

**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.