

**UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS**



**ELABORACIÓN DE AGUARDIENTE A PARTIR DE PULPA DE  
BANANO VARIEDAD *WILLIAMS***

**Por:**

**YANETH MABEL HUANCA LIMACHI**

**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 Alimentos.**

**DICIEMBRE, 2022**

**TARIJA - BOLIVIA**

### **Advertencia**

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 va dedicado a Dios quien supo guiarme cada paso y estuvo alentándome a seguir adelante, dándome fuerza para poder culminar con esta etapa para mi formación profesional. A mi familia por su constante apoyo, consejos y amor.

### **Agradecimiento**

Primeramente, agradezco a Dios por brindarme salud, sabiduría para lograr cumplir mis objetivos a lo largo de mi vida.

A mis padres por darme la oportunidad de estudiar y enseñarme a levantarme con fuerza, voluntad y ahínco después de una caída dándome una gran lección de vida.

A mi docente guía Ing. Valentín Trigo Dimitrov quien, con su experiencia y conocimiento me oriento durante el desarrollo de mi proyecto.

De igual forma, a todos mis amigos y compañeros: Jobita Méndez, Gimena Guevara y en especial a mi hermana Yenny Huanca por su apoyo incondicional.

**ÍNDICE**  
**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo general.....	3
1.3.2	Objetivos específicos .....	3
1.4	Objeto de estudio .....	4
1.5	Campo de acción .....	4
1.6	Planteamiento del problema .....	5
1.7	Formulación del problema.....	5
1.8	Formulación de la hipótesis.....	5

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

2.1	Origen del aguardiente.....	6
2.2	Definición del aguardiente de frutas.....	6
2.3	Clasificación de bebidas alcohólicas .....	7
2.4	Clasificación de bebidas alcohólicas destiladas según su graduación alcohólica.....	7
2.4.1	Descripción de las bebidas alcohólicas destiladas .....	8
2.4.1.1	Aguardientes simples.....	8
2.4.1.2	Alcoholes destilados .....	9
2.4.1.3	Alcoholes rectificados .....	9
2.5	Propiedades fisicoquímico de las bebidas alcohólicas destiladas .....	9
2.5.1	Propiedades fisicoquímico del aguardiente de frutas .....	10
2.5.1.1	Grado alcohólico.....	10
2.5.1.2	Extracto seco.....	10
2.5.1.3	Aldehídos.....	11
2.5.1.4	Ésteres.....	11
2.5.1.5	Alcoholes superiores.....	11

2.5.1.6	Metanol.....	11
2.5.1.7	Furfural .....	12
2.6	Caracterización de la materia prima utilizada en la obtención del aguardiente de banano .....	12
2.6.1	Banano .....	12
2.6.2	Variedad Williams .....	13
2.6.3	Clasificación del banano .....	13
2.7	Clasificación taxonómica de banano .....	14
2.8	Composición química del banano.....	15
2.9	Propiedades nutricionales del banano.....	15
2.10	Aplicaciones del banano.....	16
2.11	Caracterización de los insumos en la elaboración del aguardiente de banano .....	16
2.11.1	Azúcar.....	17
2.11.2	Agua potable .....	17
2.11.3	Levadura vinífica ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ) .....	17
2.11.4	Ácido cítrico .....	17
2.11.5	Nutriente Enovit P.....	18
2.12	Fermentación alcohólica.....	18
2.12.1	Factores que influyen en la etapa de fermentación alcohólica.....	19
2.12.1.1	Concentración de azúcares .....	19
2.12.1.2	pH .....	19
2.12.1.3	Temperatura.....	20
2.13	Descripción del proceso tecnológico para la elaboración de aguardiente de pulpa de banano .....	20
2.13.1	Fermentación .....	21
2.13.2	Tipos de fermentación.....	21
2.13.3	Destilación .....	22
2.13.4	Tipos de destilación .....	22
2.13.5	Destilación al vacío.....	23
2.14	Equipo Rotavapor Buchi R-100 .....	24

### CAPÍTULO III

### DISEÑO METODOLÓGICO

3.1	Desarrollo de la parte experimental.....	25
3.2	Tipo de intervención para la parte experimental .....	25
3.3	Estructura epistemológica- metodológica .....	25
3.3.1	Paradigma investigativo .....	25
3.3.2	Enfoque de la investigación .....	26
3.4	Métodos, técnicas e instrumentos .....	26
3.4.1	Análisis físico del banano variedad <i>Williams</i> .....	27
3.4.2	Análisis fisicoquímico y microbiológico del banano variedad <i>Williams</i> .....	27
3.4.3	Análisis físico del aguardiente de pulpa de banano variedad <i>Williams</i> .....	28
3.5	Descripción de equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina.....	29
3.5.1	Equipos .....	29
3.5.2	Instrumentos de laboratorio.....	29
3.5.3	Material de laboratorio.....	30
3.5.4	Utensilios de cocina .....	30
3.6	Descripción de la materia prima e insumos alimentarios .....	30
3.6.1	Banano variedad <i>Williams</i> .....	31
3.6.2	Insumos alimentarios .....	31
3.7	Descripción de reactivos químicos de laboratorio.....	31
3.8	Diagrama de flujo para el proceso de elaboración de aguardiente banano variedad <i>Williams</i> .....	32
3.8.1	Descripción del diagrama de proceso para la elaboración de aguardiente banano variedad <i>Williams</i> .....	33
3.8.1.1	Banano .....	33
3.8.1.1	Pelado .....	33
3.8.1.2	Escaldado.....	33
3.8.1.3	Enfriamiento .....	34
3.8.1.4	Triturado .....	34
3.8.1.5	Dilución de la pulpa: agua .....	34
3.8.1.6	Ajuste de los sólidos solubles .....	35
3.8.1.7	Activación de la levadura .....	35
3.8.1.8	Mezclado .....	35
3.8.1.9	Fermentación .....	36
3.8.1.10	Filtración.....	36
3.8.1.11	Destilación.....	36

3.8.1.12	Envasado y almacenamiento .....	37
3.9	Evaluación sensorial .....	37
3.10	Diseño experimental .....	38
3.11	Diseño factorial $2^3$ .....	39
3.11.1	Diseño factorial $2^3$ para la etapa de fermentación alcohólica de la pulpa de banano para la obtención de aguardiente .....	39
3.12	Operacionalización de las variables en el proceso de elaboración del aguardiente a partir de pulpa de banano variedad <i>Williams</i> .....	41

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Caracterización de banano variedad <i>Williams</i> .....	42
4.1.1	Análisis físico de la banana variedad <i>Williams</i> .....	42
4.1.2	Análisis fisicoquímico de banano variedad <i>Williams</i> .....	44
4.1.3	Análisis microbiológico de banano variedad <i>Williams</i> .....	44
4.2	Caracterización de las variables del proceso para la obtención de aguardiente de banano variedad <i>Williams</i> .....	45
4.2.1	Pruebas iniciales para la elaboración de aguardiente de pulpa de banano variedad <i>Williams</i> .....	45
4.2.1.1	Pruebas iniciales variando la relación de pulpa y agua en el ensayo 1 .....	46
4.2.1.2	Pruebas iniciales variando la cantidad de levadura en el ensayo 2 .....	47
4.2.2	Valoración porcentual en la formulación de las pruebas preliminares para la elaboración de aguardiente de pulpa de banano .....	48
4.2.2.1	Estadístico de caja y bigote para las pruebas preliminares de aguardiente de banano .....	49
4.2.2.1.1	Estadístico de Tukey del atributo aroma para las pruebas preliminares de aguardiente de banano .....	50
4.2.2.1.2	Estadístico de Tukey del atributo grado alcohólico para las pruebas preliminares de aguardiente de banano .....	51
4.2.2.2	Control de los °Brix, pH y acidez en el proceso de fermentación alcohólica de las pruebas preliminares de aguardiente de pulpa de banano .....	51
4.2.2.2.1	Control de los °Brix en el proceso de fermentación alcohólica de las pruebas preliminares .....	52



4.2.2.2.2	Control de pH en el proceso de fermentación alcohólica de las pruebas preliminares .....	53
4.2.2.2.3	Control de acidez expresada en ácido cítrico en el proceso de fermentación alcohólica de las pruebas preliminares .....	54
4.2.3	Selección de la muestra preliminar ideal en función al tiempo de fermentación alcohólica.....	56
4.2.3.1	Estadístico de caja y bigote para la selección de la muestra ideal de aguardiente de banano .....	56
4.3	Diseño factorial $2^3$ en el proceso de fermentación alcohólica del aguardiente de banano .....	58
4.3.1	Variable respuesta del porcentaje de alcohol en el aguardiente de pulpa de banano .....	58
4.3.2	Variable respuesta del pH en el aguardiente de pulpa de banano .....	61
4.3.3	Variable respuesta acidez total en el aguardiente de pulpa de banano.....	64
4.4	Evaluación sensorial del diseño factorial $2^3$ de aguardiente de pulpa de banano.....	66
4.4.1	Evaluación sensorial del diseño factorial $2^3$ para el nivel inferior en función al tiempo de fermentación.....	67
4.4.1.1	Estadístico de caja y bigote del diseño factorial $2^3$ de aguardiente de pulpa de banano nivel inferior.....	67
4.4.1.2	Estadístico de Tukey del atributo grado alcohólico de aguardiente de pulpa de banano para el diseño factorial .....	69
4.4.2	Evaluación sensorial del diseño factorial para el nivel superior en función al tiempo de fermentación.....	69
4.4.2.1	Estadístico de caja y bigote del diseño factorial $2^3$ de aguardiente de pulpa de banano nivel superior.....	70
4.4.2.2	Estadístico de Tukey del atributo retrogusto de aguardiente de pulpa de banano para el diseño factorial .....	70
4.5	Evaluación sensorial para la selección de la muestra ideal final del aguardiente de pulpa de banano.....	71
4.5.1	Estadístico de caja y bigote para la selección de la muestra ideal final de aguardiente de banana.....	71
4.5.1.1	Estadístico de Tukey del atributo retrogusto de aguardiente de pulpa de banano para seleccionar la muestra final .....	72

4.5.1.2	Estadístico de Tukey del atributo grado alcohólico de aguardiente de pulpa de banano para seleccionar la muestra final .....	73
4.6	Caracterización del aguardiente de pulpa de banano.....	73
4.6.1	Análisis físico del aguardiente de pulpa de banano .....	73
4.6.2	Análisis fisicoquímico del aguardiente de pulpa de banano .....	74
4.7	Balance de materia para la elaboración de aguardiente de pulpa de banano	75
4.7.1	Balance de materia en la etapa de pelado de banano .....	79
4.7.2	Balance de materia en la etapa de escaldado de la pulpa de banano.....	81
4.7.3	Balance de materia en la etapa de enfriamiento de la pulpa de banano .....	83
4.7.4	Balance de materia en la etapa de triturado de la pulpa de banano.....	84
4.7.5	Balance de materia en la etapa de dilución de la pulpa de banano en agua .....	85
4.7.6	Balance de materia en la etapa de ajuste sólidos solubles de la pulpa diluida .....	86
4.7.7	Balance de materia en la etapa de mezclado .....	88
4.7.8	Balance de materia en la etapa de fermentado de la pulpa de banano .....	90
4.7.9	Balance de materia en la etapa de filtrado de la pulpa de banano.....	91
4.7.10	Balance de materia en la etapa de destilado de la pulpa de banano .....	93
4.7.11	Resumen general del balance de materia para la elaboración de aguardiente de pulpa de banano .....	95
4.8	Balance de energía para la elaboración de aguardiente de pulpa de banano	96
4.8.1	Ecuaciones para el balance de energía en el proceso de elaboración de aguardiente de pulpa de banano.....	96
4.8.2	Balance de energía en la etapa de escaldado de la pulpa de banano .....	98
4.8.3	Balance de energía en la etapa de destilación.....	100

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones.....	101
5.2	Recomendaciones .....	102

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Producción de banano en Bolivia por departamentos .....	1
Tabla 2.1	Análisis fisicoquímico de las bebidas alcohólicas destiladas .....	9
Tabla 2.2	Análisis fisicoquímico del aguardiente de frutas .....	10
Tabla 2.3	Composición taxonómica del banano .....	14
Tabla 2.4	Composición química del banano .....	15
Tabla 3.1	Niveles de variación de los factores en el proceso de fermentación alcohólica .....	40
Tabla 3.2	Matriz de variables para el proceso de fermentación alcohólica de la pulpa de banano .....	40
Tabla 4.1	Parámetros físicos de banano variedad Williams .....	43
Tabla 4.2	Parámetros fisicoquímicos banano variedad Williams .....	44
Tabla 4.3	Parámetros microbiológicos de banano variedad Williams .....	44
Tabla 4.4	Variación de formulación de pulpa de banano.....	46
Tabla 4.5	Estadístico Tukey para el atributo aroma de las pruebas preliminares .	50
Tabla 4.6	Estadístico Tukey para el atributo grado alcohólico de las pruebas preliminares.....	51
Tabla 4.7	Control de (°Brix) de las pruebas preliminares en el proceso de fermentación alcohólica .....	52
Tabla 4.8	Control del pH de las pruebas preliminares en el proceso de fermentación alcohólica .....	53
Tabla 4.9	Control de acidez (ácido cítrico) de las pruebas preliminares en el proceso de la fermentación alcohólica .....	55
Tabla 4.10	Dosificación y parámetros de control de la muestra ideal de aguardiente de pulpa de banano.....	58
Tabla 4.11	Análisis de varianza de la variable respuesta de grado alcohólico.....	59
Tabla 4.12	Análisis de varianza de la variable respuesta de pH.....	61
Tabla 4.13	Análisis de varianza de la variable respuesta acidez total .....	64
Tabla 4.14	Estadístico Tukey para el atributo aroma del diseño factorial .....	68
Tabla 4.15	Estadístico Tukey para el atributo grado alcohólico del diseño factorial .....	69
Tabla 4.16	Estadístico Tukey para el atributo retrogusto del diseño factorial .....	71

Tabla 4.17	Estadístico Tukey para el atributo retrogusto para seleccionar la muestra final.....	72
Tabla 4.18	Estadístico Tukey para el atributo grado alcohólico para seleccionar la muestra final.....	73
Tabla 4.19	Análisis físico del Aguardiente de pulpa de banano.....	74
Tabla 4.20	Análisis fisicoquímico del Aguardiente de pulpa de banano.....	74
Tabla 4.21	Capacidades caloríficas en función a la composición de los alimentos	97
Tabla 4.22	Resultados de la composición fisicoquímica de banano.....	97
Tabla 4.23	Capacidad calorífica del agua, acero inoxidable y aluminio .....	98
Tabla 4.24	Entalpías de vaporización del agua saturada .....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1:	Clasificación de bebidas alcohólicas.....	7
Figura 2.2:	Clasificación de bebidas alcohólicas destiladas según su graduación alcohólica .....	7
Figura 2.3:	Tipos de aguardientes simples .....	8
Figura 2.4:	Clasificación de las especies de banano y plátano .....	14
Figura 3.1:	Métodos y técnicas del análisis físico de banano variedad Williams ..	27
Figura 3.2:	Métodos y técnicas del análisis fisicoquímico y microbiológico de banano variedad Williams.....	27
Figura 3.3:	Métodos y técnicas del análisis físico del aguardiente de pulpa de banano variedad Williams.....	28
Figura 3.4:	Métodos y técnicas del análisis fisicoquímico del aguardiente de pulpa de banano variedad Williams .....	28
Figura 3.5:	Equipos utilizados en la obtención del producto .....	29
Figura 3.6:	Instrumentos de laboratorio .....	29
Figura 3.7:	Insumos alimentarios .....	31
Figura 3.8:	Diagrama de flujo para el proceso de elaboración de aguardiente de banano variedad Williams.....	32
Figura 3.9:	Banano .....	33
Figura 3.10:	Pelado.....	33
Figura 3.11:	Escaldado .....	33
Figura 3.12:	Enfriamiento.....	34
Figura 3.13:	Triturado.....	34
Figura 3.14:	Dilución de pulpa: agua .....	34
Figura 3.15:	Ajuste de los sólidos solubles en la pulpa diluida.....	35
Figura 3.16:	Activación de la levadura.....	35
Figura 0.17:	Mezclado.....	35
Figura 3.18:	Fermentación alcohólica .....	36
Figura 3.19:	Filtración de la pulpa fermentada.....	36
Figura 3.20:	Destilación. ....	36
Figura 3.21:	Envasado y almacenamiento.....	37
Figura 3.22:	Evaluaciones sensoriales de aguardiente de pulpa de banano. ....	38
Figura 4.1:	Muestra de banano variedad Williams.....	42

Figura 4.2:	Pruebas iniciales para la obtención de aguardiente de banano .....	45
Figura 4.3:	Formulación porcentual variando la relación de pulpa y agua .....	46
Figura 4.4:	Valoración subjetiva de pruebas iniciales variando la relación de pulpa y agua .....	47
Figura 4.5:	Formulación porcentual variando la cantidad de levadura .....	48
Figura 4.6:	Valoración subjetiva de pruebas iniciales variando la cantidad de levadura .....	48
Figura 4.7:	Pruebas iniciales para la obtención de aguardiente de banano .....	49
Figura 4.8:	Caja y bigote para las pruebas preliminares de aguardiente de banana .....	50
Figura 4.9:	Control de los °Brix en el proceso de fermentación alcohólica.....	52
Figura 4.10:	Control de pH en el proceso de fermentación alcohólica .....	54
Figura 4.11:	Control de acidez (ácido cítrico) en el proceso de fermentación alcohólica .....	55
Figura 4.12:	Caja y bigote para la selección de la prueba ideal de aguardiente de pulpa de banano .....	57
Figura 4.13:	Efectos principales para el grado alcoholico.....	59
Figura 4.14:	Intereccion para el grado alcoholico .....	60
Figura 4.15:	Diagrama de pareto para el grado alcoholico.....	61
Figura 4.16:	Efectos principales para pH .....	62
Figura 4.17:	Interaccion para pH.....	63
Figura 4.18:	Diagrama de pareto para pH .....	63
Figura 4.19:	Efectos principales de pareto para acidez total .....	65
Figura 4.20:	Intereccion para acidez total .....	65
Figura 4.21:	Diagrama de pareto para acidez total.....	66
Figura 4.22:	Evaluación sensorial del diseño factorial $2^3$ para las variables independientes.....	67
Figura 4.23:	Dosificacion porcentual del diseño factorial para el nivel inferior .....	67
Figura 4.24:	Estadístico de caja y bigote del diseño factorial para el nivel inferior	68
Figura 4.25:	Dosificacion porcentual del diseño factorial para el nivel superior.....	69
Figura 4.26:	Estadístico de caja y bigote del diseño factorial para el nivel superior	70
Figura 4.27:	Estadístico de caja y bigote para seleccionar la muestra ideal final ....	72
Figura 4.28:	Balance de materia en la elaboración de aguardiente de banano .....	75
Figura 4.29:	Balance de materia en la etapa de pelado .....	80

Figura 4.30:	Balance de materia en la etapa de escaldado .....	81
Figura 4.31:	Balance de materia en la etapa de enfriamiento.....	83
Figura 4.32:	Balance de materia en la etapa de triturado .....	84
Figura 4.33:	Balance de materia en la etapa de dilución pulpa: agua .....	85
Figura 4.34:	Balance de materia en la etapa de ajuste de solidos solubles.....	87
Figura 4.35:	Balance de materia en la etapa de mezclado.....	88
Figura 4.36:	Balance de materia en la etapa de fermentación .....	90
Figura 4.37:	Balance de materia en la etapa de filtrado .....	91
Figura 4.38:	Balance de materia en la etapa de destilado.....	93
Figura 4.39:	Resumen general del balance de materia en el proceso de elaboración de aguardiente de pulpa de banano .....	95
Figura 4.40:	Balance de energía en la etapa de escaldado.....	98
Figura 4.41:	Balance de energía en la etapa de destilado.....	100

### **ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro 3.1	Operacionalización de las variables para la obtención de aguardiente de pulpa de banano .....	41
------------	--	----