

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

CARRERA INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**ELABORACIÓN DE AGUARDIENTE A BASE DE MUKU DE MAÍZ
VARIEDAD “MOROCHO AMARILLO”**

POR:

EVELIN BASPINEIRO BARRIOS

Trabajo final de grado presentado a consideración de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, como requisito para optar el grado académico de licenciatura en Ingeniería de Alimentos

DICIEMBRE, 2023

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

.....
M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

.....
M.Sc. Lic. Gustavo Succi Aguirre
VICEDECANO
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

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

.....
Ing. Adolfo Valentín Trigo Dimitrov
DOCENTE GUÍA

.....
Ing. Erick Ramírez Ruiz
TRIBUNAL

.....
Ing. Luis Fernando Zenteno Benítez
TRIBUNAL

Agradecimientos:

A mis padres; Catalina Barrios Mendez y Augusto Baspineiro Martínez por haberme dado su apoyo incondicional durante todos estos años y por ser esa razón el más grande aliciente para el cumplimiento de mis objetivos que significan alegría y orgullo para mí y también para ellos.

A mi docente guía; Ing. Valentín Trigo por haber sido mi guía durante la elaboración de mi tesis y también a todo el plantel docente de la Carrera de Ingeniería de Alimentos por brindarme sus conocimientos durante mi carrera universitaria, y en especial a mis tribunales: Ing. Jesús Zamora, Ing. Luis Fernando Zenteno e Ing. Erick Ramírez por haberme brindado su conocimiento y su paciencia en la culminación de mi tesis.

De igual forma a mis amigos y compañeros en especial a Katherin Ramos y Jimena Zelaya.

Pensamiento:

“El estudio de tus errores no te revelará el secreto del éxito, pero el estudio de la abnegación y el esfuerzo si lo hará”

Bernard Holdane

ÍNDICE

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

| | | |
|-------|---------------------------------|---|
| 1.1 | Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 | Justificación..... | 2 |
| 1.3 | Objetivos..... | 2 |
| 1.3.1 | Objetivo general..... | 2 |
| 1.3.2 | Objetivos específicos | 2 |
| 1.4 | Objeto de estudio..... | 3 |
| 1.5 | Campo de acción..... | 3 |
| 1.6 | Planteamiento del problema..... | 3 |
| 1.7 | Formulación del problema..... | 4 |
| 1.8 | Hipótesis | 4 |

CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO

| | | |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------|---|
| 2.1 | Origen del aguardiente..... | 5 |
| 2.2 | Definición del aguardiente..... | 5 |
| 2.3 | Clasificación de las bebidas alcohólicas destiladas..... | 6 |
| 2.3.1 | Descripción de la clasificación de las bebidas alcohólicas destiladas..... | 6 |
| 2.3.1.1 | Aguardientes simples..... | 6 |
| 2.3.1.2 | Alcoholes destilados..... | 7 |
| 2.3.1.3 | Alcoholes rectificadas..... | 7 |
| 2.3.1.4 | Aguardientes compuestos..... | 7 |
| 2.4 | Composición fisicoquímica de las bebidas alcohólicas | |

| | | |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| | destiladas..... | 7 |
| 2.4.1 | Contenido grado alcohólico..... | 8 |
| 2.4.2 | Extracto seco..... | 8 |
| 2.4.3 | Aldehídos..... | 8 |
| 2.3.4 | Esteres..... | 8 |
| 2.4.5 | Alcoholes superiores..... | 9 |
| 2.4.6 | Metanol..... | 9 |
| 2.4.7 | Furfural..... | 9 |
| 2.5 | Caracterización de las materias primas utilizadas en la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 10 |
| 2.5.1 | Muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 10 |
| 2.5.1.2 | Composición nutricional del muku de maíz..... | 10 |
| 2.5.1.3 | Propiedades nutricionales del maíz variedad “morocho amarillo”..... | 10 |
| 2.5.1.4 | Aplicaciones del muku de maíz..... | 11 |
| 2.6 | Caracterización de los insumos alimenticios para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” | 11 |
| 2.6.1 | Agua Potable..... | 11 |
| 2.6.2 | Levadura vinifica (<i>Saccharimyces Cerevisiae</i>)..... | 12 |
| 2.6.3 | Chancaca..... | 12 |
| 2.6.4 | Azúcar refinada..... | 12 |
| 2.6.6 | Nutriente para levadura rico en nitrógeno asimilable..... | 13 |
| 2.7 | Hidrolisis enzimática del almidón..... | 13 |
| 2.8 | Fermentación alcohólica de los cereales..... | 14 |
| 2.9 | Factores que influyen en la fermentación..... | 15 |
| 2.9.1 | Temperatura..... | 15 |
| 2.9.2 | pH..... | 16 |
| 2.9.3 | Nutrientes..... | 16 |

| | | |
|-------|-----------------------------------------------------|----|
| 2.9.4 | Oxigenación del mosto..... | 16 |
| 2.9.5 | Concentración de azúcares (glucosa y sacarosa)..... | 17 |
| 2.10 | Destilación a vacío..... | 17 |

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

| | | |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 | Desarrollo de la parte experimental..... | 19 |
| 3.2 | Tipo de intervención experimental..... | 19 |
| 3.3 | Tipo de investigación..... | 19 |
| 3.3.1 | Investigación experimental..... | 20 |
| 3.4 | Paradigma positivista..... | 20 |
| 3.5 | Enfoque cuantitativo..... | 21 |
| 3.6 | Métodos técnicas e instrumentos de investigación..... | 21 |
| 3.6.1 | Análisis fisicoquímico y microbiológico del muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 21 |
| 3.6.2 | Análisis fisicoquímicos del aguardiente a base de muku de maíz..... | 22 |
| 3.7 | Equipos de proceso, instrumentos, material de laboratorio y utensilios de cocina..... | 23 |
| 3.7.1 | Equipos de proceso..... | 23 |
| 3.7.2 | Instrumentos de laboratorio..... | 24 |
| 3.7.3 | Materiales de laboratorio..... | 25 |
| 3.7.4 | Utensilios de cocina..... | 25 |
| 3.7.5 | Reactivos químicos..... | 26 |
| 3.7.6 | Insumos alimenticios..... | 26 |
| 3.8 | Diagrama del proceso de elaboración del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 26 |
| 3.8.1 | Descripción del diagrama del proceso de elaboración de aguardiente a base de muku de maíz | 27 |

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.8.1.1 | Mezclado..... | 28 |
| 3.8.1.2 | Reposo..... | 28 |
| 3.8.1.3 | Filtrado..... | 28 |
| 3.8.1.4 | Pasteurización y enfriamiento..... | 28 |
| 3.8.1.5 | Ajustes °Brix..... | 28 |
| 3.8.1.6 | Fermentación..... | 28 |
| 3.8.1.7 | Destilación..... | 29 |
| 3.8.1.8. | Embotellado..... | 29 |
| 3.8.1.9 | Almacenamiento..... | 29 |
| 3.9 | Análisis sensorial..... | 29 |
| 3.10 | Diseño experimental | 31 |
| 3.10.1 | Diseño factorial 2 ^k | 31 |
| 3.10.2 | Diseño factorial 2 ² en la etapa de fermentación alcohólica..... | 31 |
| 3.11 | Operacionalización de variables para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 33 |

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 | Caracterización del muku de maíz variedad “morocho amarillo” | 34 |
| 4.1.1 | Análisis fisicoquímicos del muku de maíz..... | 34 |
| 4.1.2 | Análisis microbiológico del muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 34 |
| 4.2 | Caracterización de las variables del proceso para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz..... | 35 |
| 4.2.1 | Pruebas experimentales para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz..... | 35 |

| | | |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.1.1 | Pruebas experimentales variando la formulación con muku de maíz variedad “morocho amarillo” | 36 |
| 4.2.1.2 | Pruebas experimentales variando la formulación con harina de maíz para la elaboración de aguardiente..... | 37 |
| 4.2.1.3 | Selección de prueba experimental de aguardiente a base muku de maíz..... | 39 |
| 4.2.1.3.1 | Estadístico caja y bigote para las pruebas experimentales de aguardiente de maíz..... | 39 |
| 4.2.2 | Pruebas experimentales incorporando azúcar y chancaca en la elaboración de aguardiente | 40 |
| 4.2.2.1 | Estadístico caja y bigote para pruebas experimentales incorporando azúcar y chancaca..... | 42 |
| 4.2.2.2 | Estadístico Tukey para el atributo limpidez de muestras preliminares de aguardiente incorporando azúcar y chancaca... | 42 |
| 4.2.2.3 | Estadístico Tukey para el atributo aroma de muestras preliminares de aguardiente incorporando azúcar y chancaca... | 43 |
| 4.2.2.4 | Estadístico Tukey para el atributo retrogusto de muestras preliminares de aguardiente incorporando azúcar y chancaca... | 43 |
| 4.2.2.5 | Estadístico Tukey para el atributo grado alcohólico de muestras preliminares de aguardiente incorporando azúcar y chancaca..... | 44 |
| 4.2.2.6 | Control de sólidos solubles (° Brix), pH y acidez en el proceso de fermentación alcohólica en pruebas experimentales de aguardiente de maíz..... | 44 |
| 4.2.2.6.1 | Control de los sólidos solubles (° Brix) en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de maíz..... | 46 |
| 4.2.2.6.2 | Control del pH en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de maíz..... | 47 |
| 4.2.2.6.3 | Control de la acidez en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de maíz..... | 47 |

| | | |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3 | Diseño factorial 2 ² en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de maíz..... | 49 |
| 4.3.1 | Variable respuesta del grado alcohólico (° GL) del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 49 |
| 4.4 | Selección de muestra de aguardiente de maíz en función de la dosificación para la etapa de fermentación alcohólica en el diseño factorial | 51 |
| 4.4.1 | Evaluación sensorial de las muestras experimentales del nivel superior de la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 51 |
| 4.4.1.1 | Estadístico de caja y bigote en las pruebas de aguardiente a base de muku de maíz nivel superior | 52 |
| 4.4.2 | Evaluación sensorial de las muestras experimentales del nivel inferior de la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 52 |
| 4.4.2.1 | Estadístico caja y bigote para las pruebas experimentales del aguardiente del nivel inferior..... | 53 |
| 4.5 | Selección de muestra final del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” | 54 |
| 4.5.1 | Estadístico de caja y bigote para determinar la muestra final de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” | 55 |
| 4.6 | Caracterización del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 56 |
| 4.6.1 | Análisis fisicoquímico del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” | 56 |
| 4.7 | Balance de materia en el proceso de elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 56 |

| | | |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.7.1 | Balance de materia en la etapa de mezclado..... | 58 |
| 4.7.2 | Balance de materia en la etapa de reposo..... | 60 |
| 4.7.3 | Balance de materia en la etapa de filtración..... | 61 |
| 4.7.4 | Balance de materia en la etapa de pasteurización y enfriamiento..... | 62 |
| 4.7.5 | Balance de materia en la etapa de ajuste de grados Brix..... | 64 |
| 4.7.6 | Balance de materia en la etapa de fermentación..... | 65 |
| 4.7.7 | Balance de materia en la etapa de destilación..... | 65 |
| 4.8 | Resumen general del balance de materia para el proceso de elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo | 68 |
| 4.9 | Balance de energía en el proceso de pasteurización..... | 69 |
| 4.9.1 | Balance de energía para calentar la olla de acero inoxidable vacía..... | 69 |
| 4.9.2 | Balance de energía para pasteurizar el mosto de maíz..... | 70 |
| 4.10 | Balance de energía en el proceso de destilación..... | 73 |

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | | |
|-----|----------------------|----|
| 5.1 | Conclusiones..... | 74 |
| 5.2 | Recomendaciones..... | 75 |

INDICE DE TABLAS

| | | |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 2.1 | Propiedades fisicoquímicas de las bebidas alcohólicas destiladas..... | 8 |
| Tabla 2.3 | Composición nutricional del muku de maiz variedad “morocho amarillo..... | 10 |
| Tabla 3.1 | Materiales de laboratorio utilizados en la elaboración de | 25 |

| | | |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| | aguardiente | |
| Tabla 3.2 | Utensilios de cocina utilizados en la elaboración de aguardiente | 26 |
| Tabla 3.3 | Insumos alimenticios utilizados en la elaboración de aguardiente..... | 26 |
| Tabla 3.4 | Niveles de variación de las variables en el proceso de fermentación alcohólica..... | 32 |
| Tabla 3.5 | Matriz de variable para el proceso de fermentación alcohólica | 32 |
| Tabla 3.6 | Operacionalización de variables para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” | 33 |
| Tabla 4.1 | Análisis fisicoquímicos del muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 34 |
| Tabla 4.2 | Análisis microbiológico . del muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 35 |
| Tabla 4.3 | Prueba de TUKEY de la limpidez en selección de muestras preliminares de aguardiente incorporando azúcar y chancaca..... | 42 |
| Tabla 4.4 | Prueba de TUKEY del aroma en selección de muestras preliminares de aguardiente incorporando azúcar y chancaca..... | 42 |
| Tabla 4.5 | Prueba de TUKEY del retrogusto en selección de muestra preliminar de aguardiente incorporando azúcar y chancaca... | 42 |
| Tabla 4.6 | Prueba de TUKEY del grado alcohólico en selección de muestra preliminar de aguardiente incorporando azúcar y chancaca..... | 42 |
| Tabla 4.7 | Control de los sólidos solubles (° Brix) en la fermentación alcohólica del mosto de maíz..... | 45 |
| Tabla 4.8 | Control del pH en la fermentación alcohólica del mosto de | |

| | | |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| | maíz..... | 46 |
| Tabla 4.9 | Control de la acidez en la fermentación alcohólica del mosto de maíz..... | 48 |
| Tabla 4.10 | Análisis de varianza en función de la variable respuesta grado alcohólico..... | 49 |
| Tabla 4.11 | Dosificación del aguardiente de maíz nivel superior | 52 |
| Tabla 4.12 | Dosificación del aguardiente de maíz nivel inferior..... | 53 |
| Tabla 4.13 | Análisis fisicoquímicos del aguardiente a base de muku de maíz..... | 61 |
| Tabla 4.14 | Análisis fisicoquímicos del muku de maíz..... | 76 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 | Clasificación de bebidas alcohólicas destiladas..... | 6 |
| Figura 2.2 | Formación de etanol a partir de piruvato en levadura y otros microorganismos..... | 15 |
| Figura 3.1 | Análisis fisicoquímico y microbiológico del muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 22 |
| Figura 3.2 | Análisis fisicoquímicos del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 23 |
| Figura 3.3 | Equipos en el proceso de elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” | 23 |
| Figura 3.4 | Instrumentos de laboratorio en el proceso de elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 24 |
| Figura 3.5 | Diagrama del proceso de elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 27 |
| Figura 3.6 | Evaluaciones sensoriales del aguardiente a base de muku de | 30 |

| | | |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| | maíz..... | |
| Figura 4.1 | Pruebas experimentales para la elaboración aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 36 |
| Figura 4.2 | Pruebas de aguardiente con muku de maiz..... | 37 |
| Figura 4.3 | Valoración subjetiva de de las pruebas de aguardiente con muku de maíz..... | 37 |
| Figura 4.4 | Pruebas de aguardiente con harina de maíz..... | 38 |
| Figura 4.5 | Valoración subjetiva de la formulación de aguardiente con harina de maíz..... | 38 |
| Figura 4.6 | Análisis caja y bigote para las pruebas experimentales en la elaboración de aguardiente | 39 |
| Figura 4.7 | Pruebas incorporando azúcar y chancaca en la elaboración de aguardiente..... | 40 |
| Figura 4.8 | Caja y bigote para las pruebas experimentales incorporando azúcar y chancaca..... | 41 |
| Figura 4.9 | Control de los sólidos solubles (° Brix) en la fermentación alcohólica del mosto de maíz..... | 45 |
| Figura 4.10 | Control del pH en la fermentación alcohólica del mosto de maíz..... | 47 |
| Figura 4.11 | Control de acidez en la fermentación alcohólica del mosto de maíz..... | 48 |
| Figura 4.12 | Efectos principales para grado alcohólico..... | 50 |
| Figura 4.13 | Diagrama de Pareto estandarizado para el grado alcohólico... | 51 |
| Figura 4.14 | Análisis caja y bigote para las muestras del nivel superior ... | 54 |
| Figura 4.15 | Análisis caja y bigote para las muestras del nivel inferior | 54 |
| Figura 4.16 | Análisis caja y bigote para la muestra final de aguardiente a base de muku de maiz | 55 |
| Figura 4.17 | Balance general de materia para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”..... | 57 |

| | | |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.18 | Balance de materia en la etapa de mezclado..... | 58 |
| Figura 4.19 | Balance de materia en la etapa de reposo..... | 60 |
| Figura 4.20 | Balance de materia en la etapa de filtración..... | 61 |
| Figura 4.21 | Balance de materia en la etapa de pasteurización y enfriamiento..... | 62 |
| Figura 4.22 | Balance de materia en la etapa de ajustes grados Brix..... | 63 |
| Figura 4.23 | Balance de materia en la etapa de fermentación | 64 |
| Figura 4.24 | Balance de materia en la etapa de destilación..... | 66 |
| Figura 4.25 | Resumen general del balance de materia para el proceso de elaboración de aguardiente | 68 |