

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO TECNOLÓGICO DE
ELABORACIÓN DE CAÑAZO (AGUARDIENTE DE CAÑA
DE AZÚCAR) EN INDUSTRIA ARTESANAL, CAÑA REAL
(Tarija)**

Por:

KATHERINE ANDREA BARRIOS QUIROGA

Proyecto de grado, modalidad (ampliación, optimización y/o modernización de plantas industriales existentes) **presentado a consideración de la** “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.

Septiembre de 2019

Tarija - Bolivia

VºBº

Msc.Ing. Ernesto Álvarez Gozálvez

DECANO

Facultad de Ciencias y Tecnología

Msc.Lic. Elizabeth Castro Figueroa

VICEDECANA

Facultad de Ciencias y Tecnología

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Karina Cervantes Calbimonte

Ing. Marlova Vera

Ing. Ernesto Caihuara Alejandro

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo ésta responsabilidad de la autora.

Dedicatoria

A Dios por ser el forjador de mi camino, el que me acompaña y siempre me levanta de mi tropiezo, creador de mis padres y de las personas que más amo.

A mis padres Edgar Barrios y Gladys Quiroga, porque ellos son la motivación de mi vida, mi orgullo de ser lo que seré, pero, aunque hoy no puedas leer esto papi desde el cielo espero que sonrías.

A mi hermana porque es la razón de sentirme tan orgullosa de culminar mi meta, por confiar siempre en mí.

Y sin dejar atrás a toda mi familia por confiar en mí, a mi abuelita, tíos y primos, gracias por ser parte de mi vida y por permitirme ser parte de su orgullo.

Agradecimientos

A Dios, por su amor y bondad que no tiene fin, por permitirme sonreír ante todos mis logros que son resultado de su ayuda.

A mi familia por ser esa fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida.

A una persona muy especial en mi vida Cristian Fernández por su infinito amor, su apoyo en cada etapa de mi vida y por haber estado conmigo incluso en los momentos más turbulentos.

Agradezco el apoyo, confianza y dedicación de tiempo al Ingeniero Juan Carlos Vega Knez, por haber compartido sus conocimientos y experiencias.

Gracias Arquitecto Julio Cesar Gutiérrez Jaramillo por creer en mi persona y haberme brindado la oportunidad de desarrollar el Proyecto de Grado Profesional en la Industria Artesanal CAÑA REAL. Y darme la grandiosa oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas.

ÍNDICE

	Pág.
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.1.1 Descripción general del Producto: Cañazo.....	3
1.1.2 Usos/aplicaciones/beneficios del Producto.....	4
1.1.3 Mercado.....	4
1.1.3.1 Mercado consumidor.....	4
1.1.3.2 Mercado competidor.....	6
1.1.4 Procesos tecnológicos empleados.....	7
1.1.5 Materia Prima.....	8
1.1.6 Variedades de caña de azúcar.....	9
1.1.7 Cosecha.....	10
1.1.8 Composición de la caña de azúcar.....	10
1.1.9 Definición de Aguardiente.....	11
1.1.10 Clasificación de aguardientes.....	11
1.1.11 Aguardiente de jugo de caña de azúcar (Cañazo).....	11
1.1.12 Caracterización del Producto.....	11
1.1.12.1 Definición del producto en la Norma Boliviana.....	11
1.1.12.2 Composición del Cañazo.....	12
1.1.13 Principio de la destilación.....	12
1.1.13.1 Destilación simple.....	12
1.2 Objetivos.....	13
1.2.1 Objetivo General.....	13
1.2.2 Objetivos Específicos.....	13
1.3 Justificación.....	14
1.3.1 Impacto Tecnológico.....	14
1.3.2 Impacto Económico.....	14
1.3.3 Impacto Social.....	14
1.3.4 Impacto Ambiental.....	15

CAPÍTULO II DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA	16
2.1 Materias primas e insumos	16
2.2 Localización de la Planta	19
2.2.1 Descripción del entorno de CAÑA REAL	20
2.2.1.1 Clima y Meteorología	20
2.2.1.2 Vías de acceso y Transporte	20
2.3 Distribución de la planta	20
2.4 Servicios Auxiliares	23
2.4.1 Energía Eléctrica	23
2.4.2 Agua	24
2.4.3 Gas Natural	24
2.5 Manejo de materiales	24
2.5.1 Departamento de Producción	25
2.5.2 Embotellado y etiquetado	25
2.6 Operación y Control	25
2.6.1 Preparación y molienda de la materia prima	26
2.6.1.1 Verificación de las Condiciones de Operación y Control del Molino de caña de azúcar	27
2.6.2 Fermentación del jugo de caña de azúcar extraído	27
2.6.2.1 Verificación de las Condiciones de Control de los tanques de fermentación	27
2.6.3 Destilación del vino de caña	28
2.6.3.1 Verificación de las Condiciones de Control y Operación del Alambique	28
2.7 Eliminación de efluentes	29
2.7.1 Tipo de efluentes	30
2.7.2 Manejo actual de los desechos	31
CAPÍTULO III CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	32
3.1 Identificación del problema	32
3.2 Descripción de alternativas técnicas de solución	33
3.2.1 Control operacional en el área de destilación y acondicionamiento del alambique	34
3.2.2 Cambio del equipo de destilación de alambique a columna de destilación	35
3.3 Selección de la alternativa de solución más apropiada	35
3.4 Definición de condiciones y capacidad	41

3.4.1 Descripción del alambique.....	42
3.4.1.1 Características Técnicas Principales	43
CAPÍTULO IV DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL	45
4.1 Descripción del método de investigación	45
4.1.1 Proceso de destilación.....	45
4.1.1.1 Planteamiento de la hipótesis.....	45
4.1.1.2 Pasos para realizar el diseño factorial	45
4.1.1.2.1 Elección de la variable a medir: respuesta.....	46
4.1.1.2.2 Elección de las variables de operación: factores.....	46
4.1.1.2.3 Temperatura del fluido de refrigeración.....	46
4.1.1.2.4 Temperatura de calefacción.....	46
4.2 Diseño factorial.....	46
4.3 Análisis de las variables.....	48
4.3.1 Variable Respuesta Grado Alcohólico.....	48
4.3.1.1 Análisis de Regresión (Grado Alcohólico).....	50
4.3.2 Variable Respuesta Volumen.....	51
4.3.2.1 Análisis de Regresión (Volumen).....	52
CAPÍTULO V DESARROLLO DEL PROCESO	55
5.1 Diagrama de flujo del proceso antes de la optimización.....	55
5.1.1 Balance de materia antes de la optimización.....	56
5.1.2 Balance de energía antes de la optimización	59
5.2 Diagrama de flujo del proceso posterior a la optimización.....	61
5.2.1 Balance de Materia y Energía posterior a la optimización.....	62
5.2.2 Balance de Materia.....	62
5.2.3 Balance de Energía	67
5.2.3.1 Calor necesario para calentar la muestra.....	67
5.2.3.2 Calor para el cambio de fase.....	68
5.2.3.2.1 Para el Etanol.....	68
5.2.3.2.2 Para el Agua	69
5.2.3.2.3 Calor Absorbido por el Condensador.....	70
5.2.3.2.4 Calor Total.....	70
5.3 Especificaciones de los equipos	70

5.4 Diseño y dimensionamiento del equipo de destilación.....	73
5.4.1 Diseño del equipo de destilación.....	74
5.4.2 Dimensionamiento actual del condensador.....	75
5.4.3 Dimensionamiento optimizado del condensador.....	75
5.4.3.1 Área de transferencia de calor.....	75
5.4.3.2 Longitud del tubo serpentín.....	76
5.4.3.3 Número de vueltas del serpentín.....	77
CAPÍTULO VI ANÁLISIS ECONÓMICO.....	79
6.1 Cálculo de costo de capital.....	79
6.1.1 Inversión Fija.....	79
6.1.1.1 Costos Directos.....	79
6.1.1.2 Costos Indirectos.....	80
6.1.2 Costo total de producción.....	81
6.1.2.1 Costo directo de fabricación.....	81
6.1.2.2 Costo indirecto de fabricación o gastos fijos.....	81
6.1.2.3 Gastos generales.....	82
6.2 Costo de operación.....	82
6.3 Análisis de beneficio económico.....	87
CAPÍTULO VII COSTO DEL ESTUDIO PROPUESTO.....	91
CAPÍTULO VIII RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS.....	94
8.1 Resultados de la fermentación.....	94
8.1.1 Control del proceso fermentativo.....	94
8.2 Selección de la prueba más eficiente.....	95
8.3 Resultados Generales de la Destilación.....	96
8.3.1 Resultados Obtenidos en la Separación de Cabeza.....	97
8.3.2 Resultados obtenidos en la separación de cuerpo.....	98
8.3.3 Resultados obtenidos en la separación de la cola.....	102
8.4 Comparación del grado alcohólico y cantidad de metanol del producto actual y del producto optimizado.....	103
8.5 Comparación del rendimiento del proceso de destilación antes y después de la optimización.....	104
8.6 Comparación de las características del producto conseguido posterior a la optimización.....	105

CAPÍTULO IX CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
9.1 Conclusiones	106
9.2 Recomendaciones	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS	
Anexo A	114
A. 1.-Cantidad en Kg de jugo de caña procesados	114
A. 2.-Cantidad de agua utilizada para la dilución del jugo de caña de azúcar	115
A. 3.-Cantidad de levadura utilizada en el proceso de fermentación	116
A. 4.-Cantidad del vino de caña y la borra durante el proceso de fermentación	116
A. 5.-Cantidad en Kg de los destilados obtenidos	117
A. 6.- Capacidad calorífica del vino de caña de azúcar	117
A. 7.- Cálculo de la Temperatura reducida a la temperatura normal (T_m)	118
A. 8.- Cálculo de la Temperatura reducida para cada la muestra 4	118
A. 9.- Determinación del número de moles (n_i) para la muestra 4	119
A. 10.- Determinación de la masa de agua (m_i) para la muestra 4	119
A. 11.- Determinación de la masa de agua que pasa por el condensador	119
Anexo B	121
Anexo C	127
C. 1.- Control del proceso fermentativo	128
C. 2.- Cantidad de agua para bajar grado alcohólico en el destilado	131
Anexo D	132

ÍNDICE DE TABLAS

Pág

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Tabla I- 1.- Datos de operación y resultados obtenidos en los procesos de destilación de los fermentados	3
Tabla I- 2.- Consumo de bebidas alcohólicas en Bolivia.....	4
Tabla I- 3.- Datos obtenidos en las encuestas sobre la comercialización de cañazo....	5
Tabla I- 4.- Datos de producción de la Industria artesanal “CAÑA REAL”.....	6
Tabla I- 5.- Características físicas y químicas del aguardiente de anís, obtenidos en ambos procesos	8
Tabla I- 6.- Municipio bermejo: superficie y producción de cultivos de verano, censo agropecuario 2013	8
Tabla I- 7.- Promedio de la Composición Química (%) de los tallos de la Caña de Azúcar.....	10
Tabla I- 8.-Características físicas y químicas para el Cañazo, establecidas para la legislación boliviana.....	12

CAPÍTULO II DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Tabla II- 1.- Materias primas e insumos para la industria artesanal “CAÑA REAL”	17
Tabla II- 2.- Datos históricos de los aspectos climáticos en la ciudad de Tarija	20
Tabla II- 3.-Servicios Auxiliares.....	23
Tabla II- 4.-Descripción de equipos disponibles en CAÑA REAL.....	23
Tabla II- 5.-Condición de Operación y Control en el Molino.....	27
Tabla II- 6.- Condiciones de Control en tanques de fermentación.....	28
Tabla II- 7.- Verificación de las Condiciones de Control y Operación del Alambique	29

CAPÍTULO III CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Tabla III- 1 Resultado de Análisis a una muestra actual del Cañazo que se elabora.	33
Tabla III- 2.- Ventajas y Desventajas de los distintos procesos de elaboración de Cañazo.....	36
Tabla III- 3.- Escala de Calificación por puntuación del 1 al 10.....	38
Tabla III- 4.- Evaluación de las alternativas planteadas	38

Tabla III- 5.- Matriz de decisión para la selección de la alternativa de optimización de proceso de elaboración de cañazo.....	41
--	----

CAPÍTULO IV DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL

Tabla IV- 1.- Factores y Niveles.....	47
Tabla IV- 2.-Plan de experimentos primera repetición.....	47
Tabla IV- 3.-Plan de experimentos segunda repetición.....	47
Tabla IV- 4.- Matriz de diseño primera repetición.....	48
Tabla IV- 5.-Matriz de diseño segunda repetición.....	48

CAPÍTULO V DESARROLLO DEL PROCESO

Tabla V- 1.-Cálculo ΔH_i	69
Tabla V- 2.- ΔH_i Agua.....	69
Tabla V- 3.- Especificaciones: Molino.....	71
Tabla V- 4.- Especificaciones: Filtro.....	72
Tabla V- 5.- Especificaciones: Tanque de fermentación.....	73
Tabla V- 6.- Especificaciones: Condensador.....	75
Tabla V- 7.- Especificaciones: Diseño del Condensador.....	78

CAPÍTULO VI ANÁLISIS ECONÓMICO

Tabla VI- 1.-Producción de cañazo de la situación inicial.....	83
Tabla VI- 2.- Costo en consumo de agua de manantial de la situación inicial.....	84
Tabla VI- 3.- Producción de cañazo de la situación optimizada.....	85
Tabla VI- 4.- Costo en consumo de agua de manantial de la situación inicial.....	86
Tabla VI- 5.- Beneficio económico por el incremento en la producción de cañazo.....	87
Tabla VI- 6.-Ahorro económico en el consumo de agua de manantial.....	89

CAPÍTULO VII COSTO DEL ESTUDIO PROPUESTO

Tabla VII- 1.- Costos de la información.....	91
Tabla VII- 2.- Costos de materiales y equipos.....	91
Tabla VII- 3.- Costos de materia prima e insumos.....	92
Tabla VII- 4.- Costos de análisis y pruebas de Laboratorio.....	92
Tabla VII- 5.- Costos auxiliares.....	93

CAPÍTULO VIII RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS

Tabla VIII- 1.-Resultados Generales de la Destilación.....	97
--	----

Tabla VIII- 2.- Resultados obtenidos en la separación de Cabeza	98
Tabla VIII- 3.-Resultados obtenido en la separación del cuerpo – Muestra 1.....	99
Tabla VIII- 4.- Resultados obtenido en la separación del cuerpo –Muestra 2.....	99
Tabla VIII- 5.- Resultados obtenido en la separación del cuerpo –Muestra 3.....	99
Tabla VIII- 6.- Resultados obtenido en la separación del cuerpo –Muestra 4.....	100
Tabla VIII- 7.- Resultados obtenido en la separación del cuerpo –Muestra 5.....	100
Tabla VIII- 8.- Resultados obtenido en la separación del cuerpo –Muestra 6.....	100
Tabla VIII- 9.- Resultados obtenido en la separación del cuerpo –Muestra 7.....	101
Tabla VIII- 10.- Resultados obtenido en la separación del cuerpo –Muestra 8.....	101
Tabla VIII- 11.- Resultados finales del cuerpo de destilado.....	102
Tabla VIII- 12.- Resultados obtenidos en la separación de la Cola.....	103
Tabla VIII- 13.- Comparación del grado alcohólico y cantidad de metanol entre el producto actual y el producto optimizado.....	104
Tabla VIII- 14.- Comparación del rendimiento del proceso de destilación antes y después de la destilación.....	104
Tabla VIII- 15.-Comparación de las características del producto conseguido posterior a la optimización.....	105

ANEXOS

Tabla C- 1.- Volumen de mezcla final con grado alcohólico comercial.....	131
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Figura 1- 1.-Alambique utilizado en la industria artesanal “CAÑA REAL”	2
Figura 1- 2.-Aguardiente de caña de azúcar de la industria artesanal“CAÑA REAL”.6	

CAPÍTULO II DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Figura 2- 1.-Descripción Gráfica: Ubicación de “CAÑA REAL”	19
Figura 2- 2.- Plano de distribución de la industria artesanal “CAÑA REAL”	22
Figura 2- 3.-Diagrama de bloques para el proceso de obtención de Cañazo.....	26
Figura 2- 4.-Efluente sólido se identificó como tal a el bagazo, generado posterior al proceso de molienda.....	30
Figura 2- 5.-Efluentes líquidos generados durante el proceso de producción de cañazo, tales como vinaza y aguas residuales	31

CAPÍTULO III CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Figura 3- 1.- Plato de rectificación del alambique en la industria artesanal CAÑA REAL	43
--	----

CAPÍTULO IV DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL

Figura 4- 1.- Ejecución de Análisis en SPSS- Variable respuesta grado alcohólico...49	
Figura 4- 2.-Análisis de Varianza ANOVA (Grado Alcohólico).....	49
Figura 4- 3.- Regresión.....	50
Figura 4- 4.-Ejecución de Análisis SPSS – Variable respuesta volumen.....	51
Figura 4- 5.-Análisis de Varianza ANOVA (Volumen).....	52
Figura 4- 6.-Regresión Lineal (Volumen).....	53

CAPÍTULO V DESARROLLO DEL PROCESO

Figura 5- 1 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de cañazo antes de la optimización	55
Figura 5- 2.- Balance de materia en la Destilación.....	58
Figura 5- 3.- Diagrama de flujo del proceso de elaboración de cañazo.....	61
Figura 5- 4.-Balance de materia en el Molino.....	62
Figura 5- 5.-Balance de materia en la Filtración.....	63
Figura 5- 6.-Balance de materia en la Dilución.....	64

Figura 5- 7.-Balance de materia en la Fermentación.....	65
Figura 5- 8.-Balance de materia en la Destilación.....	66

ANEXOS

Figura B- 1.- Recepción de la materia prima.....	122
Figura B- 2.- Molienda y Filtración.....	122
Figura B- 3.- Residuos generados en el proceso de molienda.....	123
Figura B- 4.- Proceso de fermentación.....	123
Figura B- 5.- Tanques de fermentación.....	124
Figura B- 6.- Control del proceso fermentativo.....	124
Figura B- 7.- Proceso de destilación.....	125
Figura B- 8.- Control en el fluido de refrigeración.....	125
Figura B- 9.- Destilados obtenidos.....	126
Figura B- 10.- Productos finales.....	126