

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE JARABE DE GLUCOSA A PARTIR DE ALMIDÓN DE
AJIPA (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.)) PRODUCIDO EN EL DEPARTAMENTO
DE TARIJA A ESCALA LABORATORIO**

Por:

MARIANA AYELÉN AGUILAR ESPOSO

**Modalidad de graduación (Investigación Aplicada) presentado a
consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL
SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Química.**

Diciembre de 2021

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi familia, quienes siempre fueron el pilar fundamental para realizar este sueño de poder titularme.

ÍNDICE

	Página
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Pensamiento.....	iv
Abreviatura.....	v
Sigla.....	vi
Resumen.....	vii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo General.....	4
1.2.2. Objetivos Específicos.....	4
1.3. Justificación del Proyecto.....	5
1.3.1. Justificación Social.....	5
1.3.2. Justificación Técnica.....	6
1.3.3. Justificación Económica.....	6
1.3.4. Justificación Ambiental.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

	Página
2.1. Generalidades de la Ajipa (<i>Pachyrhizus ahipa</i> (Wedd.)).....	8
2.1.1. Definición y características de la Ajipa.....	8

2.1.2.	Taxonomía de la Ajipa.....	9
2.1.3.	Descripción botánica de la Ajipa.....	10
2.1.3.1.	Inflorescencia.....	10
2.1.3.2.	Fruto.....	10
2.1.3.3.	Raíz tuberosa.....	11
2.2.2.	Composición química y contenido nutricional.....	12
2.1.4.	Utilidades de la Ajipa.....	12
2.2.	Almidón.....	13
2.2.1.	Aspectos generales.....	13
2.2.2.	Composición química.....	14
2.2.3.	Estructura.....	14
2.2.3.1.	Amilosa.....	14
2.2.3.2.	Amilopectina.....	15
2.2.4.	Propiedades del Almidón.....	16
2.2.4.1	Propiedades Funcionales.....	16
2.2.4.1.1.	Tamaño del granulo.....	17
2.2.4.1.2.	Temperatura y pH.....	17
2.2.4.2.	Propiedades Fisicoquímicas.....	17
2.2.4.2.1.	Gelatinización.....	17
2.2.5.	Usos industriales del Almidón.....	18
2.3.	Almidón en la Ajipa (<i>Pachyrhizus ahipa</i> (Wedd.)).....	19
2.4.	Hidrólisis.....	20
2.5.	Enzimas.....	22

2.5.1.	Enzimas Carbohidrasas.....	23
2.5.1.1.	Alfa-amilasa (α -amilasa).....	23
2.5.1.2.	B \rightarrow amilasas.....	24
2.5.1.3.	Glucoamilasa o Amiloglusidasa.....	25
2.6.	Jarabe de Glucosa.....	27
2.6.1.	Definición.....	27
2.6.2.	Caracterización fisicoquímica y sensorial.....	27
2.6.3.	Industrialización de Jarabes.....	29
2.6.3.1.	Industrias Alimenticias.....	30
2.6.3.2.	Industrias no Alimenticias.....	31
2.7.	Procesos de obtención de jarabe de glucosa a partir de Almidón.....	32
2.7.1.	Hidrólisis acida del Almidón.....	33
2.7.2.	Hidrólisis enzimática del Almidón.....	34
2.7.2.1.	Gelatinización.....	34
2.7.2.2.	Licuefacción.....	35
2.7.2.3.	Sacarificación.....	36
2.8.	Diferencia de los métodos aplicados en almidón.....	36
2.9.	Análisis fisicoquímico en los jarabes de glucosa.....	37
2.9.1.	Azúcares Reductores.....	37
2.9.2.	Equivalente de Dextrosa.....	38
2.10.	Influencia de las variables en la obtención de Jarabes de Glucosa.....	39
2.10.1.	Tiempo de reacción sustrato/enzimas.....	40
2.10.2.	Efectos de la temperatura en la concentración del sustrato.....	40

2.10.3.	Concentración de azúcares en el jarabe.....	40
2.10.4.	Importancia de los ° Brix para evitar la fermentación.....	40
2.11.	Normas de calidad del jarabe de glucosa.....	41
2.11.1.	Normativa Boliviana IBNORCA.....	41
2.11.1.1.	Requisitos organolépticos.....	41
2.11.1.2.	Requisitos fisicoquímicos.....	42
2.11.1.3.	Requisitos microbiológicos.....	43
2.11.2.	Normativa internacional Mexicana.....	43
2.11.2.1.	Requisitos Fisicoquímicos.....	43
2.11.3.	Normativa internacional Peruana.....	44
2.12.	Teoría para una evaluación organoléptica y análisis estadístico para la caracterización de un jarabe alimenticio.....	45

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

	Página	
3.1.	Caracterización de la materia prima Ajipa (<i>Pachyrhizus ahipa</i> (<i>Wedd.</i>)).....	47
3.1.1.	Estructura física.....	47
3.1.2.	Parámetros organolépticos.....	48
3.1.3.	Propiedades fisicoquímicas.....	49
3.2.	Selección del método de investigación.....	50
3.3.	Descripción del método de investigación.....	55
3.4.	Diseño Experimental para la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de ajipa (<i>Pachyrhizus ahipa</i> (<i>Wedd.</i>)).....	56

3.4.1.	Variables Independientes o Factores de estudio.....	57
3.4.1.1.	Cantidad de enzima (glucoamilasa).....	57
3.3.1.2.	Temperatura de sacarificación.....	57
3.4.1.3.	Tiempo de concentración de jarabe de glucosa.....	57
3.4.2.	Variables dependientes o variables de control.....	58
3.4.3.	Diseño factorial.....	59
3.4.3.1.	Desarrollo de las pruebas del Diseño factorial 2^k	59
3.4.3.2.	Matriz de Diseño.....	60
3.4.3.3.	Rutas de experimentacion.....	61
3.4.3.4.	Combinaciones de las rutas de experimentación.....	62
3.5.	Equipos, Materiales, Insumos empleados para desarrollar el diseño experimental.....	64
3.5.1.	Equipos de Laboratorio.....	64
3.5.2.	Materiales.....	66
3.5.3.	Reactivos e Insumos.....	68
3.6.	Elaboración de jarabe de glucosa por el método de Hidrólisis Enzimática.....	69
3.6.1.	Diagrama de Bloques.....	69
3.6.2.	Descripción del diagrama de boques para obtener Jarabe de Glucosa.....	71
3.6.2.1.	Selección y pesado de raíces.....	71
3.6.2.2.	Lavado.....	71
3.6.2.3.	Desinfectado.....	71

3.6.2.4.	Pelado.....	72
3.6.2.5.	Cortado y triturado.....	72
3.6.2.6.	Sedimentado.....	72
3.6.2.7.	Filtrado.....	72
3.6.2.8.	Secado.....	72
3.6.2.9.	Molienda y tamizado de almidón.....	72
3.6.2.10.	Almidón obtenido.....	72
3.6.2.11.	Hidrólisis Enzimática: Baño María.....	73
3.6.2.11.1.	Gelatinización.....	73
3.6.2.11.2.	Licuefacción.....	73
3.6.2.11.3.	Sacarificación.....	73
3.6.2.12.	Filtración.....	73
3.6.2.13.	Concentración.....	73
3.6.2.14.	Jarabe de glucosa.....	74
3.7.	Evaluación sensorial del producto obtenido.....	74
3.8.	Balance de Materia y Energía.....	76
3.8.1.	Balance de Materia.....	77
3.8.1.1.	Balance de materia en la etapa de lavado.....	78
3.8.1.2.	Balance de materia en la etapa de pelado.....	79
3.8.1.3.	Balance de materia en la etapa de cortado y triturado.....	79
3.8.1.4.	Balance de materia en la etapa de filtrado.....	80
3.8.1.5.	Balance de materia en la etapa de decantado.....	81
3.8.1.6.	Balance de materia en la etapa de secado.....	81

3.8.1.7.	Balance de materia en la etapa de molienda y tamizado.....	82
3.8.1.8.	Balance de materia en la etapa de Hidrólisis (Baño María).....	83
3.8.1.8.	Balance de materia en la etapa de filtración.....	83
3.8.1.9.	Balance de materia en la etapa de concentración.....	84
3.8.2.	Balance de Energia.....	85
3.8.2.1.	Balance de energía en secado.....	85
3.8.2.2.	Balance de energía para Hidrólisis.....	87
3.8.2.3.	Balance de energía en concentrado.....	88

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

	Página	
4.1.	Caracterización de materia prima ajipa <i>Pachiryzus ahipa</i> (Wedd.).....	91
4.2.	Resultados de las rutas de la experimentación.....	92
4.2.1.	Primera ruta de la experimentación.....	92
4.2.2.	Segunda ruta de la experimentación.....	94
4.3.	Análisis Físicoquímico de jarabes concentrados.....	96
4.4.	Análisis Físico de jarabes concentrados.....	97
4.4.1.	Cuantificación de pH a 18 ° C.....	97
4.4.2.	Contenido de ° Brix.....	98
4.5.	Resultados Estadísticos del Diseño Factorial.....	99
4.5.1.	Análisis de Varianza Univariante.....	100
4.5.1.1.	Pruebas de los efectos inter-sujetos.....	101
4.6.	Control de calidad del producto obtenido (jarabe de glucosa).....	104

4.6.1.	Análisis Fisicoquímico del producto final.....	104
4.6.2.	Análisis Microbiológico del producto final.....	105
4.6.3.	Análisis Físico del producto final.....	106
4.7.	Rendimiento porcentual del método de obtención.....	106
4.8.	Análisis de la Evaluación Estadística del producto final.....	106
4.8.1.	Escala de calificación de los parámetros organolépticos.....	107

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página	
5.1.	Conclusiones.....	111
5.2.	Recomendaciones.....	112

BIBLIOGRAFÍA

Citas Bibliográficas.....	113
---------------------------	-----

ANEXOS

Anexos.....	120
-------------	-----

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro I-1 Cultivo y producción de la ajipa.....	2
Cuadro II-2 Descripción taxonómica de la ajipa.....	9
Cuadro II-3 Características sensoriales del jarabe de glucosa.....	28
Cuadro II-4 Características fisicoquímicas del jarabe de glucosa.....	29
Cuadro II-5 Clasificación de los jarabes de glucosa según el ED.....	39
Cuadro III-1 Evaluación de los métodos para la obtención de jarabe de glucosa.....	51

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfica IV-1 Residuo total para respuesta	103
Gráfica IV-2 Gráfica de Pareto.....	104
Gráfica IV-3 Escala de calificaciones de los parámetros organolépticos.....	108
Gráfica IV-4 Resultados de la Evaluación Organoléptica.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla II-1 Composición principal de ajipa (<i>P. ahipa</i> (Wedd.)).....	12
Tabla II-2 Propiedades organolépticas del almidón.....	19
Tabla II-3 Especificaciones de la α -amilasa BAN 480L.....	24

Tabla II-4	Especificaciones de la enzima glucoamilasa Dextrozyme.....	26
Tabla II-5	Condiciones organolépticas para jarabes según IBNORCA.....	41
Tabla II-6	Condiciones fisicoquímicas para jarabes según IBNORCA.....	42
Tabla II-7	Condiciones microbiológicas para jarabes según IBNORCA.....	43
Tabla II-8	Condiciones fisicoquímicas para jarabes según NMX-F169-1984.....	44
Tabla II-9	Condiciones fisicoquímicas y organolépticas de los jarabes.....	44
Tabla III-1	Propiedades de la ajipa.....	47
Tabla III-2	Propiedades organolépticas de la raíz de ajipa.....	48
Tabla III-3	Propiedades fisicoquímicas de la raíz de ajipa.....	49
Tabla III-4	Escala de calificación por puntuación del 0 a 10.....	50
Tabla III-5	Evaluación del método para la obtención de jarabe de glucosa.....	54
Tabla III-6	Simbología de los factores de estudio.....	58
Tabla III-7	Simbología de las variables de control.....	59
Tabla III-8	Factores de Estudio.....	60
Tabla III-9	Niveles de variación de factores.....	60
Tabla III-10	Niveles de variación de factores de estudio.....	61
Tabla III-11	Primera ruta de la experimentación.....	63
Tabla III-12	Segunda ruta de la experimentación.....	64
Tabla III-13	Equipos empleados en la obtención de jarabe de glucosa.....	65
Tabla III-14	Materiales de Laboratorio.....	67
Tabla III-15	Reactivos e Insumos de Laboratorio.....	69
Tabla III-16	Escala de calificación de las propiedades organolépticas del producto final (Jarabe de glucosa).....	75

Tabla III-17	Valor porcentual de los atributos evaluados.....	76
Tabla III-18	Datos experimentales del proceso de obtención de jarabe de glucosa.....	78
Tabla III-19	Datos de la etapa de secado de almidón.....	86
Tabla III-18	Datos de la etapa de Hidrolisis de almidón en Baño María.....	88
Tabla III-19	Datos de la etapa de concentración en rota evaporador.....	89
Tabla IV-1	Análisis fisicoquímico de la raíz de ajipa <i>Pachiryzus ahipa</i> (Wedd.).....	92
Tabla IV-2	Características de la raíz de ajipa <i>Pachiryzus ahipa</i> (Wedd.).....	93
Tabla IV-3	Resultados de la primera ruta de la experimentación.....	94
Tabla IV-4	Resultados de la segunda ruta de la experimentación.....	96
Tabla IV-5	Análisis fisicoquímico de azúcares reductores de jarabe de glucosa.....	97
Tabla IV-6	Replica de Análisis fisicoquímico de azúcares reductores.....	98
Tabla IV-7	Resultados fisicoquímicos de jarabe de glucosa.....	99
Tabla IV-8	Resultados de contenido de ° Brix de jarabe de glucosa.....	100
Tabla IV-9	Factores inter-sujetos.....	101
Tabla IV-10	Variable dependiente: Cantidad de enzima-glucoamilasa.....	102
Tabla IV-11	ANOVA para la verificación de cantidad de enzima (glucoamilasa).....	103
Tabla IV-12	Resultados de análisis fisicoquímicos de jarabe de glucosa.....	105
Tabla IV-13	Resultados de análisis microbiológico de jarabe de glucosa.....	105
Tabla IV-14	Resultados de análisis físicos de jarabe de glucosa.....	106
Tabla III-15	Resultados de rendimiento porcentual.....	106

Tabla IV-16	Valor porcentual de los atributos a ser evaluados.....	107
Tabla IV-17	Resultados de escala para cada parámetro.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página	
Fig. II-1	Planta de ajipa (<i>Pachyrhizus ahipa</i> (Wedd.)).....	8
Fig. II-2	Presentación de la ajipa.....	10
Fig. II-3	Vainas de ajipa (<i>Pachyrhizus ahipa</i> (Wedd.)).....	11
Fig. II-4	Representación de raíz de ajipa.....	11
Fig. II-5	Estructura química de la Amilosa.....	15
Fig. II-6	Estructura química de la Amilopectina	16
Fig. II-7	Representación esquemática de cambios en el almidón durante la Hidrólisis.....	21
Fig. II-8	Hidrólisis del almidón con la enzima α -amilasa.....	23
Fig. II-9	Hidrólisis del almidón con la enzima glucoamilasa	26
Fig. II-10	Proyección de Fícher de los azúcares reductores.....	38
Fig. III-1	Balance de Materia y Energía.....	77
Fig. III-2	Bloque de lavado de ajipa	79
Fig. III-3	Bloque de pelado de ajipa.....	80
Fig. III-4	Bloque de cortado y triturado de ajipa.....	80
Fig. III-5	Bloque de filtrado de lechada (sumo de ajipa).....	81
Fig. III-6	Decantación de lechada de almidón.....	82
Fig. III-7	Secado de almidón.....	82

Fig. III-8	Molienda y tamizado de almidón seco.....	83
Fig. III-9	Hidrólisis.....	84
Fig. III-10	Filtración de sustrato (solución de lechada de almidón y enzimas).....	85
Fig. III-11	Concentración de sustrato.....	85
Fig. III-12	Consumo de energía en secado de almidón.....	87
Fig. III-13	Hidrólisis de almidón.....	88
Fig. III-13.1	Concentración de sustrato.....	90
Fig. III-13.2	Concentración de sustrato.....	91

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

	Página
Diagrama II-1 Hidrólisis ácida y enzimática para la producción de jarabe de glucosa a partir de almidón.....	32
Diagrama III-1 Proceso de obtención de jarabe de glucosa por el método enzimático.....	55
Diagrama III-2 Diagrama de las rutas de los factores experimentales.....	63
Diagrama III-3 Diagrama de bloques para la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de ajipa.....	71