

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ELABORACIÓN DE AGUARDIENTE A PARTIR DE RETENTATO  
GENERADO COMO SUBPRODUCTO DE LA FILTRACIÓN  
TANGENCIAL DE VINOS EN LA BODEGA ARANJUEZ DEL  
DEPARTAMENTO DE TARIJA**

**Por:**

**BETTY FABIOLA JARAMILLO RENDÓN**

**Modalidad de graduación: Investigación aplicada, presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

**Octubre de 2018**

**TARIJA-BOLIVIA**

Al tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

Dedicado a Dios, por ser el motor y principal guía en todo momento de mi vida.

A mi padre Oriel Jaramillo, quien dejó este mundo para transformarse en mi ángel de la guarda, Gracias Papá, por dejarme los mejores valores para transformarme en una mejor persona cada día.

A mi madre Betty A. Rendón, con todo mi amor dedico este trabajo, por ser la persona que me enseñó lo más importante para el ser humano: la Dedicación, el Cariño, y el Esfuerzo para trazar proyectos en la vida.

A mis hermanos, por su ayuda y aliento incondicional, nada de esto sería posible sin la complicidad que he encontrado en ustedes.

A mis docentes, por el conocimiento ofrecido para formarme como un Buen Profesional.

A mis tribunales, quienes, con su colaboración y predisposición, hicieron posible la realización de este trabajo.

Agradezco a todas las personas que conocí durante la realización de este trabajo y que me brindaron su ayuda para alcanzar mi objetivo.

Gracias a todo el personal de Bodega Aranjuez, que me colaboró con su atención, amabilidad y predisposición durante este trabajo de investigación.

Gracias al Ing. Franco Sánchez y Raúl Mejía, quienes considero mis maestros los últimos años transcurridos, gracias por su paciencia, motivación y confianza. Ha sido un privilegio poder contar con su guía y ayuda.

Gracias a mis tribunales por su decisivo e incondicional apoyo y disposición, sin ellos esta investigación no hubiera sido la misma.

## ÍNDICE

	Pág.
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Índice.....	vii
Índice de Tablas.....	xv
Índice de Figuras.....	xx
Glosario, Nomenclatura, Abreviatura y Simbología Utilizada.....	xxii
Unidades Utilizadas.....	xxiii
 <b>INTRODUCCIÓN</b>	
Antecedentes .....	1
Objetivos: General y Específicos .....	9
Objetivo General .....	9
Objetivos Específicos .....	9
Justificación.....	11
 <b>CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO</b>	
1.1 Materia Prima .....	15
1.2 Filtración Tangencial (Obtención de la Materia Prima).....	15
1.3 Composición del Retentato.....	17
1.4 Aguardiente .....	19
1.5 Tipos de Aguardiente .....	19

1.5.1	Aguardientes simples .....	19
1.5.1.1	Ron .....	19
1.5.1.2	Brandy .....	19
1.5.1.3	Whisky .....	20
1.5.1.4	Tequila.....	20
1.5.2	Aguardientes compuestos .....	20
1.6	Características del Aguardiente.....	21
1.7	Singani.....	23
1.7.1	Requisitos para la elaboración de Singani .....	24
1.7.1.1	Requisitos Generales .....	24
1.7.1.2	Requisitos Organolépticos .....	24
1.7.1.3	Requisitos Físico-químicos .....	26
1.8	Destilación alcohólica de Vino.....	26
1.8.1	Destilación .....	26
1.8.1.1	Destilación Fraccionada.....	27
1.8.1.2	Destilación por Arrastre de Vapor .....	27
1.8.1.3	Destilación al Vacío .....	28
1.8.1.4	Destilación Destructiva .....	28
1.9	Factores a controlar para la Destilación .....	28
1.9.1	Temperatura .....	28
1.9.2	Presión de vapor.....	29
1.9.3	Grado alcohólico.....	29
1.9.4	Relación de Reflujo .....	30

1.10 Métodos de Elaboración de Aguardiente .....	30
1.10.1 Destilación de Aguardiente.....	30
1.10.1.1 Método Continuo .....	30
1.10.1.2 Método Discontinuo.....	30
1.10.1.2.1 Alambique Tradicional.....	31
1.10.1.2.2 Alambique de Columna.....	32
1.11 Descripción del Proceso de Elaboración de Aguardiente a partir de Vino .....	33
1.11.1 Molienda y Despalillado.....	33
1.11.2 Fermentación .....	34
1.11.3 Prensado.....	34
1.11.4 Destilación .....	35
1.11.5 Reposo .....	35
1.11.6 Diagrama de Bloques de la Elaboración de Aguardiente a Partir de Vino .....	36

## **CAPÍTULO II PARTE EXPERIMENTAL**

2.1 Parte Experimental del Proyecto de Investigación.....	37
2.2 Obtención de Aguardiente a Escala de Laboratorio.....	38
2.3 Descripción de la Materia Prima.....	40
2.4 Proceso de Elaboración de Aguardiente a partir del Retentato generado como Subproducto de la Filtración Tangencial de Vinos en la Bodega Aranjuez de Tarija .....	40
2.4.1 Recepción y Selección de la Materia Prima .....	40
2.4.2 Tratamiento de la Materia Prima .....	40
2.4.2.1 Eliminación de SO <sub>2</sub> libre.....	40

2.4.2.2 Medición de SO <sub>2</sub> libre .....	41
2.4.3 Destilación .....	41
2.4.4 Carga al Tanque de Alimentación (Reboiler) .....	41
2.4.5 Separación.....	43
2.4.5.1 Cabeza .....	43
2.4.5.2 Corazón .....	43
2.4.5.3 Cola .....	43
2.4.6 Llenado en Recipientes de Vidrio.....	44
2.4.7 Reposo .....	45
2.5 Descripción de los Equipos Utilizados en la Elaboración de Aguardiente .....	47
2.5.1 Columna de Destilación Marca ARMFIELD UOP3BM .....	47
2.6 Diseño Factorial .....	49
2.7 Análisis de las Muestras Obtenidas .....	52
2.7.1 Análisis Físicoquímicos realizados en el LOU .....	53
2.7.1.1 Alcohol Probable.....	53
2.7.1.2 Determinación del Índice de Refracción.....	53
2.7.2 Análisis Físicoquímicos realizados en la Bodega Aranjuez .....	54
2.8 Análisis Sensorial o Evaluación Sensorial .....	54
2.8.1 Análisis Sensorial o Evaluación Sensorial Elegida .....	56
2.9 Balance de Materia y Energía en el Proceso de Destilación .....	56
2.9.1 Balance de Materia .....	57
2.9.2 Balance de Energía .....	59
2.9.2.1 Calor Necesario Para Calentar la Muestra (Calor Sensible) .....	59



2.9.2.2 Calor para el Cambio de Fase (Calor Latente).....	59
2.9.2.2.1 Para el Etanol.....	59
2.9.2.2.2 Para el Agua .....	62
2.9.2.3 Calor que Absorbe el Condensador (Calor Absorbido) .....	64
2.9.2.4 Calor Total .....	65
2.10 Eficiencia del Proceso de Destilación .....	66
2.10.1 Cálculo del Número de Etapas Ideales o Teóricas .....	67
2.10.1.1 Diagrama de Equilibrio para el Cálculo del Numero de Etapas Teóricas .....	68
2.11 Costos de Recuperación de Alcohol en el Proceso de Destilación .....	73
2.11.1 Análisis de Costos Directos del Proyecto .....	73
2.11.2 Costo por Unidad de Producción del Proyecto .....	77
2.11.3 Análisis de Costos del Proyecto para la Bodega Aranjuez de Tarija.....	79
2.11.4 Costo por Unidad de Producción del Proyecto para la Bodega Aranjuez de Tarija.....	84
2.11.4.1 Observaciones y Recomendaciones del Análisis de Costos Realizado para la Bodega Aranjuez de Tarija.....	84

### **CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

3.1 Resultados Obtenidos en la Parte Experimental del Proyecto.....	86
3.1.1 Resultados Obtenidos en la Separación de la Cabeza.....	87
3.1.2 Resultados Obtenidos en la Separación del Corazón.....	88
3.1.3 Resultados Obtenidos en la Separación de Cola.....	95
3.2 Análisis Estadístico del Diseño Factorial .....	100
3.2.1 Conjunto de Datos para las Variables Respuesta.....	104

3.2.2 Resultados Variable Respuesta Volumen .....	105
3.2.2.1 Análisis de Regresión (Volumen) .....	106
3.2.3 Resultados Variable Respuesta Grado Alcohólico .....	109
3.2.3.1 Análisis de Regresión (Grado Alcohólico) .....	110
3.2.4 Conclusión General del Análisis Estadístico de Diseño Factorial.....	112
3.3 Control de Calidad.....	114
3.3.1 Análisis de las Muestras Finales de Aguardiente .....	114
3.3.1.1 Análisis de Grado Alcohólico .....	115
3.3.1.2 Análisis de pH.....	116
3.3.1.3 Análisis de Anhídrido Sulfuroso Total (SO <sub>2</sub> T).....	117
3.3.1.4 Análisis de Acidez Volátil como Ácido Acético .....	118
3.3.1.5 Análisis de Metanol .....	119
3.3.1.6 Análisis de Densidad.....	120
3.3.2 Conclusión del Análisis de Control de Calidad .....	120
3.4 Evaluación Sensorial .....	121
3.4.1 Evaluación del Atributo a la Vista.....	121
3.4.1.1 Viscosidad y Limpidez.....	122
3.4.1.2 Color.....	124
3.4.1.3 Vista en General.....	126
3.4.2 Evaluación del Atributo al Aroma .....	128
3.4.3 Evaluación del Atributo al Sabor.....	130
3.4.3.1 Suavidad.....	131
3.4.3.2 Persistencia.....	133

3.4.3.3 Equilibrio y Armonía .....	135
3.4.3.4 Sabor en General .....	137
3.4.4 Impresión General.....	139
<b>CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
4.1 Conclusiones .....	142
4.2 Recomendaciones .....	145
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>146</b>
<b>ANEXOS</b>	
ANEXO A .....	148
ANEXO B .....	149
ANEXO C .....	152
ANEXO D .....	154
ANEXO E.....	155
ANEXO F.....	156
ANEXO G .....	157
G.1 Cálculo de Reflujo .....	157
G.2 Calor en el Cambio de Fase .....	160
G.2.1 Para el Etanol .....	160
G.2.1.1 Cálculo de Tri (Temperatura Reducida a Diferentes Temperaturas de Ebullición) .....	160
G.2.1.2 Cálculo de ni (Número de Moles de Etanol).....	161
G.2.2 Para el Agua .....	163
G.3 Para el Calor Absorbido por el Condensador .....	165

ANEXO H .....	167
H.1 Eliminación de SO <sub>2</sub> libre .....	167
H.2 Expresión de Resultados .....	170
H.3 Conclusión de la Eliminación de SO <sub>2</sub> libre.....	171
ANEXO I.....	172
ANEXO J .....	173
ANEXO K.....	174
ANEXO L.....	180
ANEXO M .....	181

## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

### INTRODUCCIÓN

TABLA i-1 Regiones de mayor producción de uva en Bolivia .....	11
TABLA i-2 Superficie (ha) Valle Central de Tarija según Uso de la Uva .....	11
TABLA i-3 Principales Variedades de Uvas de Mesa en el Valle Central de Tarija .....	13
TABLA i-4 Pérdidas por Retentato según tipo de Vino Aranjuez Blanco .....	13

### CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

TABLA I-1 Tipos de filtración a realizar mediante un Filtro Tangencial .....	16
TABLA I-2 Diferencias y Ventajas entre Filtración Tradicional y Filtración Tangencial .....	17
TABLA I-3 Composición del Retentato de Manera General .....	18
TABLA I-4 Composición del Aguardiente .....	22
TABLA I-5 Requisitos Organolépticos del Singani.....	25
TABLA I-6 Requisitos Físico-químicos del Singani .....	26

### CAPÍTULO II PARTE EXPERIMENTAL

TABLA II-1 Composición del Retentato (Materia Prima) .....	37
TABLA II-2 Volumen de Agua Destilada para Bajar a Grado Alcohólico Comercial .....	46
TABLA II-3 Niveles de las Variables para la Destilación .....	50
TABLA II-4 Combinación de las Variables de la Destilación .....	51
TABLA II-5 $\Delta H_i$ Etanol.....	62
TABLA II-6 $\Delta H_i$ Agua .....	63

TABLA II-7 Aspectos Involucrados Para el Análisis de Costos del Proyecto .....	73
TABLA II-8 Aspectos Involucrados Para el Análisis de Costos del Proyecto Para la Bodega Aranjuez de Tarija.....	79

### **CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

TABLA III-1 Resultados Generales de la Destilación .....	86
TABLA III-2 Resultados Cabeza del Destilado .....	87
TABLA III-3 Resultados del Corazón del Destilado Muestra 1 .....	88
TABLA III-4 Resultados del Corazón del Destilado Muestra 2 .....	89
TABLA III-5 Resultados del Corazón del Destilado Muestra 3 .....	89
TABLA III-6 Resultados del Corazón del Destilado Muestra 4 .....	90
TABLA III-7 Resultados del Corazón del Destilado Muestra 5 .....	90
TABLA III-8 Resultados del Corazón del Destilado Muestra 6 .....	91
TABLA III-9 Resultados del Corazón del Destilado Muestra 7 .....	91
TABLA III-10 Resultados del Corazón del Destilado Muestra 8 .....	92
TABLA III-11 Resultados Finales del Corazón del Destilado.....	93
TABLA III-12 Resultados del Cola del Destilado Muestra 1 .....	95
TABLA III-13 Resultados del Cola del Destilado Muestra 2 .....	95
TABLA III-14 Resultados del Cola del Destilado Muestra 3 .....	96
TABLA III-15 Resultados del Cola del Destilado Muestra 4 .....	96
TABLA III-16 Resultados del Cola del Destilado Muestra 5 .....	96
TABLA III-17 Resultados del Cola del Destilado Muestra 6 .....	97
TABLA III-18 Resultados del Cola del Destilado Muestra 7 .....	97
TABLA III-19 Resultados del Cola del Destilado Muestra 8 .....	97
TABLA III-20 Resultados Finales de la Cola del Destilado.....	99

TABLA III-21 Datos para el Análisis de Varianza Univariante .....	101
TABLA III-22 Niveles Establecidos para el Análisis .....	102
TABLA III-23 Niveles de las Variables Seleccionadas para el Análisis Estadístico .....	103
TABLA III-24 Factores Inter-Sujetos (Para la Variable respuesta Volumen) .....	104
TABLA III-25 Factores Inter-Sujetos (Para la Variable respuesta Grado Alcohólico) .....	104
TABLA III-26 Prueba de los Efectos Inter-sujetos (Variable Dependiente: Volumen).....	105
TABLA III-27 Variables Introducidas/Eliminadas (Volumen) .....	106
TABLA III-28 Resumen del Modelo <sup>b</sup> (Volumen) .....	107
TABLA III-29 ANOVA <sup>b</sup> (Volumen) .....	107
TABLA III-30 Coeficientes <sup>a</sup> (Volumen).....	108
TABLA III-31 Prueba de los Factores Inter-Sujetos (Variable Independiente: Grado Alcohólico).....	109
TABLA III-32 Variables Introducidas/Eliminadas (Grado Alcohólico) .....	110
TABLA III-33 Resumen del Modelo <sup>b</sup> (Grado Alcohólico) .....	110
TABLA III-34 ANOVA <sup>b</sup> (Grado Alcohólico) .....	111
TABLA III-35 Coeficientes <sup>a</sup> (Grado Alcohólico).....	111
TABLA III-36 Análisis de Grado Alcohólico.....	115
TABLA III-37 Análisis de Ph a 20 °C.....	116
TABLA III-38 Análisis de Anhídrido Sulfuroso Total (SO <sub>2</sub> T) .....	117
TABLA III-39 Análisis de Acidez Volátil como Ácido Acético .....	118
TABLA-40 Análisis de Metanol .....	119

TABLA III-41 Análisis de Densidad .....	120
TABLA III-42 Promedios de la Evaluación Sensorial según Viscosidad y Limpidez .....	122
TABLA III-43 Promedios de la Evaluación Sensorial según Color .....	124
TABLA III-44 Promedios de la Evaluación Sensorial de la Vista.....	126
TABLA III-45 Promedios de la Evaluación Sensorial del Aroma.....	128
TABLA III-46 Promedios de la Evaluación Sensorial según la Suavidad.....	131
TABLA III-47 Promedios de la Evaluación Sensorial según la Persistencia .....	133
TABLA III- 48 Promedios de la Evaluación Sensorial según el Equilibrio y la Armonía.....	135
TABLA III-49 Promedios de la Evaluación Sensorial del Sabor.....	137
TABLA III-50 Promedios de la Evaluación Sensorial General .....	139

## **ANEXOS**

TABLA B-1 Volumen de Mezcla Final con Grado Alcohólico Comercial.....	150
TABLA B-2 Volumen de Agua a Agregar para bajar el Grado Alcohólico .....	151
TABLA C-1 Parámetros para la Calificación Organoléptica de las Muestras de Aguardiente .....	153
TABLA D-1 Promedio para los Valores de la Sub Clasificación de la Vista.....	154
TABLA E-1 Promedio para los Valores de la Clasificación del Aroma.....	155
TABLA F-1 Promedio para los Valores de la Sub Clasificación del Sabor .....	156
TABLA G-1 Masa Total de Reflujo.....	158
TABLA G-2 Porcentaje Volumen (% V/V) y Peso (%P/P) para el Etanol.....	160
TABLA G-3 Temperatura Reducida (Tri) .....	161
TABLA G-4 Masa y Moles de Etanol Obtenidos en la Destilación .....	162



TABLA G-5 Masa de Agua Obtenida en la Destilación.....	164
TABLA H-1 Comportamiento de [SO <sub>2</sub> ] Libre frente a la Adición de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	168

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

### INTRODUCCIÓN

Figura i-1 Flujograma de Producción de Vino en Bodega Aranjuez .....	7
Figura i-2 Filtración Tangencial en la Bodega Aranjuez de Tarija .....	8
Figura i-3 Retentato Obtenido del Filtro Tangencial en Bodega Aranjuez.....	8

### CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

Figura 1-1 Alambique Tradicional .....	32
Figura 1-2 Alambique de Columna .....	33
Figura 1-3 Diagrama de Bloques de la Elaboración de Aguardiente a Partir de Vino .....	36

### CAPÍTULO II PARTE EXPERIMENTAL

Figura 2-1 Diagrama de Bloques de la Elaboración Aguardiente a partir del Retentato generado como Subproducto de la Filtración Tangencial de Vinos en la Bodega Aranjuez de Tarija.....	39
Figura 2-2 Controlador de la Columna de Destilación.....	42
Figura 2-3 Tanque de Alimentación de la Columna de Destilación (Reboiler) .....	42
Figura 2-4 Alcohómetro con escala de 0-100 °GL .....	44
Figura 2-5 Refractómetro IVYMEN .....	44
Figura 2-6 Botellas de Vidrio Transparente con Destilado .....	45
Figura 2-7 Torre de Destilación ARMFIELD UOP3BM.....	48
Figura 2-8 Consola de la Columna de Destilación .....	49
Figura 2-9 Determinación de Alcohol Probable.....	53
Figura 2-10 Determinación del Índice de Refracción .....	54

Figura 2-11 Balance de Materia en la Torre de Destilación.....	57
Figura 2-12 Esquema de Control para el Diseño de la Columna de Destilación ....	68
Figura 2-13 Diagrama de Equilibrio, Sistema Etanol-Agua .....	71

### **CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Figura 3-1 Promedios de la Evaluación Sensorial según Viscosidad y Limpidez	123
Figura 3-2 Promedios de la Evaluación Sensorial según el Color .....	125
Figura 3-3 Promedios de la Evaluación Sensorial de la Vista .....	127
Figura 3-4 Promedios de la Evaluación Sensorial del Aroma.....	129
Figura 3-5 Promedios de la Evaluación Sensorial según la Suavidad .....	132
Figura 3-6 Promedios de la Evaluación Sensorial según la Persistencia .....	134
Figura 3-7 Promedios de la Evaluación Sensorial según el Equilibrio y Armonía	136
Figura 3-8 Promedios de la Evaluación Sensorial del Sabor .....	138
Figura 3-9 Promedios de la Evaluación Sensorial General .....	140

### **ANEXOS**

Figura A-1 Gráfica Porcentaje V/V vs Índice de Refracción para el Etanol.....	148
Figura G-1 Propiedades de Agua Saturada (Unidades SI) .....	163
Figura H-1 Peróxido de Hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) al 30% .....	167
Figura H-2 Comportamiento de [SO <sub>2</sub> ] Libre frente a la Adición de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	169