	51 %	69
a1b1c2	10	30	5,5	55 %	76
a1b2c1	10	40	6,2	62 %	76
a1b2c2	10	40	6,7	67 %	80
c2b1c1	10	30	4,1	41 %	71
a2b1c2	10	30	4,7	47 %	70
a2b2c1	10	40	5,1	51 %	74
a2b2c2	10	40	5,5	55 %	75

Nota. Elaboración propia (2024).

La tabla 12 da a conocer los resultados obtenidos de la rectificación con columna empacada de cerámica y acero inoxidable con la concentración inicial de 30° y 40° GL y el tiempo de 20 y 30 minutos, presentando como mayor rendimiento un 67%. Estos resultados se los comparó con los datos reportados por (Rivera, 2022), donde reporta un rendimiento de 51 kg de alcohol rectificado por cada 100 kg de alcohol artesanal puesto que, ingresa un flujo de 1,603 kmol/h de etanol a la columna hidroselectora y se obtiene un producto final que sale de la columna desmetilizadora.

Mediante reportes por parte de productores locales se presenta que para destilar un litro de alcohol se necesita más menos 10 minutos dependiendo del tipo de combustible utilizado un litro de alcohol destilado requiere de hasta 12 minutos. Por nuestra parte nuestros dos mejores tratamientos indican que para obtener un litro de alcohol rectificado se requiere de 4,47 minutos indicando que el uso de una columna empacada y manejo controlado del proceso nos permite reducir los tiempos de trabajo. En base a lo reportado la viabilidad del proyecto es aceptable.

Tabla 13

Análisis de Varianza para el rendimiento o volumen de alcohol rectificado

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tipo empaque	3,4225	1	3,4225	124,45	0,0000
B: Concentración	2,89	1	2,89	105,09	0,0000
C: Tiempo	0,5625	1	0,5625	20,45	0,0019
INTERACCIONES					
AB	0,1225	1	0,1225	4,45	0,0678
AC	0	1	0	0,00	1,0000
BC	0,0025	1	0,0025	0,09	0,7707
ABC	0,01	1	0,01	0,36	0,5632
RESIDUOS	0,22	8	0,0275		
TOTAL (CORREGIDO)	7,23	15			

Nota. Elaboración propia (2024).

En la tabla 13 se detalla el análisis de varianza para la cantidad de alcohol rectificado obtenido, los valores-P prueban que existe significancia estadística de cada uno de los factores. Dado que 3 valores-P son menores que 0,05, Factor A (Tipo de empaque), Factor B (Concentración inicial), Factor C (Tiempo de trabajo),

estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Rendimiento o la cantidad de alcohol rectificado obtenido con un 95,0% de nivel de confianza.

Tabla 14

Prueba de múltiples rangos para el rendimiento de alcohol rectificado

<i>Tipo empaque</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2 (acero inoxidable)	8	4,9125	0,0586302	A
1 (cerámica)	8	5,8375	0,0586302	B

Nota. Elaboración propia (2024).

En la tabla 14 se identifican 2 grupos homogéneos A y B, los cuales no presentan diferencia significativa entre sí, puesto que no comparten una misma columna, donde los resultados mencionan al nivel 1(cerámica) con un valor de 5,8375 como la media más alta. Mediante el método de Fisher se determina que hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 15

Prueba de múltiples rangos para el rendimiento de alcohol

<i>Concentración</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1 (30°)	8	4,95	0,0586302	A
2 (40°)	8	5,8	0,0586302	B

En la tabla 15 se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación de A y B, puesto que no comparten una misma columna no existen diferencias estadísticamente significativas, donde los resultados mencionan al nivel 2(40°) con un valor de 5,8 como la media más alta. Mediante el método de Fisher expresamos que hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 16

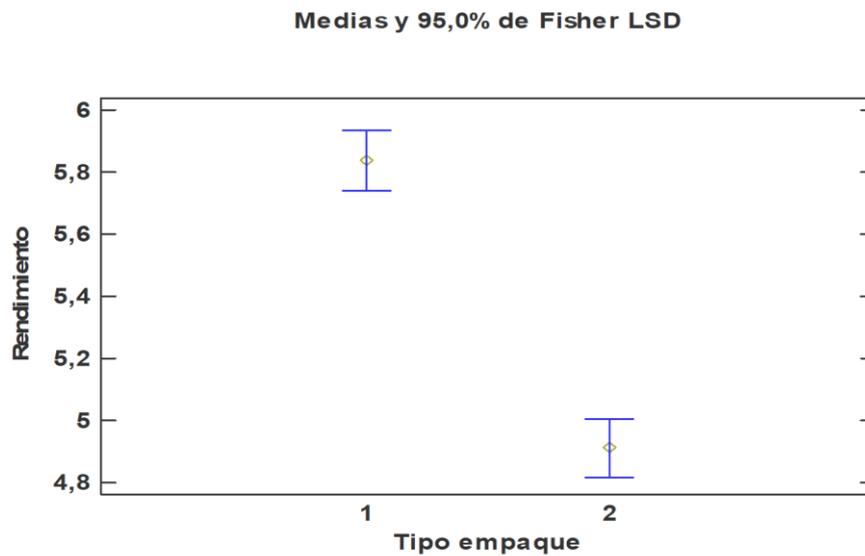
Prueba de múltiples rangos para el rendimiento de alcohol rectificado

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1 (20 minutos)	8	5,1875	0,0586302	A
2 (30 minutos)	8	5,5625	0,0586302	B

En la tabla 16 se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación de A y B, puesto que no comparten una misma columna no existen diferencias estadísticamente significativas, donde los resultados mencionan al nivel 2(30 minutos) con un valor de 5,5625 como la media más alta. Mediante el método de Fisher expresamos que hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Figura 17

Gráfico de medias del rendimiento (Tipo de empaque)

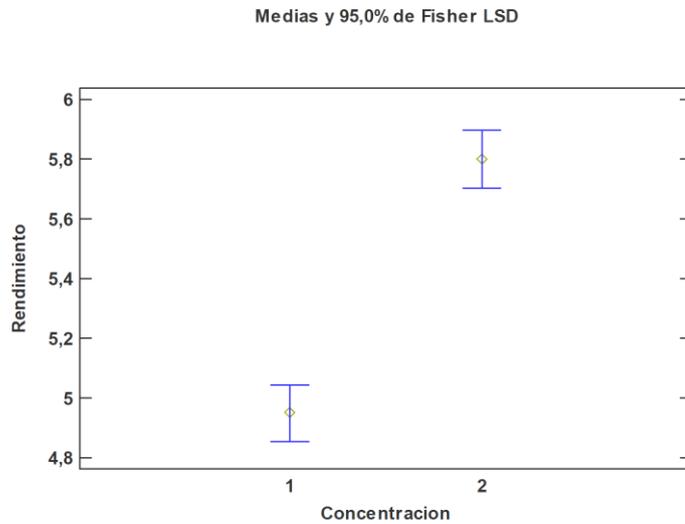


Nota. Elaboración propia (2024). Software statgraphics

La figura 16 demuestra que cada uno de los niveles del factor tipo de empaque son diferentes, se determinó que el nivel 1 que corresponde a empaque de cerámica, el cual tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento con un 95,0% de confianza, en comparación con la variable 2 que corresponde a tipo de empaque de acero inoxidable. Esto se puede justificar en cuanto a la naturaleza de la cerámica de no ser tan conductora de energía a comparación del acero inoxidable, lo que permite que cumpla con su función de crear un balance calórico dentro de la columna.

Figura 18

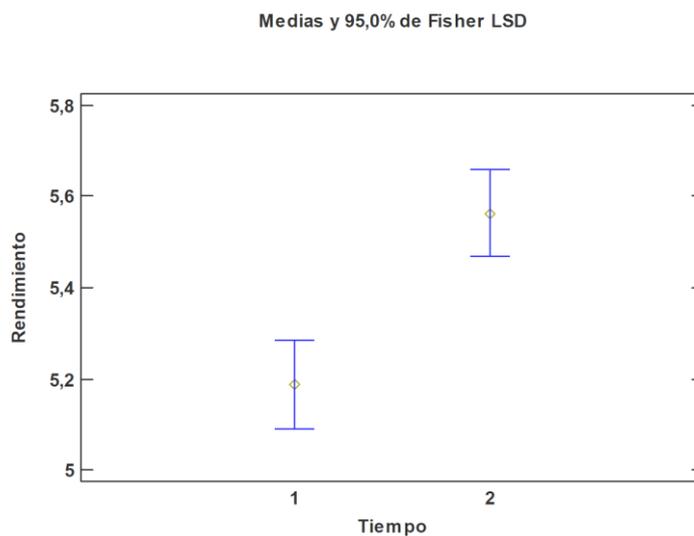
Gráfico de medias del rendimiento (Concentración)



La figura 17 representa a cada uno de los niveles del factor concentración los cuales son diferentes, se determinó que el nivel 2 que corresponde a la concentración 40° GL, tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento con un 95,0% de confianza, en comparación con el nivel 1 que corresponde a concentración 30° GL. Esto se puede justificar en cuanto a los 10° de diferencia entre niveles lo que permite un mayor aprovechamiento en volumen.

Figura 19

Gráfico de medias del rendimiento (Tiempo)

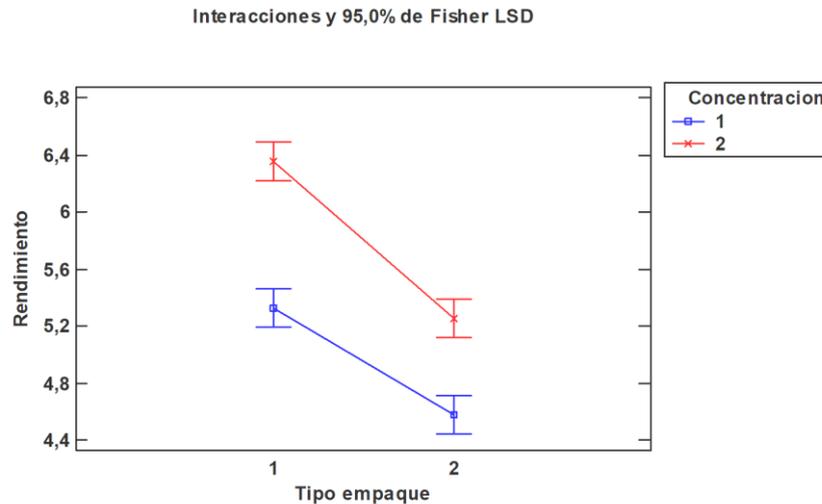


La figura 18 permite evidenciar a cada uno de los niveles del factor tiempo los cuales son diferentes, se determinó que el nivel 2 que corresponde al tiempo 30 minutos, tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento con un 95,0% de confianza, en comparación con el nivel 1 que corresponde al tiempo 20

minutos. Esto se justifica en cuanto a los 10 minutos de diferencia entre niveles lo que permite un mayor aprovechamiento en volumen.

Figura 20

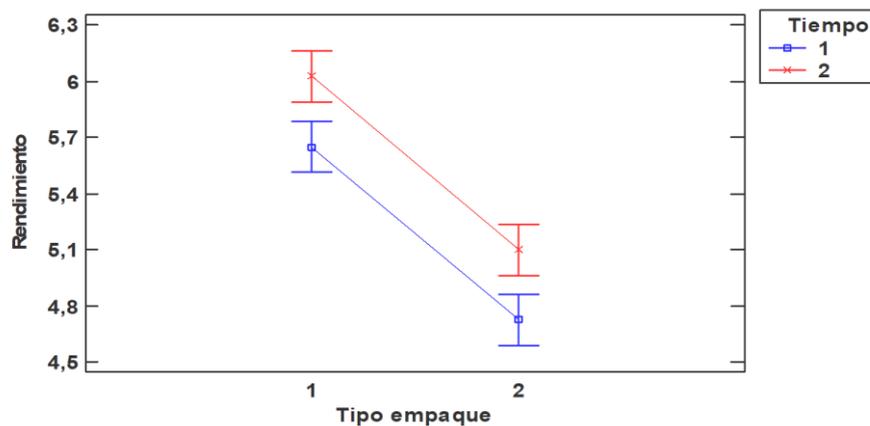
Interacción de los factores para rendimiento (empaques y concentración)



La figura 19 representa la interacción de los factores tipo de empaque y concentración inicial en el rendimiento indica que las líneas de tendencia no presentan interacciones entre el factor empaque de cerámica y factor empaque de acero inoxidable, donde la concentración de 40° GL con el empaque de cerámica presenta un mayor rendimiento o volumen de alcohol rectificado.

Figura 21

Interacción de los factores para rendimiento (Tipo de empaque y tiempo)

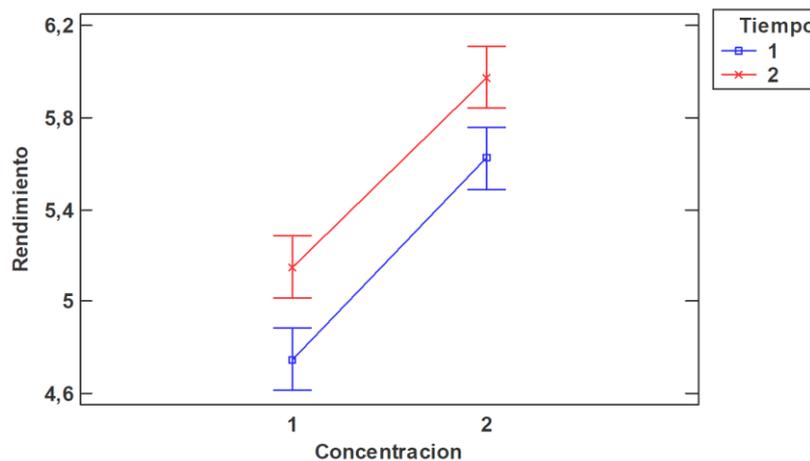


La figura 20 representa la interacción de los factores tipo de empaque y tiempo en el rendimiento, la cual indica que las líneas de tendencia no presentan interacciones entre el factor empaque de cerámica y factor empaque de acero inoxidable, donde

el nivel 2 que corresponde a 40 minutos presenta un mayor rendimiento en volumen de alcohol rectificado.

Figura 22

Interacción de los factores para rendimiento



La figura 21 representa la interacción de los factores concentración y tiempo en el rendimiento, la cual indica que las líneas de tendencia no presentan interacciones entre el factor, por su parte la concentración en su nivel 40° y el tiempo en su nivel 40 minutos presenta un mayor rendimiento en volumen de alcohol rectificado. La mejor combinación para Rendimiento en volumen es el tratamiento a1b2c2.

Tabla 17

Análisis de varianza para la graduación obtenida

Análisis de Varianza para Graduación - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	G	Cuadrado l Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tipo empaque	30,25	1	30,25	60,50	0,0001
B: Concentración	64,0	1	64,0	128,00	0,0000
C: Tiempo	36,0	1	36,0	72,00	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,25	1	0,25	0,50	0,4996
AC	30,25	1	30,25	60,50	0,0001
BC	1,0	1	1,0	2,00	0,1950
ABC	6,25	1	6,25	12,50	0,0077
RESIDUOS	4,0	8	0,5		
TOTAL (CORREGIDO)	172,0	15			

Nota. Elaboración propia (2024).

En la tabla 17 se detalla el análisis de varianza para la graduación obtenida en el experimento, los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Dado que 5 valores-P son inferiores a 0,05, factor A (Tipo de empaque), factor B (Concentración), factor C (Tiempo) y las interacciones del factor AC y ABC, estos factores tienen un efecto significativo. Por lo cual, se explica que la graduación obtenida en cada tratamiento depende de la combinación de los niveles de cada factor interviniente en esta investigación.

Se realizó pruebas de rangos múltiples por el método LSD para establecer el nivel de incidencia del factor A (tipo de empaque) con un 95,0% de confiabilidad.

Tabla 18

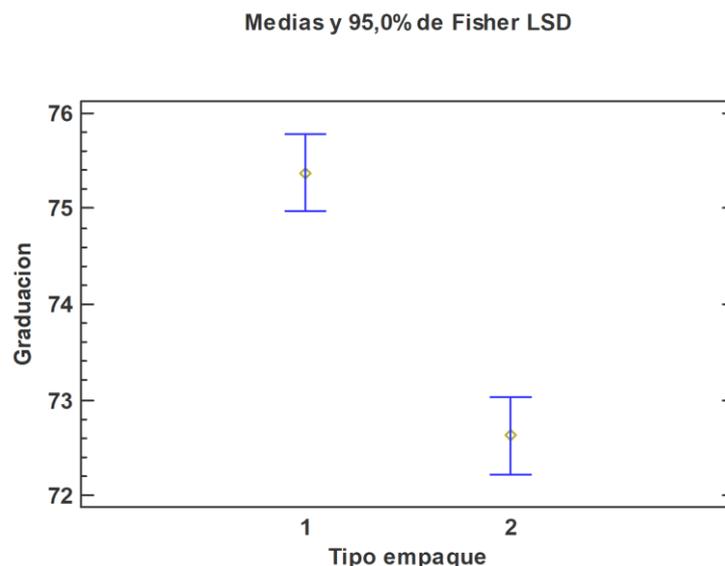
Prueba de múltiples rangos al 95% de confianza para la graduación obtenida

<i>Tipo empaque</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	8	72,625	0,25	A
1	8	75,375	0,25	B

La tabla 18 verifica la prueba de rangos múltiples de la prueba ANOVA en la que se han identificado 2 grupos homogéneos A y B. Siendo el tipo de empaque de cerámica el de mayor influencia con una media de 75,375, Por medio de Fisher podemos discriminar entre las medias con un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente.

Figura 23

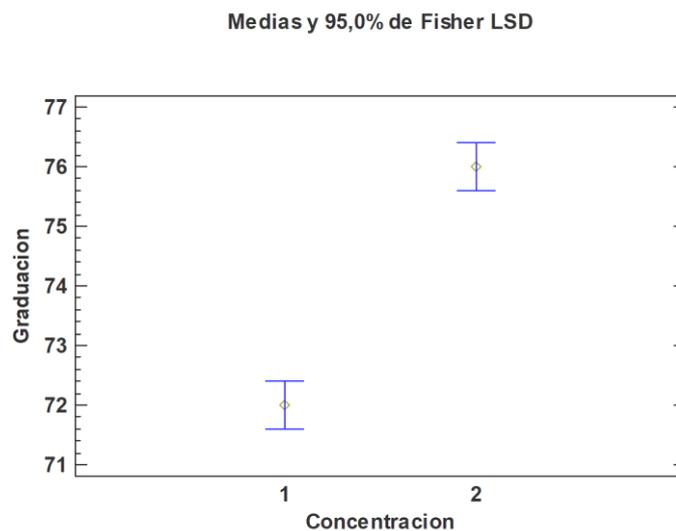
Gráfico de medias de Graduación (Tipo de empaque)



La figura 22 da a conocer cada uno de los niveles del factor tipo de empaque los cuales son diferentes, donde el nivel 1 que corresponde a cerámica, tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la graduación con un 95,0% de confianza, en comparación con el nivel 2 que corresponde a acero inoxidable. Esto se justifica en cuanto a las bondades del material ya que permite un mejor control de temperatura y variaciones de presión.

Figura 24

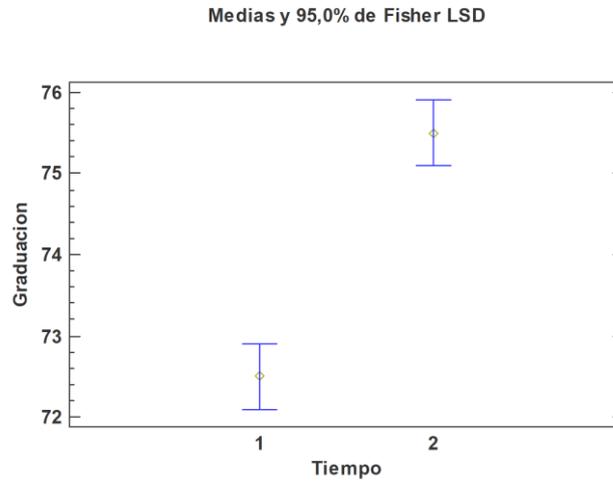
Gráfico de medias de Graduación (Concentración)



La figura 23 da a conocer cada uno de los niveles de la concentración los cuales son diferentes, donde el nivel 2 que corresponde a 40° GL, tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la graduación con un 95,0% de confianza, en comparación con el nivel 1 que corresponde a 30° GL. Esta diferencia se justifica en cuanto a los 10° de diferencia entre niveles, ya que al tener una mayor concentración permite elevar la graduación conservando los niveles en volumen.

Figura 25

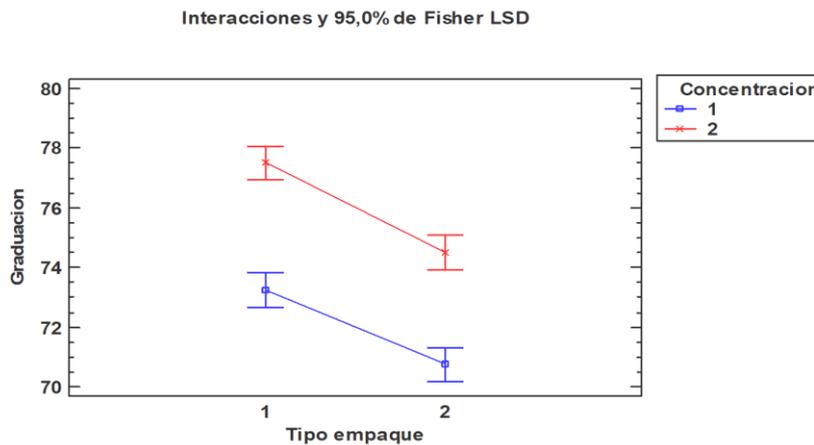
Gráfico de medias de Graduación (Tiempo)



La figura 24 da a conocer cada uno de los niveles del factor tiempo los cuales son diferentes, donde el nivel 2 que corresponde a 30 minutos, tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la graduación con un 95,0% de confianza, en comparación con el nivel 1 que corresponde a 20 minutos. Esto se debe a que en los 10 minutos de diferencia se logra recuperar más alcohol.

Figura 26

Interacción del tipo de empaque en la graduación final

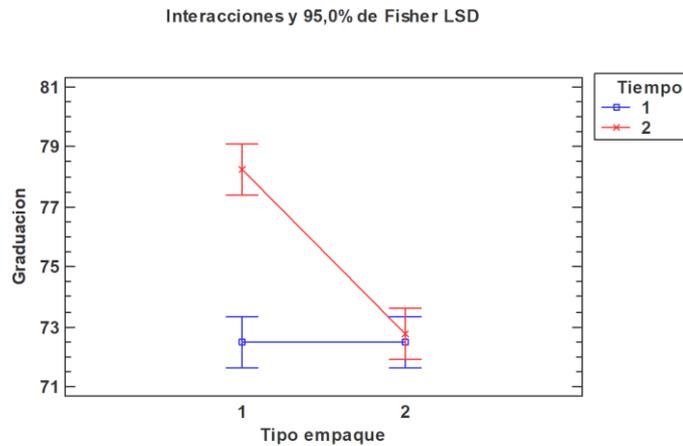


Nota. Elaboración propia (2024). Software statgraphics

La figura 25 da a conocer la línea de tendencia no presenta interacción entre el factor tipo de empaque y concentración, por su parte el tipo de empaque de cerámica con una concentración inicial de 40° GL presenta mayor significancia en función de la graduación obtenida.

Figura 27

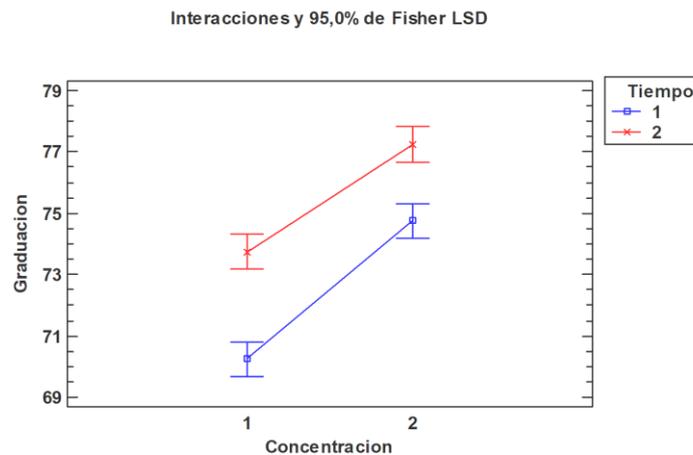
Interacción de la concentración en la graduación final



La figura 26 da a conocer las líneas de tendencia si presenta interacción entre el factor tipo de empaque y tiempo, lo cual indica que el tipo de empaque acero inoxidable en combinación con el tiempo 20 minutos si interactuaron de manera simultánea en esta etapa, aunque no reportaron valores significativos, por su parte el factor tipo de empaque con su nivel cerámica y el factor tiempo con su nivel 30 minutos presenta mayor significancia en función de la graduación obtenida.

Figura 28

Interacción del tiempo en la graduación final



La figura 27 da a conocer las líneas de tendencia, lo cual no presenta interacción entre el factor tiempo y concentración, por su parte el factor concentración con su nivel 40° y el factor tiempo con su nivel 30 minutos presenta mayor significancia en función de la graduación obtenida.

La mejor combinación para Graduación es el tratamiento a1b2c2, esto se justifica en cuanto a la naturaleza de la cerámica de poseer baja conductividad por ende generar más balances de materia.

4.3.1. Evaluación de la calidad del pájaro azul

Como se pudo apreciar en el capítulo III, el alcohol obtenido en primera instancia no era apto para el consumo humano. Luego del refinamiento del alcohol obtenido se realizaron nuevos análisis, obteniendo los siguientes resultados mostrados en la tabla.

Tabla 19

Análisis químico del licor pájaro azul

Parámetros	Resultado	Unidad	Máximo	Método de análisis de referencia
Grado alcohólico	40	°GL	50	NTE INEN 340:2016
Furfural	<0.01	Mg/100 cm ³ aa	1.5	NTE INEN 2014:2015/ cg-fid
Metanol	0.70	Mg/100 cm ³ aa	10	NTE INEN 2014:2015/ cg-fid
Alcoholes superiores	1.29	Mg/100 cm ³ aa	150	NTE INEN 2014:2015/ cg-fid
Congéneres	1.29	Mg/100 cm ³ aa	170	NTE INEN 2014:2015 cg-fid

Nota. Como se aprecia en la tabla 19, se obtuvieron nuevos valores para cada uno de los elementos analizados del pájaro azul.

Para el análisis de grado alcohólico se utilizó el método del alcoholímetro de vidrio por Gay Lussac a 20°C, donde el resultado arroja una concentración de 40°GL, siendo este un valor permisible dentro de la NTE INEN 1837 tercera revisión 2024, considerándose esta como una bebida de graduación media.

En el análisis de furfural se presentan valores de <0,01 mg/100 cm³ AA., este valor es significativamente menor que el valor del primer análisis con 1,95 menos muy por debajo del rango permitido para este grupo de congéneres; Estos resultados son analizados según lo establecido en la NTE INEN 1837, en función de ello el licor analizado es apto para el consumo humano, dada su permisibilidad con lo establecido por la norma.

El resultado obtenido en el análisis de metanol fue de 0,70 mg/100 cm³ AA, se evidencia una disminución de 4.31 mg/100 cm³ de alcohol absoluto. Este valor

obtenido se encuentra por debajo de lo establecido en la norma NTE INEN 1837:1991, siendo un valor permisible para el consumo humano.

El resultado obtenido en el análisis para alcoholes superiores reporta 1,29 mg/100 cm³ AA, en comparación con el análisis inicial de la materia prima se evidencia una disminución de 253.08 mg/100 cm³ de alcohol absoluto, el valor obtenido se encuentra muy por debajo de lo establecido dentro de la norma NTE INEN 1837, lo que significa que este alcohol es apto para el consumo humano.

El análisis de congéneres en general reporta 1.29 mg/100 cm³ de alcohol absoluto, siendo el valor máximo permitido 170 mg/100 cm³ aa podemos decir que hay una concentración mínima por lo cual el alcohol analizado se encuentra dentro de los parámetros permisibles establecidos en la norma NTE INEN 1837.

Esto permite afirmar que el uso de anillos Raschig de cerámica como empaque en la rectificación del alcohol es eficiente puesto que mejora los niveles de calidad del pájaro azul.

4.4. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

4.4.1. Justificación de la hipótesis

Al restudiar las variables respuesta volumen y grado alcohólico se pudo determinar que existen diferencias estadísticamente significativas ya que el p valor es menor a 0.05 para los factores A, B y C en la variable rendimiento, de igual manera el valor p es menor a 0.05 para los factores A, B, C, interacción AC y ABC en la variable concentración. Por lo tanto, con el 95% de confianza se puede afirmar que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, puesto que si existe una diferencia estadísticamente significativa en la utilización de empaques en la rectificación de alcohol.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los análisis propuestos en este estudio nos permitieron conocer el alto contenido de congéneres presentes en la materia prima utilizada en la elaboración del licor pájaro azul, entre los que alcoholes superiores, no cumple con la NTE INEN 1837. por lo tanto, su consumo puede derivar en intoxicación.
- El prototipo construido consta de dos elementos potenciales, un precalentador que permite reducir los tiempos de trabajo y una columna empacada misma que tiene un relleno de empaques constituidos por anillos raschig de acero inoxidable y cerámica que permiten reducir la concentración de congéneres presentes en la materia prima y elevar la concentración de alcohol.
- En el análisis de datos de las variables respuesta rendimiento y graduación alcohólica, se aplicó un ANOVA, el cual reporta para ambas variables que el tratamiento (a1b2c2) presentó mayor rendimiento, debidos a que la cerámica al ser un material poco conductivo no entra en equilibrio térmico con las paredes exteriores de la columna lo que permite internamente un mayor número de balances de materia.
- Con el alcohol rectificado se formuló el licor pájaro azul, al cual se analizó la composición química donde se evidencia una reducción de congéneres considerable concluyendo que el producto obtenido si cumple con las normas técnicas para el consumo humano, comprobando así la hipótesis alternativa planteada en el presente estudio.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es importante conocer la composición de la materia prima a utilizarse en un determinado producto. También conocer los parámetros de operación que intervienen dentro del proceso de destilación y rectificación para garantizar las concentraciones adecuadas y rendimientos óptimos, ya que estos garantizan una materia prima de calidad para la elaboración del licor pájaro azul.
- Para el diseño y construcción de empaques se recomienda hacer uso de materiales que cumplan con una característica importante que es la no reactividad para evitar que existan componentes diferentes al alcohol dentro del proceso también la no conductividad para evitar el equilibrio térmico entre columna y empaques.
- Para la elaboración del licor pájaro azul se recomienda hacer uso de materias primas de fuentes confiables como alcohol rectificado ya que esto garantiza un producto con una baja concentración de congéneres y como tal un producto que cumple con las normas técnicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alias, M., Kamarudin, S., Zainoodin, A., y Masdar, M. (2020). Active direct methanol fuel cell: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(38), 19620-19641. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.04.202>
- Aramendiz, B. (2019). *Dimensionamiento y simulación de una torre de absorción empacada en contracorriente para separación de co2 derivado de efluentes gaseosos industriales*. Universidad de Pamplona. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/5132>
- Bagomedov, M., Pushnov, A., y Berengartem, M. (2019). Effect of Packing Type on Hydraulic Resistance of Contact Devices. *Chemical and Petroleum Engineering*, 55, 379-383. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10556-019-00634-5>
- Borroto, D., Lorenzo, M., García, R., y Herrera, N. (2021). Determinación de alcoholes superiores por cromatografía de gases en destilados. *Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar*, 55(1), 63-69. <https://www.revista.icidca.azcuba.cu/wp-content/uploads/2021/06/articulo-9.pdf>
- Calvache, K. y. (2020). "Evaluación de la presencia de congéneres en el aguardiente de caña de azúcar. *Bioquímica farmacéutica*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Chen, X., Tian, Z., Guo, F., Yu, X., y Huang, Q. (2022). Experimental investigation on direct-contact condensation of subatmospheric pressure steam in cocurrent flow packed tower. *Energy Science & Engineering*, 10(8), 2954-2969. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ese3.1181>
- Corona, S. (2023). *Tratamiento de agua de escorrentía urbana en columnas empacadas con mordenita recubierta de magnetita*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/handle/231104/3280>
- Cruz, A., Pérez, O., Zumalacárregui, L., y Pérez, J. (2019). Simulación en Aspen Hysys v10.0 de los procesos de destilación de aguardiente y concentración de vinazas. *Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar*, 53(3), 45-55. <https://www.researchgate.net/profile/Osney-Perez-Ones->

2/publication/341709777_Simulacion_en_Aspen_Hysys_v100_de_los_procesos_de_destilacion_de_aguardiente_y_concentracion_de_vinazas/links/5fac3aed45851507810d065a/Simulacion-en-Aspen-Hysys-v100-de-los-proc

- Cuaical, V. (2019). *Reestructuración del sistema de control de la torre de destilación empacada del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad de Antioquia*. Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/15461>
- Devia, K. (2020). *Diagnosis de patologías estructurales en la infraestructura física de la Fábrica de Licores y Alcoholes de Antioquia*. Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/15672>
- Dueñas, J., Menéndez, C., y Bergantiños, E. (2019). Modelo matemático que describe la caída de presión en columna empacada con zeolita. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382019000100047&script=sci_arttext&tlng=pt
- Erdiwansyah, Mamat, R., Sani, M., Sudhakar, K., Kadarohman, A., y Sardjono, R. (2019). An overview of Higher alcohol and biodiesel as alternative fuels in engines. *Energy Reports*, 5, 467-479. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.04.009>
- Flagiello, D., y Di Natale, F. (2020). Characterization of mass transfer coefficients and pressure drops for packed towers with Mellapak 250.X. *Chemical Engineering Research and Design*, 161, 340-356. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.06.031>
- Gao, F., Zhang, Y., Ren, F., Shiraishi, Y., y Du, Y. (2020). Universal Surfactant-Free Strategy for Self-Standing 3D Tremella-Like Pd-M (M = Ag, Pb, and Au) Nanosheets for Superior Alcohols Electrocatalysis. *Advanced Functional Materials*, 30(16). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/adfm.202000255>
- García, A., Amaro, M., Alvisa, J., Martín, C., Fuentes, M., Valderrey, J., y Guerrero, M. (2023). Ceguera bilateral tardía secundaria a intoxicación por metanol. *Revista Española de Urgencias y Emergencias*, 2, 236-238. <https://www.reue.org/wp-content/uploads/2023/09/236-238.pdf>

- Gerra, a. (2019). Determinación del rendimiento de alcohol en tres variedades de caña. *Ingeniero en Desarrollo Integral Agropecuario*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI, Carchi.
- González, H., Hernández, J., y Hendrik, J. (2020). Metanol: tolerancias y exigencias en las normas para mezcal y bebidas de agave. *RIVAR (Santiago)*, 7(19). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.35588/rivar.v7i19.4246>
- Hernández, M., Marín, L., Toxqui, J., Pérez, G., Nonoal, M., y Ramírez, M. (2022). Aprovechamiento de guayaba de tercera calidad para la obtención de productos con valor agregado. *Journal of Agricultural Sciences Research*, 2(12), 1-11. <https://doi.org/10.22533/at.ed.9732122223093>
- Herrera, S., y Peña, L. (2021). *Identificación de metanol en bebidas alcohólicas de dudosa procedencia en la Dirección Ejecutiva de Criminalística P.N.P, Lima*. Universidad San Pedro. http://publicaciones.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/20.500.129076/20147/Tesis_72078.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hinojosa, G. (2021). *Estudio hidrodinámico de una columna de absorción empacada para su eficiente operación a nivel laboratorio*. Universidad Autónoma del Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/111303>
- Holt, S., Miks, M., Trinidade, B., Foulquié, M., y Thevelein, J. (2019). The molecular biology of fruity and floral aromas in beer and other alcoholic beverages. *FEMS Microbiology Reviews*, 43(3), 193-222. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/femsre/fuy041>
- Jiang, J., Liu, Y., Li, H., Yang, Q., Wu, Q., Chen, S., . . . Xu, Y. (2019). Modeling and Regulation of Higher Alcohol Production through the Combined Effects of the C/N Ratio and Microbial Interaction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(38), 10694-10701. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b04545>
- Kang, S., y Lim, D. (2020). A Study on the Hydraulic Characteristics of Rashig Super-Ring Random Packing in a Counter-Current Packed Tower. *Clean Technology*, 26(2), 102-108. <https://doi.org/https://doi.org/10.7464/ksct.2020.26.2.102>

- Kögi, T., Linder, T., y Arlt, W. (2023). Spatially Resolved Tomographic Assessment of Axial Mixing in Structured and Random Packings. *Chemical Engineering & Technology*, 46(5), 940-947. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ceat.202200174>
- Kutscherauer, M., Reinold, P., Böcklein, S., Mesti, G., Turek, T., y Wehinger, G. (2023). How Temperature Measurement Impacts Pressure Drop and Heat Transport in Slender Fixed Beds of Raschig Rings. *ACS Eng. Au*, 3(1), 45-58. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acsengineeringau.2c00039>
- Liu, J., Kong, C., Yang, L., Wu, X., y Zhang, Z. (2022). Enhancement of mass transfer performance by nanoparticles during the CO₂ absorption with MDEA solution in a randomly packed tower. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 12(6), 738-750. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ghg.2183>
- Machado, A. (2019). *Calculo de una torre empacada de absorción de gases*. Universidad Nacional José Faustino Sanchez Carrión. <http://repositorio.unjpsc.edu.pe/handle/20.500.14067/3018>
- Maghaddam, E., Foumeny, E. S., y Padding, J. (2021). Heat transfer from wall to dense packing structures of spheres, cylinders and Raschig rings. *Chemical Engineering Journal*, 407, 1-21. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127994>
- Miranda, A., y Rentería, J. (2020). *Diseño y construcción de un prototipo didáctico de columna de absorción*. Instituto Tecnológico de Durango. <https://cruzfierro.com/residencias/12040647-miranda-13040829-renteria-residencia.pdf>
- Miranda, A., y Rentería, J. (2020). *Diseño y construcción de un prototipo didáctico de columna de absorción*. Instituto Tecnológico de Durango. <https://cruzfierro.com/residencias/12040647-miranda-13040829-renteria-residencia.pdf>
- Morales, C. (2021). *Determinación de metanol en bebidas alcohólicas artesanales expendidas en la Región Callao, 2021*. Universidad Roosevelt. <https://repositorio.uroosevelt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14140/592/TESIS%20CINTYA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Narváez, B. (2020). Estudio comparativo del rendimiento de la producción de bioetanol. (*Tesis de ingeniería*). UNIVERSIDAD CATÓLICA, Guayaquil.
- Nemati, N., y Rydén, M. (2021). Chemical-looping combustion in packed-fluidized beds: Experiments with random packings in bubbling bed. *Fuel Processing Technology*, 222. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106978>
- Niegodajew, P., y Marek, M. (2021). Statistical variation of characteristics of random packed beds of Raschig rings: The influence of the sample size. *Particuology*, 56, 50-61. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.partic.2020.11.004>
- Nishimura, G., Kataoka, K., Noda, H., Yamaji, H., y Ohmura, N. (2020). Experimental Study on Mass Transfer in a Packed Distillation Column. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 53(8), 402-408. <https://doi.org/https://doi.org/10.1252/jcej.19we109>
- Pavlenko, A., Zhukov, V., Sukhorukova, E., y Dzhonova, D. (2021). Experimental Study of Liquid Flow Maldistribution in Sulzer 500X Structured Packing and Raschig Super-Ring Random Packing. *Journal of Engineering Thermophysics*, 30, 171-183. <https://doi.org/https://doi.org/10.1134/S1810232821020016>
- Pérez, A., Pérez, E., y Liaño, N. (2019). Diseño de una columna empacada y una torre de bandejas perforadas para la absorción de etanol. 1. Diseño de la columna empacada. *Revista Mutis*, 9(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.21789/22561498.1431>
- Poulsen, M., Sørensen, K., y Condra, T. (2021). Comparison of Two-Phase Porosity Models for High Capacity Random Packing. *E3S Web Conf: XIII International Conference on Computational Heat, Mass and Momentum Transfer*, 321(1015). <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132101015>
- Rayo, S., Santos, M., y Calvopiña, K. (2022). Evaluación de la calidad de los cocteles artesanales (Sin base láctea) ofertados en la ciudad de Esmeraldas. *Polo del Conocimiento*, 7(9), 1375-1401. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i8>

- Rivera, S. y. (2022). Diseño de una planta de obtención de alcohol rectificado a partir de alcohol. *Ingeniero Químico*. Universidad central del Ecuador, Quito.
- Rodríguez, A., Biard, P., Guihéneuf, S., Paquin, L., Amrane, A., y Couvert, A. (2019). Assessment of VOC absorption in hydrophobic ionic liquids: Measurement of partition and diffusion coefficients and simulation of a packed column. *Chemical Engineering Journal*, 360, 1416-1426. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.146>
- Rodriguez, J. (2017). Obtención de las funciones de transferencia de las temperaturas del tope y fondo de una destilación binaria. *REDIP. UNEXPO. VRB*, 5(2), 795-802. <http://redip.bqto.unexpo.edu.ve/>
- Sanmartín, C. (2023). *Efecto de tres tiempos de maceración y dos concentraciones de café sobre las características fisicoquímicas y organolépticas de licor de café*. ESPE. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/37356/1/IASA-TT-0075.pdf>
- Santana, L., y Muñoz, J. (2021). *Diseño de controladores difusos aplicados al control de temperatura, en el fermentador, como en la composición del destilado de aguardiente, en el cantón Junín, provincia de Manabí*. ESPOL. FIEC. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56403>
- Sehested, J. (2019). Industrial and scientific directions of methanol catalyst development. *Journal of Catalysis*, 371, 368-375. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcat.2019.02.002>
- Simon, S., Liso, V., Cui, X., Li, N., Zhu, J., Lennart, S., . . . Knudsen, S. (2020). A Review of The Methanol Economy: The Fuel Cell Route. *Energies*, 13(3), 596. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en13030596>
- Tan, H., Wen, N., y Ding, Z. (2021). Computational fluid dynamics simulation of multi-phase flow characteristics in an industrial-scale randomly packed tower. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 16(6). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/apj.2708>
- Valenz, L., Sobr, P., Cmelikova, T., y Reil, F. (2023). Study of axial dispersion on several modern structured and random packings. *Chemical Engineering*

Research and Design, 196, 606-613. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.06.059>

Yuan, J., Chen, C., Cui, J., Wu, J., Yang, R., y Liu, D. (2019). Fatty Liver Disease Caused by High-Alcohol Producing *Klebsiella pneumoniae*. *Cell Metabolism*, 30, 675-688. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cmet.2019.08.018>

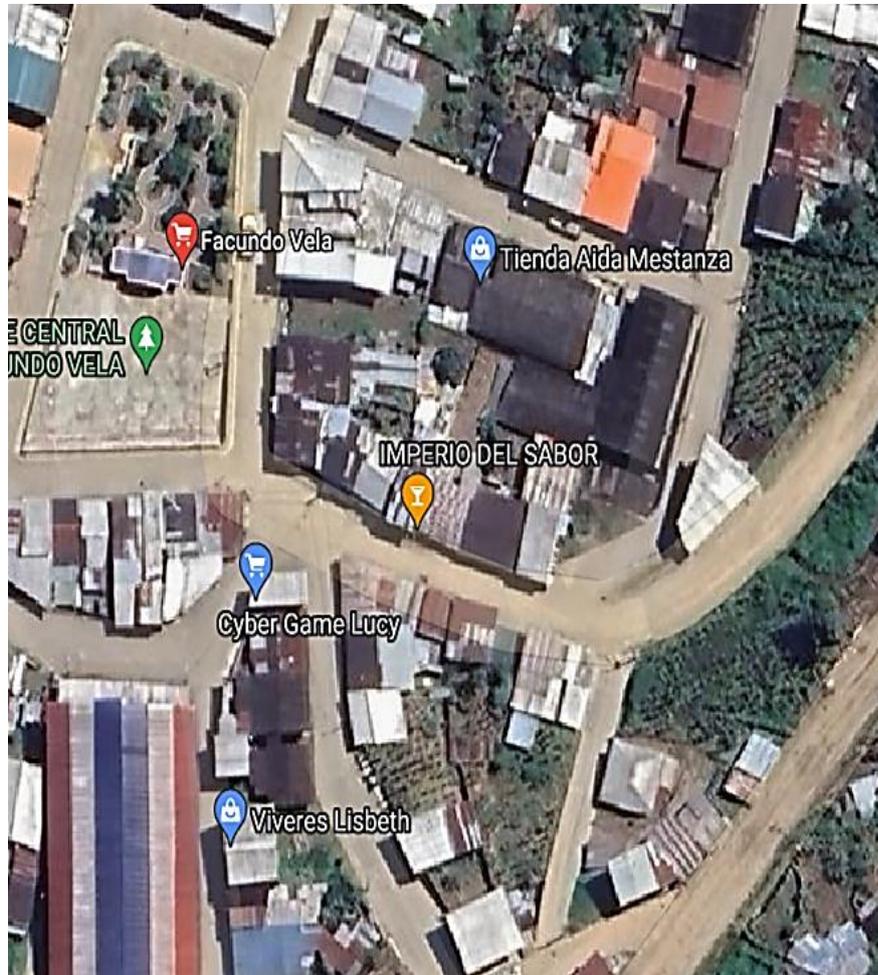
Zambrano, P., Vera, N., y Rosero, E. (2021). Columnas empacadas para la producción de enzimas lignolíticas a partir de residuos agroindustriales. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(8), 171-210. <https://doi.org/https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0034>

Zapata, Z., Vanegas, D., Rendón, J., y Velásquez, J. (2020). Caso de estudio de la destilación etanol-agua en operación continua y discontinua y su simulación con ecuaciones cúbicas de estado y modelos de actividad. *TecnoLógicas*, 23(49). <https://doi.org/https://doi.org/10.22430/22565337.1638>

ANEXOS

Anexo 1

Ubicación de la investigación



Anexo 2

Resultados del análisis químico de la materia prima.



INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-IN.57556a

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	MERINO AZOGUE DANILO ALEXIS
Dirección:	FACUNDO VELA / 24 DE MAYO
Teléfono:	0960705760

DATOS DE LA MUESTRA

Muestra de:	BEBIDA ALCOHOLICA		
Descripción:	LICOR AMISADO SECO "PISHKU AZUL"		
Lote	151223	Contenido Declarado:	350 mL
Fecha de Elaboración:	2023-12-15	Fecha de Vencimiento:	2033-12-15
Fecha de Recepción:	2023-12-16	Hora de Recepción	16:42:16
Fecha de Análisis:	2023-12-18	Fecha de Emisión:	2023-12-20
Material de Envase:	BOTELLA DE VIDRIO CON TAPA PLASTICA		
Toma de Muestra realizada por:	El cliente.		
Observaciones:	Los resultados reportados en el presente informe se refieren a los datos y las muestras entregados por el cliente a nuestro laboratorio.		

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Color:	Característico.	Olor:	Característico.
Estado:	Líquido.	Conservación:	Aí Ambiente
Temperatura de la muestra:	AMBIENTE		

RESULTADOS INSTRUMENTAL

PARAMETROS	RESULTADO	UNIDAD	METODO DE ANALISIS INTERNO	METODO DE ANALISIS DE REFERENCIA
GRADO ALCOHOLICO	54	°GL	MIN-06	NTE INEN 340:2016 (Método alcoholímetro vidrio)
FURFURAL	+0.96	mg/100 cm ³ AA	MIN-88	NTE INEN 2014:2015/CG-FID
METANOL	+0.01	mg/100 cm ³ AA	MIN-24	NTE INEN 2014:2015/CG-FID
ALCOHOLES SUPERIORES	254.37	mg/100 cm ³ AA	MIN-87	NTE INEN 2014:2015/CG-FID
AZUCARES TOTALES	0.00	%	MIN-93	AOAC 982.14/ HPLC-RI



Se prohíbe la reproducción del presente Informe de resultados, excepto en su totalidad previa autorización escrita de Multianalityca S.A.

Cualquier información adicional correspondiente a los ensayos está a disposición del cliente cuando lo solicite.

El Tiempo de Retención de las Muestras en el Laboratorio a partir de la fecha de ingreso será de 15 días para muestras perecibles y 1 mes calendario para muestras medianamente perecibles y estables. Muestras para análisis microbiológicos 5 días laborables a partir de la fecha de análisis, posterior a este tiempo, el laboratorio no podrá realizar reensayos para verificación de datos o valores no conformes por parte del cliente.

Toda la información relacionada con datos del cliente e ítems de ensayo (muestras) y que pueda afectar a la validez de los resultados, ha sido proporcionada y son responsabilidad exclusiva del cliente. El laboratorio se responsabiliza únicamente de los resultados emitidos los cuales corresponden a la muestra analizada y descrita en el presente documento.

El laboratorio declina toda responsabilidad, acerca de desvíos encontrados en las muestras entregadas por el cliente y que pueden afectar a la validez de los resultados, particular que es comunicado al cliente en caso de ser detectado por el laboratorio.

El tiempo de almacenamiento de los Informes de resultados y toda la información técnica relacionada al mismo para dar trazabilidad será de 5 años a partir de su fecha de emisión. (Punto 8.4.2 CR GAD1 Criterios Generales Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración según NTE INEN- ISO/IEC 17025:2018).

Quim. Mercedes Parra
Jefe División Instrumental

Anexo 3

Análisis del producto final



INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-IN.101342a

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	MERINO AZOGUE DANILO ALEXIS
Dirección:	24 DE MAYO 04 Y AV. PINANATUG
Teléfono:	0960705760

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Pishku azul "IMPERIO"		
Lote:	080324	Contenido declarado:	500 ml
Fecha de elaboración:	2024/03/08	Fecha de vencimiento:	2030/03/08
Fecha de recepción:	2024/03/11	Hora de recepción:	15:01:09
Fecha de análisis:	2024/03/14	Fecha de emisión:	2024/03/19
Material de envase:	PET		
Toma de muestra realizada por:	EL CLIENTE		
Procedencia de los datos:	Los resultados reportados en el presente informe se refieren a los datos y a las muestras entregadas por el cliente a nuestro laboratorio.		

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Color:	Característico	Olor:	Característico
Estado:	Líquido	Conservación:	Ambiente
Temperatura de la muestra:	Ambiente		

RESULTADO INSTRUMENTAL

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	METODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA
Grado alcohólico	40	°GL	MIN-06	NTE INEN 340:2016 / Método alcoholímetro vidrio
**Alcoholes superiores	1.29	mg/100 cm ³ AA	MIN-87	NTE INEN 2014-2015/ CG-FID
**Metanol	0.70	mg/100 cm ³ AA	MIN-24	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
Congéneros	1.29	mg/100 cm ³ AA	MIN-170	NTE INEN 2014-2015 CALCULO

Nota 1: ** Los ensayos/ la información, no forman parte del alcance de acreditación de Multianalytica S.A., y fueron suministrados por LABPARREÑO, que no está acreditado para realizar dicha actividad.

Se prohíbe la reproducción del presente informe de resultados, excepto en su totalidad previa autorización escrita de Multianalytica S.A. Cualquier información adicional correspondiente a los ensayos está a disposición del cliente cuando lo solicite.

El Tiempo de Retención de las Muestras en el Laboratorio para ensayos Físico-Químicos e Instrumentales partir de la fecha de ingreso será de 15 días calendario para muestras perecibles, 30 días calendario para muestras medianamente perecibles y estables. Muestras para ensayos microbiológicos será de 5 días laborables para muestras perecibles, 10 días laborables para muestras medianamente perecibles y estables a partir de la fecha de análisis. Posterior a este tiempo, el laboratorio no podrá realizar reensayos para verificación de datos o valores no conformes por parte del cliente.

Toda la información relacionada con datos del cliente e ítems de ensayo (muestras) y que pueda afectar a la validez de los resultados, ha sido proporcionada y son responsabilidad exclusiva del cliente. El laboratorio se responsabiliza únicamente de los resultados emitidos los cuales corresponden a la muestra analizada y descrita en el presente documento.

El laboratorio declina toda responsabilidad, acerca de desvíos encontrados en las muestras entregadas por el cliente y que pueden afectar a la validez de los resultados, particular que es comunicado al cliente en caso de ser detectado por el laboratorio.

El tiempo de almacenamiento de los informes de resultados y toda la información técnica relacionada al mismo para dar trazabilidad será de 5 años a partir de su fecha de emisión. (Punto 8.4.2 CR GA01 Criterios Generales Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración según NTE INEN- ISO/IEC 17025:2018).

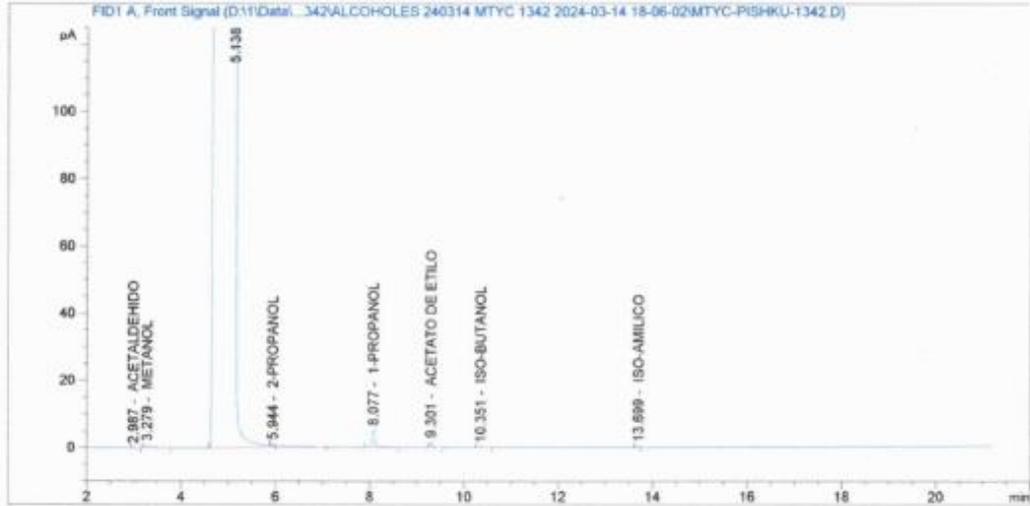
Quím. Mercedes Parra
Jefe División Físico Químico -
Instrumental

Anexo 4

Cromatografía del análisis químico del pájaro azul rectificado

Data File D:\1\Data\...2\ALCOHOLES 240314 MTYC 1342 2024-03-14 18-06-02\MTYC-PISHKU-1342.D
Sample Name: MTYC-PISHKU-1342

```
=====
Acq. Operator   : SYSTEM                               Seq. Line :    2
Sample Operator : SYSTEM
Acq. Instrument : 7890                               Location  : 102 (F)
Injection Date  : 3/14/2024 6:47:12 PM              Inj       :    1
                                                    Inj Volume: 1 µl
Different Inj Volume from Sample Entry! Actual Inj Volume : 2 µl
Acq. Method     : D:\1\Data\ALCOHOLES 240314 MTYC 1342\ALCOHOLES 240314 MTYC 1342 2024-03-14
                  18-06-02\ALCOHOLES INEN 2014 VF1.M
Last changed    : 2/12/2023 4:00:50 PM by SYSTEM
Analysis Method : D:\1\METHODS\ALCOHOLES INEN 2014 cuantificar191202.M
Last changed    : 8/15/2023 9:43:39 PM by SYSTEM
Additional Info : Peak(s) manually integrated
=====
```



External Standard Report (Sample Amount is 0!)

```
Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 8/15/2023 9:42:47 PM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
```

Signal 1: FID1 A, Front Signal

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Ant/Area	Amount [mg/L]	Grp	Name
2.987	BB	4.60677e-1	0.00000	0.00000		ACETALDEHIDO
3.279	BB	7.11814	3.56602	25.38345		METANOL
5.944	VB E	1.52627	1.01409	1.54778		2-PROPANOL

Anexo 5

Diseño de logotipo distintivo



Anexo 6

Diseño de etiqueta



Anexo 7
Envase utilizado



Anexo 8
Presentación del producto, Licor Pájaro azul



Anexo 9

Figura del proceso de fabricación del prototipo.

Anillos de cerámica



Anillos de acero inoxidable



Trazos del equipo



Implementos para la construcción del equipo



Corte de las piezas



Enrolado de las piezas



Soldadura de las piezas



Lente de rectificación



Serpentín



Acoplamiento de los empaques



Equipo terminado



Anexo 10

Figura de la rectificación del alcohol

Recepción de materia prima



Medición del grado alcohólico



Rectificación del alcohol artesanal



Alcohol rectificado



Anexo 11

Obtención del pájaro azul



Anexo 12

Costos de producción de la columna empacada de Acero inoxidable.

Costos de producción para una columna empacada				
<i>Costos beneficio de la columna empacada de acero inoxidable</i>				
Cantidad	Materia prima	Precio unitario \$	Unidades	Total
1	Tanque de gas argón	26,67	1 m3	26,67
1	Acoples clamp 4"	24	2	48
1	Acoples clamp 2"	12	1	24
1	Aporte 1/16 en 304	0,25	20	5
1	Termómetro análogo	25	1	25
1	Costo columna			201,4
1	Anillo raschig acero inoxidable	0,65	152	98,8
		5% equipos (Soldadora, corte de plasma, pulidoras.)		0,68
		5% suministros (luz)		0,68
	Gastos varios	10% mano de obra		1,37
		Total		300,20

Anexo 13

Costos de producción de la columna empacada de Cerámica

Costos de producción para una columna empacada				
<i>Costos beneficio de la columna empacada de acero inoxidable</i>				
Cantidad	Materia prima	Precio unitario \$	Unidades	Total
1	Tanque de gas argón	26,67	1 m3	26,67
1	Acoples clamp 4"	24	2	48
1	Acoples clamp 2"	12	1	24
1	Aporte 1/16 en 304	0,25	20	5
1	Termómetro análogo	25	1	25
1	Costo columna			201,4
1	Anillo raschig Cerámica	0,16	152	24
		5% equipos (Soldadora, corte de plasma, pulidoras.)		0,68
		5% suministros (luz)		0,68
	Gastos varios	10% mano de obra		1,37
		Total		225,40

Anexo 14

Costos de producción del pájaro azul

Costos de producción del licor pájaro azul		
<i>Costos beneficio del pájaro azul 100 L</i>		
Materia prima	Cantidad	Precio \$
Alcohol rectificado 70° GL	100 L	130
Anís estrella	1 lb	10
Hoja de mandarina	5 lb	5
Piña	2 lb	2
Plátano	2 lb	1,5
Agua desmineralizada	35,5 L	15,5
Edulcorante	45 gr	3,6
Envases 750 ml vidrio	100	97
Etiquetas	100	6
Gastos varios		
5% equipos	5%	0,68
5% suministros (luz)	5%	0,68
10% mano de obra	10%	1,37
Total		273,33

Anexo 15

Costo beneficio

Costo de producción por lote
<i>C. P. L=273,33 \$</i>
Costo de producción por botella
<i>C. P. B=2,73\$</i>
Precio de venta por botella
<i>P. V. P= 4 \$</i>
Beneficio
<i>B=1,27 \$</i>

Anexo 16

Glosario de términos técnicos

- **Alambique.** Con diferencia, éste es el método de destilación más común. En términos de rendimiento técnico, supera a la alquitara, y no siempre es inferior. El hecho de poder gestionar el proceso con mayor precisión gracias a la separación de las fases de vaporización y condensación lo convierte en un avance tecnológico significativo con respecto a la alquitara.
- **Alcoholes superiores:** Los alcoholes superiores son compuestos orgánicos que contienen más de dos grupos hidroxilo (OH) unidos a un átomo de carbono. Estos alcoholes son importantes en la fabricación de licores debido a su capacidad para impartir sabor, aroma y textura distintivos.
- **Anillo Raschig:** Es un elemento cilíndrico de superficie regular con una longitud igual a su diámetro exterior, los materiales con los que está construido son cerámica, metal, plástico o carbono. El conjunto de estos anillos conforma un empaque.
- **Columna de empaçado:** Una columna de empaçado es un dispositivo utilizado en destilerías y plantas de procesamiento para separar los componentes de una mezcla líquida mediante la destilación fraccionada. Consiste en una torre vertical rellena con material de empaque, como anillos o esferas, que proporciona una mayor área superficial para la transferencia de calor y masa entre el vapor ascendente y el líquido descendente.
- **Destilación:** La destilación es una operación que consiste en separar uno o varios componentes de una mezcla líquida cuyos puntos de ebullición difieren entre sí. Esto se logra calentando un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasen a la fase de vapor, para después enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación.
- **Furfurales:** Los furfurales son compuestos químicos orgánicos derivados de la furfural, que se produce principalmente a partir de la cáscara de la caña de azúcar u otras materias vegetales. Estos compuestos son importantes en la fabricación de licores debido a sus propiedades aromáticas y su capacidad para mejorar el sabor y el color. Se utilizan comúnmente en la producción

de licores como el ron y el whisky para agregar notas de caramelo, vainilla y especias.

- **Grado alcohólico:** El grado alcohólico es una medida de la cantidad de alcohol presente en una solución líquida, expresada como un porcentaje del volumen total de la solución. Se calcula comparando la cantidad de alcohol en volumen con el volumen total de la solución y multiplicando por 100.
- **Metanol:** El metanol es un compuesto químico orgánico que se utiliza en diversas aplicaciones industriales y comerciales, incluida la producción de solventes, productos químicos y combustibles. Es conocido como alcohol de madera debido a su capacidad para ser destilado a partir de la madera.
- **Pájaro Azul:** Bebida alcohólica, elaborada a partir de una mezcla de alcohol artesanal, hojas de mandarina y extractos naturales de hierbas y especias, el Pájaro Azul ofrece un equilibrio único entre dulzura y amargura, con un toque refrescante. Su color azul brillante lo hace muy reconocible y atractivo en coctelería, y su versatilidad lo convierte en una opción popular para elaborar una variedad de cócteles creativos.