

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA
PROYECTO DE GRADO**



**ELABORACION EXPERIMENTAL DE AGUARDIENTE DE MAIZ
(*Zea Mays, variedad Morocho de Tarija*) CULTIVADO EN LA
PROVINCIA MENDEZ DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA.**

Por:

NATALIA ABIGAIL HERBAS GIRON

Modalidad de graduación: INVESTIGACION APLICADA presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.

JUNIO 2023

TARIJA-BOLIVIA

INDICE

	Página
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Pensamiento.....	iii
Resumen.....	iv

INTRODUCCION

INTRODUCCION.....	1
Antecedentes.....	1
Maíz en Bolivia.....	12
OBJETIVOS.....	14
Objetivo General.....	14
Objetivos Específicos.....	14
JUSTIFICACION.....	15
Justificación Económica.....	15
Justificación Tecnológica.....	15
Justificación Social.....	15
Justificación Ambiental.....	15
Justificación Personal.....	16

CAPITULO I

MARCO TEORICO

I. MARCO TEORICO.....	17
1.1 Características de la materia prima.....	18
1.1.1 Definición.....	18

1.1.2	Composición química de las partes del grano.....	18
1.1.3	Tipos.....	20
1.1.4	Origen.....	21
1.1.5	Fisiología.....	22
1.1.6	Cultivo.....	22
1.1.7	Valor nutricional y beneficios.....	22
1.1.8	Acondicionamiento.....	24
1.2	Levadura.....	29
1.2.1	Saccharomyces cerevisiae.....	29
1.2.1.1	Ventajas Tecnológicas.....	30
1.2.1.2	Usos industriales dirigidos a los productos de fermentación.....	31
1.3	Fermentación alcohólica.....	31
1.3.1	Materias Primas.....	33
1.3.2	Condiciones requeridas.....	33
1.3.2.1	Condiciones requeridas para la fermentación alcohólica.....	33
1.3.2.2	Condiciones requeridas para la fermentación en el aguardiente.....	34
1.3.3	Reacciones.....	34
1.3.4	Cinética de fermentación.....	35
1.3.4.1	Crecimiento microbiano.....	35
1.3.5	Control de Temperatura.....	35
1.4	Destilación Discontinua (Batch).....	36
1.4.1	Condiciones requeridas.....	36
1.5	Caracterización de la Materia Prima.....	36
1.6	Caracterización del Producto.....	38
1.6.1	Requisitos según la Norma Oficial Mexicana Nom-199-Scfi-2017, Bebidas Alcohólicas-Denominación, Especificaciones Fisicoquímicas, Información Comercial y Métodos de Prueba.....	38
1.6.1.1	Aguardiente.....	38

1.7.2	Características del aguardiente.....	41
1.7.3	Usos/aplicaciones/beneficios del Producto.....	42
1.7.4	Aspectos del Mercado.....	43
1.7.5	Procesos Tecnológicos empleados.....	44
1.7.5.1	Destilación simple.....	44
1.7.5.2	Destilación continua.....	45
1.7.5.3	Destilación discontinua.....	46

CAPITULO II

PARTE EXPERIMENTAL

II	PARTE EXPERIMENTAL.....	47
2.1	Parte experimental del Proyecto de Investigación.....	48
2.2	METODOLOGIA DEL ESTUDIO.....	48
2.2.1	Descripción Esquemática de la Metodología General del Estudio.....	48
2.2.2	Descripción técnica de cada una de las etapas del proceso.....	50
2.2.2.1	Ingreso de materia prima.....	50
2.2.2.2	Selección de materia prima.....	50
2.2.2.3	Molienda.....	50
2.2.2.4	Macerado.....	50
2.2.2.5	Hervido.....	50
2.2.2.6	Enfriado.....	51
2.2.2.7	Fermentación.....	51
2.2.2.8	Filtración.....	51
2.2.2.9	Destilación.....	51
2.2.2.10	Envasado.....	52

2.2.2.11	Almacenado.....	52
2.3	Desarrollo de la parte experimental.....	52
2.3.1	Selección del Método a utilizar.....	52
2.3.2	Descripción del Proceso Tecnológico seleccionado.....	60
2.3.2.1	Diagrama de Flujo del Proceso.....	60
2.3.3	Diseño Factorial.....	61
2.3.3.1	Diseño Factorial para la Fermentación en la Elaboración de Aguardiente de Maíz.....	61
2.3.4	Descripción detallada de cada una de las etapas del proceso.....	64
2.3.4.1	Ingreso y Selección de materia prima.....	64
2.3.4.2	Molienda.....	65
2.3.4.3	Macerado.....	66
2.3.4.3.1	Lavado.....	67
2.3.4.4	Hervido.....	67
2.3.4.5	Enfriado.....	67
2.3.4.6	Fermentación.....	68
2.3.4.7	Filtración.....	71
2.3.4.8	Destilación.....	71
2.3.4.9	Envasado.....	73
2.3.4.10	Almacenado.....	73
2.4	Balances de materia y energía.....	74
2.4.1	Balance de materia en la etapa de fermentación.....	74
2.4.1.1	Para el tacho 1.....	74
2.4.2	Balance de energía en la torre de destilación.....	75

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

III.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	77
------	-----------------------------	----

3.1	Cálculos en las diferentes etapas del proceso.....	78
3.1.1	Ingreso y Selección de materia prima.....	78
3.1.2	Fermentación.....	78
3.1.3	Destilación.....	81
3.2	Cálculo del rendimiento.....	85
3.3	Evaluación sensorial.....	85
3.3.1	Definición.....	85
3.3.2	Uso.....	86
3.3.3	Tipos de jueces.....	86
3.3.4	Evaluación sensorial efectuada.....	87

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
4.1	Conclusiones.....	91
4.2	Recomendaciones.....	92

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA.....	94
-------------------	----

ANEXOS

ANEXOS.....	103
Anexo 1 Informe de Caracterización de la materia prima: Maíz Morocho.....	104
Anexo 2 Medición de parámetros.....	106
Anexo 3 Materiales, Reactivos y Equipos empleados.....	109
Anexo 4 Galería Fotográfica.....	115
Anexo 5 Evaluación Sensorial.....	117
Anexo 6 Caracterización de la materia prima: Maíz Morocho en laboratorio.....	129

Indice de Tablas

	Página
Tabla 1	Principales países productores de etanol.....1
Tabla 2	Producción mundial de etanol.....2
Tabla 3	Producción de etanol y utilización de maíz desde 1980-2005.....3
Tabla 4	Producción de etanol y utilización de maíz desde 2005-2015.....4
Tabla 5	Grado de industrialización respecto a la producción.....4
Tabla 6	Producción de etanol en base a maíz.....5
Tabla 7	Producción mensual de etanol en base a maíz en toneladas.....5
Tabla 8	Uso de granos por país para producir etanol. Cifras en millones de toneladas de cereales.....6
Tabla 9	Productores a nivel mundial de Aguardiente de Maíz.....12
Tabla 10	Producción de maíz en Bolivia por año en toneladas métricas.....12
Tabla 11	Producción de maíz en Tarija en toneladas para el año 2018.....13
Tabla I-1	Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%)......19
Tabla I-2	Tabla de equivalencia entre densidad, grados baumé, grados brix y alcohol potencial. Aplicable solo a mostos o jugos.....32
Tabla I-3	Importancia del Maíz Morocho para los pequeños productores.....38
Tabla I-4	Especificaciones del aguardiente.....40
Tabla I-5	Normas Mexicanas aplicables sobre Métodos de Ensayo (Prueba) para Bebidas Destiladas 32% a 55% en Volumen de Alcohol.....41
Tabla I-6	Propiedades nutricionales del aguardiente.....42
Tabla I-7	Precios actuales de las bebidas alcohólicas en Bolivia 2019.....44

Tabla II-1	Selección del Método de Elaboración de Aguardiente de Maíz.....	53
Tabla II-2	Ponderación de factores.....	54
Tabla II-3	Calificación de los procesos.....	55
Tabla II-4	Niveles máximo y mínimo de las variables para la fermentación.....	62
Tabla II-5	Niveles superior e inferior de las variables para la fermentación.....	63
Tabla II-6	Combinaciones de las variables con sus dos niveles para los 8 experimentos en 1 corrida.....	63
Tabla II-7	Combinaciones de las variables con sus dos niveles para los 8 experimentos en una primera réplica.....	64
Tabla II-8	Cantidades usadas para el macerado.....	66
Tabla II-9	Cantidad de agua usada para el lavado.....	67
Tabla II-10	Cantidad de mosto en cada tacho.....	67
Tabla II-11	Datos del mosto antes de la fermentación.....	68
Tabla II-12	Datos para la fermentación.....	68
Tabla II-13	Datos para la cantidad de nutriente.....	68
Tabla II-14	Datos obtenidos al inicio del proceso de fermentación.....	69
Tabla II-15	Datos obtenidos en el proceso de fermentación.....	69
Tabla II-16	Datos obtenidos en el proceso de destilación.....	72
Tabla III-1	Datos obtenidos finales para la etapa de fermentación.....	79
Tabla III-2	Grado alcohólico °GL en la chicha.....	81
Tabla III-3	Datos obtenidos de aguardiente.....	81
Tabla III-4	Análisis de Varianza para Grado alcohólico.....	83
Tabla III-5	Factores óptimos para el proceso de fermentación del mosto.....	84
Tabla III-4	Resultados de la Evaluación Sensorial.....	89

Tabla Anexo III-1 Materiales, reactivos y equipos utilizados.....	110
Tabla Anexo VI-1 Escala hedónica verbal de siete puntos.....	118
Tabla Anexo VI-2 Formato para tabular datos con panelistas.....	118

Índice de Figuras

	Página
Figura 1	Aguardiente de Maíz.....10
Figura 1-1	Maíz (Zea Mays).....18
Figura 1-2	Tipos, variedades de maíz (Zea Mays).....21
Figura 1-3	Vista microscópica de la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>30
Figura 1-4	Crecimiento microbiano.....35
Figura 1-5	Maíz Morocho de Tarija.....37
Figura 1-6	Killa Andean Moonshine.....43
Figura 1-7	Equipo de destilación simple.....45
Figura 1-8	Equipo de destilación continua.....46
Figura 1-9	Equipo de destilación discontinua.....46
Figura 2-1	Diagrama de bloques del proceso de elaboración de aguardiente de maíz.....49
Figura 2-2	Diagrama de flujo del proceso de elaboración de Aguardiente de Maíz.....60
Figura 2-3	Selección de materia prima.....65
Figura 2-4	Molienda del maíz.....65
Figura 2-5	Molienda de la malta.....65
Figura 2-6	Proceso de macerado con control de temperatura.....66
Figura 2-7	Proceso de destilación. Reboiler.....72
Figura 2-8	Obtención de aguardiente de maíz.....73
Figura 2-15	Diagrama esquemático de la torre de destilación.....75
Figura 3-1	Diagrama de Pareto Estandarizada para Grado alcohólico.....84
Figura Anexo 2-1	Medición de parámetros en el mosto en la fermentación (pH, °Brix).....107
Figura Anexo 2-2	Medición de parámetros en la chicha antes de la destilación (pH).....107

Figura Anexo 2-3	Medición de parámetros en la chicha antes de la destilación (°Baumé).....	107
Figura Anexo 2-4	Medición de parámetros en el aguardiente (Grado alcohólico °GL).....	108
Figura Anexo 3-1	Torre de destilación.....	111
Figura Anexo 3-2	Reboiler.....	111
Figura Anexo 3-3	Controlador de la torre de destilación.....	112
Figura Anexo 3-4	Estufa.....	112
Figura Anexo 3-5	Alcoholímetro.....	112
Figura Anexo 3-6	Refractómetro digital de ABBE “WYA-1S”.....	113
Figura Anexo 3-7	Refractómetro digital HAND-HELD “ATAGO”.....	113
Figura Anexo 3-8	Mostímetro.....	114
Figura Anexo 3-9	pHmetro.....	114
Figura Anexo 4-1	Medición del metanol extraído.....	116
Figura Anexo 4-2	Esterilización de botellas para recibir el aguardiente.....	116
Figura Anexo 4-3	Producto obtenido: Aguardiente de Maíz.....	116
Figura Anexo 6-1	Sensograma.....	118

V°B°

Ing. Marcelo Segovia Cortez

DECANO

Lic. Clovis Gustavo Succi Aguirre

VICEDECANO

TRIBUNAL:

Ing. Ignacio Edwin Velásquez Soza.

Ing. Karina Cervantes Calbimonte.

Ing. Marlova Vera Mendieta.

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

Doy gracias a Dios por haberme ayudado a poder cumplir con la meta de culminar mis estudios. Dedico mi proyecto de grado a mis padres: Adolfo Herbas y Yolanda Girón de Herbas, quienes me brindaron su gran apoyo y cariño fundamentales en todo momento para mi formación profesional, que yo podía, que no me rindiera, palabras tan animadoras que me ayudaron a seguir adelante pese a todo. A mis hermanos: Mariela Herbas e Iván Herbas, por preocuparse tanto y acompañarme en cada momento cuidando y asegurándose de que todo salga bien. A mi esposo: Cristian Céspedes por ser un gran apoyo y estar animándome cuando más me hacía falta. A mis tribunales: Ing. Ignacio Velásquez, Ing. Karina Cervantes e Ing. Marlova Vera, por su guía, apoyo, cariño y comprensión para el desarrollo de mi tesis y poder terminar con éxito el mismo. A mis docentes: Ing. Ernesto Caihuara, Ing. Juan Pablo Herbas e Ing. Gustavo Moreno, por su ayuda, apoyo y guía a lo largo de mi formación y más aún en la etapa de desarrollo de mi proyecto.

“No te rindas, tú puedes a pesar de todos los obstáculos que se presenten. Sólo sé perseverante.”

Herbas, Natalia.