

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS



ELABORACIÓN DE AGUARDIENTE DE PULPA DE FRUTILLA

(VARIEDAD SAN ANDREA)

POR:

MARIELA SERRANO ESPINDOLA

Trabajo final de grado presentado a consideración del Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, como requisito para optar el grado Académico de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

OCTUBRE, 2021

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

M.Sc Ing. José Aurelio Navia Ojeda
**DECANO a.i. DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

M.Sc Lic. Deysi Arancibia Márquez
**VICEDECANA a.i. DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

Ing. Jesús Zamora Gutiérrez
**DIRECTOR DPTO.
BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIAS
DE LOS ALIMENTOS**

Ing. Erick Ramírez Ruiz
DOCENTE GUÍA

Ing. Luis Fernando Zenteno Benítez
TRIBUNAL

Ing. Adolfo Valentín Trigo Dimitrov
TRIBUNAL

Ing. Never Gustavo Avendaño Vásquez
TRIBUNAL

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el trabajo, siendo la misma únicamente responsabilidad del autor.

Dedicatoria

El presente trabajo de grado va dedicado principalmente:

A Dios

Por guiar mi camino y por darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres

Sixta Espíndola Cruz y Edwin Gonzales Ticacala por ser los pilares más importantes en vida, por su amor, trabajo y sacrificio incondicional en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mis abuelos

Pedro Espíndola Luizaga y en memoria de Epifanía Cruz Ramírez por haberme inculcado principios de humildad y respeto, que son el arma principal para triunfar en la vida.

A mis hermanas (os)

Mirtha, María Luz y Mariano por estar siempre presentes, acompañandome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

Agradecimientos

Agradecer a Dios por acompañarme en el transcurso de mi vida, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A mis padres quienes son mi motor y mi mayor inspiración; que, gracias a su amor, paciencia, valores y principios inculcados en mí, ayudaron y ayudarán a trazar mi camino.

A mi docente guía Ing. Erick Ramírez quien, con su experiencia y conocimiento me orientó durante el desarrollo del presente trabajo y también por brindarme su más sincera amistad.

A mis docentes; que, durante todos los años de formación académica, impartieron en mis sus conocimientos; en especial a mis tribunales: Ing. Never Avendaño por su apoyo incondicional durante la parte experimental del presente trabajo. Ing. Luiz Zenteno y Ing. Valentín Trigo que gracias a sus consejos y conocimientos fueron parte importante en la culminación de todo el trabajo.

A la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, a la Facultad de Ciencias y Tecnología en especial a la Carrera de Ingeniería de Alimentos a su plantel administrativo y docente, por haberme formado como persona y profesional al ser parte de esta institución.

De igual forma, a todos mis amigos y compañeros en especial a Daniela Cuevas, Grecia Vidaurre, Paola Martínez, Fabiana Arellano y Wilfredo Lopez; por su apoyo moral.

Pensamiento

La educación es el pasaporte hacia el futuro, el mañana pertenece a aquellos que se preparan para él en el día de hoy.

Malcom X.

ÍNDICE

CAPÍTULO I-INTRODUCCIÓN

Pág

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	3
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo general.....	4
1.3.2	Objetivos específicos.....	4
1.4	Objeto de estudio.....	5
1.5	Campo de acción.....	5
1.5.1	Espacial.....	5
1.5.2	Temporal.....	5
1.5.3	Institución.....	5
1.6	Situación del problema.....	6
1.7	Formulación del problema.....	6
1.8	Hipótesis.....	6

CAPÍTULO II-MARCO TEÓRICO

Pág

2.1	Origen del aguardiente	7
2.2	Definición de aguardiente de frutas.....	7
2.3	Clasificación de las bebidas alcohólicas destiladas.....	8
2.3.1	Descripción de la clasificación de las bebidas alcohólicas destiladas.....	8
2.3.1.1	Aguardientes simples	8
2.3.1.2	Alcoholes destilados.....	9
2.3.2	Propiedades fisicoquímicas de las bebidas alcohólicas destiladas.....	10
2.3.2.1	Grado alcohólico volumétrico	11
2.3.2.2	Extracto seco	11
2.3.2.3	Metanol.....	11
2.3.2.4	Aldehídos.....	11
2.3.2.5	Furfural.....	12
2.3.2.6	Ésteres.....	12
2.3.2.7	Alcoholes superiores	12

2.4	Caracterización de la materia prima para la elaboración de aguardientes de pulpa de frutilla	13
2.4.1	Frutilla.....	13
2.4.1.1	Características generales de la frutilla.....	13
2.4.1.2	Composición fisicoquímica y microbiológica de la frutilla	13
2.4.1.3	Propiedades nutricionales de la frutilla.....	14
2.5	Caracterización de los insumos alimenticios para la elaboración de aguardientes de pulpa de frutilla.....	15
2.5.1	Agua potable.....	15
2.5.2	Levadura vinífica (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>).....	16
2.5.3	Azúcar.....	16
2.6	Fermentación alcohólica en frutas.....	16
2.6.1	Factores que influyen en la fermentación alcohólica	18
2.6.1.1	Concentración de azúcares	18
2.6.1.2	pH.....	18
2.6.1.3	Temperatura.....	19
2.6.1.4	Agitación.....	19
2.7	Levadura (<i>Saccharomyces servisiae</i>).....	20
2.8	Operaciones en el proceso de elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla.....	20
2.8.1	Fermentación.....	21
2.8.2	Destilación.....	21
2.8.2.1	Destilación al vacío	22
2.9	Rotavapor Bucchi R-100.....	22

CAPÍTULO III-DISEÑO METODOLÓGICO

	Pág	
3.1	Desarrollo de la parte experimental.....	23
3.2	Equipos de proceso, instrumentos, materiales de laboratorio y cocina.....	23
3.2.1	Equipos de proceso.....	23
3.2.1.1	Rotavapr Bucchi R-100.....	23
3.2.1.2	Cocina Industrial a gas natural	24
3.2.2	Instrumentos de laboratorio.....	24

3.2.2.1	Refractómetro de bolsillo	24
3.2.2.2	Balanza analítica digital.....	25
3.2.2.3	pH-metro digital	25
3.2.2.4	Balanza digital.....	26
3.2.2.5	Bureta digital.....	26
3.2.3	Materiales de laboratorio.....	27
3.2.4	Materiales de cocina.....	27
3.3	Materia prima e insumos alimenticios y reactivos químicos de laboratorio.....	28
3.3.1	Materia prima.....	28
3.3.2	Insumos alimenticios.....	28
3.3.3	Reactivos químicos de laboratorio	28
3.4	Diagrama de flujo del proceso de elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla.....	30
3.4.1	Descripción del diagrama de flujo para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla.....	31
3.4.1.1	Acondicionamiento	31
3.4.1.2	Triturado de la pulpa	31
3.4.1.3	Dilución pulpa: agua	31
3.4.1.4	Pre-calentamiento.....	31
3.4.1.5	Enfriamiento.....	32
3.4.1.6	Ajuste de °Brix de la pulpa diluida de frutilla	32
3.4.1.7	Activación de la levadura.....	32
3.4.1.8	Fermentación... ..	32
3.4.1.9	Filtración.....	32
3.4.1.10	Destilación.....	33
3.4.1.11	Envasado.....	33
3.4.1.12	Almacenado.....	33
3.5	Metodología para la obtención de resultados	34
3.5.1	Caracterización de la frutilla variedad San Andrea.....	34
3.5.1.1	Parámetros físicos de frutilla variedad San Andrea	34
3.5.1.2	Parámetros fisicoquímicos de la frutilla variedad San Andrea	35
3.5.1.3	Parámetros microbiológicos de la frutilla variedad San Andrea..	35
3.5.2	Caracterización del producto final	36

3.5.2.1	Parámetros físicos del producto final	36
3.5.2.2	Parámetros fisicoquímicos del producto final	36
3.6	Evaluación sensorial del producto final	37
3.7	Diseño experimental.....	38
3.7.1	Diseño factorial 2 ³	38
3.7.1.1	Diseño experimental en el proceso de fermentación alcohólica de la pulpa de frutilla para la elaboración de aguardiente.....	39
3.8	Operacionalización de variables.....	41

CAPITULO IV- RESULTADOS Y DISCUSIÓN **Pág**

4.1	Caracterización de la frutilla variedad San Andrea.....	42
4.1.1	Análisis físico de la frutilla variedad San Andrea.....	42
4.1.2	Análisis fisicoquímico de variedad San Andrea	44
4.1.3	Análisis microbiológico de variedad San Andrea	44
4.2	Caracterización de las variables de proceso para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla de la variedad San Andrea	45
4.2.1	Pruebas piloto para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla de la variedad San Andrea.....	45
4.2.1.1	Pruebas piloto utilizando levadura de panificación para aguardiente de pulpa de frutilla.....	46
4.2.1.2	Pruebas piloto utilizando levadura de vinificación para aguardiente de pulpa de frutilla.....	48
4.2.2	Variación porcentual en la formulación de las pruebas preliminares para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla.....	49
4.2.2.1	Estadístico caja y bigote para muestras preliminares para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla.....	50
4.2.2.1.1	Estadístico de Tukey para el atributo aroma frutilla de pruebas preliminares de aguardiente de pulpa de frutilla	51
4.2.2.1.2	Estadístico de Tukey para el atributo aroma a levadura de pruebas preliminares de aguardiente de pulpa de frutilla.....	51
4.2.2.1.3	Estadístico de Tukey para el atributo sabor de pruebas preliminares de aguardiente de pulpa de frutilla	

	Estadístico de Tukey para el atributo grado alcohólico de pruebas	52
4.2.2.1.4	preliminares de aguradiante de pulpa de frutilla	
	Control de °Brix, pH y acidez en el proceso de fermentación	53
4.2.2.2	alcohólica de pruebas preliminares de aguardiente de pulpa de	
	frutilla.....	
	Control de °Brix en el proceso de fermentación alcohólica de las	54
4.2.2.2.1	pruebas preliminares.....	
	Control de acidez en el proceso de fermentación de pruebas	54
4.2.2.2.2	preliminares.....	
	Control de pH en el proceso de fermentación alcohólica de	55
4.2.2.2.3	pruebas preliminares.....	
	Diseño factorial 2 ³ en lel proceso de fermentación alcohólica del	57
4.3	aguardiente de pulpa de frutilla.....	
	Variable respuesta del porcentaje de alcohol del aguardiente de	58
4.3.1	pulpa de frutilla.....	
	Variable respuesta acidez total en el aguardiente de pulpa de	59
4.3.2	frutilla.....	
	Variable respuesta pH en el aguardiente de pulpa de frutilla.....	62
4.3.3	Evaluación sensorial de muestras experimentales de aguardiente	66
4.3.4	de pulpa de frutilla.....	
	Estadístico caja y bigote de muestras experimentales de	69
4.3.4.1	aguardiente de pulpa de frutilla nivel bajo	
	Estadístico de Tukey para atributo aroma a frutilla de muestras	69
4.3.4.1.1	experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla	
	Estadístico de Tukey para atributo sabor de muestras	70
4.3.4.1.2	experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla	
	Estadístico caja y bigote de muestras experimentales de	71
4.3.4.2	aguardiente de pulpa de frutilla nivel alto	
	Estadístico de Tukey para atributo acidez de muestras	71
4.3.4.2.1	experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla	
	Estadístico de Tukey para atributo grado alcohólico de muestras	72
4.3.4.2.2	experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla	
	Caracterización del aguardiente de pulpa de frutilla	73
4.4		74

4.4.1	Análisis físico del aguardiente de pulpa de frutilla.....	74
4.4.2	Análisis fisicoquímico del aguardiente de pulpa de frutilla.....	75
4.5	Balance general para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla.....	76
4.5.1.1	Balance de materia en la etapa de acondicionado de frutilla	77
4.5.1.2	Balance de materia en la etapa de dilución de la pulpa de frutilla.....	79
4.5.1.3	Balance de materia en la etapa de precalentado de la pulpa de frutilla diluida.....	81
4.5.1.4	Balance de materia en la etapa de ajuste de sólidos solubles (°Brix) de la pulpa de frutilla diluida	82
4.5.1.5	Balance de materia en la etapa de fermentación	83
4.5.1.6	Balance de materia en la etapa de filtrado de pulpa de frutilla fermentada.....	85
4.5.1.7	Balance de materia en la etapa de destilado	86
4.5.1.8	Balance de energía para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla.....	89
4.5.1.8.1	Balance de energía en la etapa de precalentamiento de la pulpa de frutilla diluida.....	92
4.5.1.8.2	Balance de energía en la etapa de destilación	94

CAPÍTULO V -CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Pág

5.1	Conclusiones.....	95
5.2	Recomendaciones.....	96

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Pág

Tabla 1.1	Producción de frutilla en el departamento de Tarija.....	2
Tabla 1.2	Número de productores de frutilla según municipio.....	2
Tabla 2.1	Propiedades fisicoquímicas de las bebidas alcohólicas destiladas.....	10
Tabla 2.2	Clasificación taxonómica de la frutilla.....	13
Tabla 2.3	Propiedades fisicoquímicas de la frutilla.....	14
Tabla 2.4	Propiedades microbiológicas de la frutilla.....	14
Tabla 3.1	Materiales de laboratorios utilizados en la parte experimental.....	27
Tabla 3.2	Materiales de cocina utilizados en la parte experimental.....	27
Tabla 3.3	Descripción de la materia prima.....	28
Tabla 3.4	Descripción de los insumos alimenticios.....	28
Tabla 3.5	Descripción de los reactivos químicos de laboratorio	29
Tabla 3.6	Parámetros físicos de la frutilla variedad San Andrea.....	34
Tabla 3.7	Parámetros fisicoquímicos de la frutilla variedad San Andrea....	35
Tabla 3.8	Parámetros microbiológicos de la frutilla variedad San Andrea...	35
Tabla 3.9	Parámetros físicos del producto final.....	36
Tabla 3.10	Parámetros fisicoquímicos del producto final.....	36
Tabla 3.11	Matriz de variables para el proceso de fermentación alcohólica...	40
Tabla 3.12	Niveles de variación de los factores de fermentación alcohólica...	40
Tabla 4.1	Parámetros físicos de la frutilla variedad San Andrea.....	42
Tabla 4.2	Parámetros fisicoquímicos de la frutilla variedad San Andrea....	43
Tabla 4.3	Parámetros microbiológicos de la frutilla variedad San Andrea...	43
Tabla 4.4	Rango porcentual de componentes para aguardiente de pulpa de frutilla.....	45
Tabla 4.5	Estadístico Tukey para el atributo aroma frutilla.....	50
Tabla 4.6	Estadístico Tukey para el atributo aroma levadura.....	51
Tabla 4.7	Estadístico Tukey para el atributo sabor.....	51
Tabla 4.8	Estadístico Tukey para el atributo grado alcohólico.....	52
Tabla 4.9	Control de (°Brix) de las pruebas preliminares en el proceso de fermentación.....	54
Tabla 4.10	Control de acidez (ácido cítrico) de las pruebas preliminares en el proceso de fermentación alcohólica.....	

	Control de pH de las pruebas preliminares en el proceso de fermentación alcohólica.....	56
Tabla 4.11	Análisis de varianza de la variable respuesta porcentaje de alcohol.....	57
Tabla 4.12	Análisis de varianza de la variable respuesta acidez total.....	59
Tabla 4.13	Análisis de varianza de la variable respuesta pH	63
Tabla 4.14	Estadístico Tukey para el atributo aroma a frutilla	66
Tabla 4.15	Estadístico Tukey para el atributo sabor	70
Tabla 4.16	Estadístico Tukey para el atributo acidez	71
Tabla 4.17	Estadístico Tukey para el atributo grado alcohólico	73
Tabla 4.18	Parámetros físicos del aguardiente de pulpa de frutilla	73
Tabla 4.19	Parámetros fisicoquímicos del aguardiente de pulpa de frutilla....	74
Tabla 4.20	Capacidades caloríficas en función a la composición de los alimentos.....	75
Tabla 4.21	Resultados de la composición fisicoquímica de frutilla	90
Tabla 4.22	Capacidad calorífica del agua, acero inoxidable y aluminio.....	91
Tabla 4.23	Entalpías de vaporización del agua saturada.....	92
Tabla 4.24		92

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág
Figura 2.1	Clasificación de las bebidas alcohólicas destiladas	8
Figura 2.2	Diferencia entre la glucólisis en la fermentación alcohólica.....	18
Figura 3.1	Rotavapor Buchi R-100.....	23
Figura 3.2	Cocina industrial a gas natural	24
Figura 3.3	Refractómetro de bolsillo	24
Figura 3.4	Balanza analítica digital	25
Figura 3.5	PH-metro digital	25
Figura 3.6	Balanza digital	26
Figura 3.7	Bureta digital	26
Figura 3.8	Diagrama de flujo del proceso de obtención de aguardiente de frutilla.....	30
Figura 3.9	Evaluaciones sensoriales del aguardiente de pulpa de frutilla.....	37

Figura 4.1	Muestras de frutilla variedad San Andrea	42
Figura 4.2	Pruebas pilotos de aguardiente de pulpa de frutilla variedad San Andrea.....	46
Figura 4.3	Pruebas pilotos incorporando levadura de panificación para aguardiente de pulpa de frutilla.....	47
Figura 4.4	Valoración subjetiva de pruebas pilotos incorporando levadura de panificación para aguardiente de pulpa de frutilla.....	47
Figura 4.5	Pruebas pilotos incorporando levadura de vinificación para aguardiente de pulpa de frutilla.....	48
Figura 4.6	Valoración subjetiva de pruebas pilotos incorporando levadura de vinificación para aguardiente de pulpa de frutilla	49
Figura 4.7	Variación porcentual en la formulación de las pruebas preliminares.....	50
Figura 4.8	Caja y bigote para pruebas preliminares de aguardiente de pulpa de frutilla.....	50
Figura 4.9	Control (°Brix) en el proceso de fermentación alcohólica	55
Figura 4.10	Control de acidez (ácido cítrico) en el proceso de fermentación alcohólica.....	56
Figura 4.12	Control de pH en el proceso de fermentación alcohólica	58
Figura 4.12	Efectos principales con relación al porcentaje de alcohol	60
Figura 4.13	Interacción de factores para porcentaje de alcohol	60
Figura 4.14	Diagrama de Pareto estandarizado para el porcentaje de alcohol..	62
Figura 4.15	Efectos principales con relación de la acidez total	63
Figura 4.16	Interacciones con relación a la acidez total	64
Figura 4.17	Diagrama de Pareto estandarizado para acidez total	65
Figura 4.18	Efectos principales con relación al pH	67
Figura 4.19	Interacciones con relación al pH.....	67
Figura 4.20	Diagrama de Pareto estandarizado para pH	68
Figura 4.21	Estadístico de caja y bigote de muestras experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla.....	69
Figura 4.22	Estadístico de caja y bigote para comparar muestras experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla	72
Figura 4.23	Balance general en la obtención de aguardiente de pulpa de frutilla.....	

	Etapa de acondicionado.....	76
Figura 4.24	Etapa de dilución Pulpa:Agua	77
Figura 4.25	Etapa de pre-calentamiento.....	79
Figura 4.26	Etapa de corrección de °Brix	81
Figura 4.27	Etapa de fermentación	82
Figura 4.28	Etapa de filtrado	83
Figura 4.29	Etapa de destilación	85
Figura 4.30	Resumen del balance de materia en el proceso de elaboración de	86
Figura 4.31	aguardiente de pulpa de frutilla	
	Etapa de pre-calentamiento.....	88
Figura 4.32	Etapa de destilación	93
Figura 4.33		94

ÍNDICE DE CUADROS

		Pág
Cuadro 3.1	Operacionalización de las variables para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla.....	41
Cuadro 4.1	Ecuaciones para los análisis físicos de la frutilla variedad San Andrea.....	42