

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA
“PROYECTO DE GRADO”



**“OBTENCIÓN DE JARABE GLUCOSADO MEDIANTE
HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA A PARTIR DE ALMIDÓN DE LA
PAPA DESIREE (*Solanum tuberosum L.*) A ESCALA
LABORATORIO EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA”**

Por:

GIMENA ROSELI ROMERO ORTEGA

**Proyecto de grado, 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.**

Octubre de 2023

TARIJA – BOLIVIA

VºBº

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

DECANO

Facultad de Ciencias y Tecnología

M.Sc. Lic. Gustavo Succi Aguirre

VIDECANO

Facultad de Ciencias y Tecnología

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Héctor Francisco Quiroga Torrez

Ing. Adrian W. Daroca Aparicio

Ing. Ricardo Alvarez Barriga

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

DEDICATORIA

A mi mamita Cándida Mendieta que es el pilar y apoyo incondicional en mi vida, sin ella esto no fuese posible.

A mi ángel, mamita Udelia Ortega (+), que es mi guía desde el cielo y estará siempre en mi corazón.

A mis tíos, primos y demás familiares por todo su apoyo que me brindaron.

AGRADECIMIENTO

A Dios por la salud, fortaleza, guía y no dejarme desistir en los momentos difíciles.

A mi mamita Cándida Mendieta por todos sus esfuerzos y sacrificios que hizo a lo largo de mi formación y ser ese apoyo económico fundamental para culminar mis estudios.

A mis tíos y primos que siempre estuvieron en los momentos que necesite y por el impulso a seguir adelante.

A mi mejor amiga Mildred C. y demás amigos, por siempre estar para mí y por todo su apoyo. Gracias.

Nunca pienses en el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

ALBERT EINSTEIN

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES.....	1
OBJETIVOS	2
Objetivo general	2
Objetivo específico.....	3
JUSTIFICACIÓN	3
Justificación económica	4
Justificación tecnológica	5
Justificación social	6
Justificación ambiental.....	6

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1 Jarabe de Glucosa	7
1.1.1 Caracterización fisicoquímica y sensorial	7
1.2 Papa.....	8
1.2.1 Taxonomía	9
1.2.2 Descripción morfológica.....	9
1.2.2.1 Germinación.....	10
1.2.2.2 Raíces	10
1.2.2.3 Tallos.....	11
1.2.2.4 Estolones	11
1.2.2.5 Tubérculos.....	11
1.2.2.6 Rizomas.....	11

1.2.2.7	Hojas	12
1.2.2.8	Flores.....	12
1.2.2.9	Brotes	12
1.2.2.10	Fruto, semilla	12
1.2.3	Descripción de la variedad Desirée.....	13
1.2.3.1	Característica de la planta	13
1.2.3.2	Características del tubérculo	14
1.2.4	Composición química y valor nutricional de la papa.....	14
1.3	Almidón	15
1.3.1	Almidón de papa.....	15
1.3.2	Composición química del almidón	17
1.3.3	Estructura química del almidón	17
1.3.3.1	Amilosa.....	18
1.3.3.2	Amilopectina.....	19
1.3.4	Características de algunos almidones comunes	20
1.3.5	Diferencias del almidón según su origen	20
1.3.6	Propiedades del Almidón.....	22
1.3.6.1	Propiedades Fisicoquímicas.....	22
1.3.6.2	Propiedades Funcionales.....	24
1.3.7	Temperatura de gelatinización de almidones de tubérculos	27
1.4	Hidrólisis del almidón.....	28
1.4.1	Hidrólisis ácida del almidón	29
1.4.2	Hidrólisis enzimática del almidón	30
1.4.2.1	Gelatinización	30

1.4.2.2	Licuefacción.....	31
1.4.2.3	Sacarificación.....	32
1.4.3	Enzimas.....	33
1.4.3.1	Alfa-amilasa (α -amilasa).....	34
1.4.3.2	Glucoamilasa o Amiloglucosidasa (AMG).....	34
1.4.4	Factores que influyen en la cinética de la hidrólisis enzimática.....	35
1.4.4.1	Efecto del pH	35
1.4.4.2	Efecto de la temperatura	36
1.4.4.3	Tiempo de reacción sustrato/enzimas	37
1.4.4.4	Concentración de sustrato.....	37
1.4.4.5	Concentración de enzima.....	37
1.4.5	Análisis fisicoquímico en los jarabes de glucosa.....	38
1.4.5.1	Azúcares Reductores.....	38
1.4.5.2	Grados Brix.....	39
1.4.6	Normas de calidad de jarabes alimenticios.....	40
1.4.6.1	Normativa Boliviana IBNORCA.....	40
1.4.6.2	Norma general de jarabes en México.....	41
1.4.6.3	Evaluación sensorial de los alimentos	42

CAPITULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1	Caracterización de la materia prima	43
2.2	Caracterización del producto terminado	44
2.3	Selección del método en el proceso de hidrólisis para la obtención de jarabe glucosado a partir del almidón de papa.....	45

2.4	Diseño experimental para el proceso de obtención de jarabe glucosado.....	48
2.4.1	Diseño factorial en la etapa de sacarificación para el proceso de hidrólisis enzimática	48
2.5	Procedimientos y técnicas para la obtención de los resultados.....	51
2.5.1	Equipos, materiales de laboratorio, utensilios e insumos utilizados para obtener jarabe glucosado.....	51
2.5.1.1	Equipos a utilizar en el proceso de obtención de jarabe glucosado	51
2.5.1.2	Materiales de laboratorio	55
2.5.1.3	Utensilios e insumos utilizados en proceso para la obtención de jarabe glucosado	58
2.5.2	Proceso para la obtención de jarabe glucosado mediante hidrólisis enzimática a partir de almidón de papa.....	61
2.5.3	Descripción del proceso para obtener jarabe glucosado mediante hidrólisis enzimática a partir de almidón de papa.....	63
2.5.3.1	Selección de la materia prima (papa).....	63
2.5.3.2	Pesado de la papa	63
2.5.3.3	Lavado de la papa con cáscara.....	64
2.5.3.4	Pelado y lavado de la papa.....	64
2.5.3.5	Triturado de la papa	65
2.5.3.6	Filtrado y lavado del zumo de papa	65
2.5.3.7	Sedimentado del almidón.....	66
2.5.3.8	Secado del almidón	67
2.5.3.9	Molienda del almidón	67
2.5.3.10	Tamizado de almidón.....	68
2.5.3.11	Almidón obtenido	69

2.5.3.12 Preparar la solución.....	69
2.5.3.13 Gelatinización	70
2.5.3.14 Licuefacción.....	70
2.5.3.15 Sacarificación.....	71
2.5.3.16 Filtración	73
2.5.3.17 Concentración	73
2.5.3.18 Jarabe glucosado	74

CAPITULO III

RESULTADO Y DISCUSION

3.1	Características de la materia prima	75
3.2	Secado del almidón de papa.....	76
3.3	Resultados del proceso de hidrólisis enzimática.....	77
3.3.1	Análisis estadístico del diseño factorial realizado en la etapa de sacarificación del proceso de hidrólisis enzimática	78
3.3.2	Análisis de regresión lineal múltiple en la etapa de sacarificación del proceso de hidrólisis enzimática.....	80
3.4	Balance de materia para la obtención de jarabe glucosado.....	81
3.4.1	Balance de materia en el acondicionamiento de la materia prima.....	81
3.4.1.1	Balance de materia en la etapa de lavado de papa con cáscara	83
3.4.1.2	Balance de materia en la etapa de pelado de la papa	84
3.4.1.3	Balance de materia en la etapa de lavado de la papa comestible.....	86
3.4.1.4	Balance de materia en la etapa de triturado de la papa comestible.....	88
3.4.1.5	Balance de materia en la etapa de filtrado del zumo de papa	90
3.4.1.6	Balance de materia en la etapa de lavado 1 del almidón	91

3.4.1.7	Balance de materia en la etapa de lavado 2 del almidón	93
3.4.1.8	Balance de materia en la etapa de lavado 3 del almidón	95
3.4.1.9	Balance de materia en la etapa de secado del almidón de papa.....	97
3.4.1.10	Balance de materia en la etapa de molienda del almidón de papa	101
3.4.1.11	Balance de materia en la etapa de tamizado del almidón de papa	102
3.4.2	Resumen general de balance de materia en el proceso de acondicionamiento de la materia prima.....	105
3.4.3	Balance de materia en la hidrólisis enzimática	106
3.4.3.1	Balance de materia en la etapa de preparación de la solución de almidón .	106
3.4.3.2	Balance de materia en la etapa de gelatinización del almidón de papa	108
3.4.3.3	Balance de materia en la etapa de licuefacción del almidón de papa	109
3.4.3.4	Balance de materia en la etapa de sacarificación del almidón de papa	111
3.4.3.5	Balance de materia en la etapa de filtración	113
3.4.3.6	Balance de materia en la etapa de concentración.....	114
3.4.4	Determinación del rendimiento.....	116
3.4.5	Resumen general del balance de materia en el proceso de hidrólisis enzimática para la obtención de jarabe glucosado	117
3.5	Balance de energía para la obtención de jarabe glucosado.....	117
3.5.1	Balance de energía en la etapa de secado del almidón de papa	119
3.5.2	Balance de energía en la etapa de gelatinización	125
3.5.3	Balance de energía en el proceso de licuefacción.....	127
3.5.4	Balance de energía en el proceso de sacarificación del almidón	130
3.5.5	Balance de energía en el proceso de concentración del jarabe	133
3.6	Energía empleada para cada equipo utilizado en el proceso para la obtención de jarabe glucosado.....	135

3.7	Caracterización del producto obtenido	136
3.8	Evaluación sensorial del producto obtenido	138
3.8.1	Resultado de la prueba organoléptica	139

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	Conclusiones	141
4.2	Recomendaciones	143
BIBLIOGRAFÍA		144
ANEXOS		152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1: Características fisicoquímicas del jarabe de glucosa	7
Tabla I-2: Características sensoriales del jarabe de glucosa	8
Tabla I-3: Taxonomía de la papa	9
Tabla I-4: Composición química y contenido nutricional de la papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) en su estado fresco	15
Tabla I-5: Características de algunos almidones comunes	20
Tabla I-6: Composición química de los almidones de yuca, camote y papa	22
Tabla I-7: Características fisicoquímicas de los almidones de yuca, camote y papa..	22
Tabla I-8: Temperatura de gelatinización de distintos almidones	28
Tabla I-9: Condiciones organolépticas para jarabes según IBNORCA	40
Tabla I-10: Condiciones fisicoquímicas para jarabes según IBNORCA	41
Tabla I-11: Condiciones microbiológicas para jarabes según IBNORCA.....	41
Tabla I-12: Especificaciones sensoriales de jarabes en México	42
Tabla I-13: Especificaciones químicas y física de los jarabes	42
Tabla II-1: Parámetros y métodos fisicoquímico para el análisis del almidón de papa	43
Tabla II-2: Parámetros y métodos microbiológico del almidón de papa	44
Tabla II-3: Parámetros y métodos fisicoquímico del producto terminado.....	44
Tabla II-4: Parámetros y métodos microbiológico del producto terminado	45
Tabla II-5: Escala de calificación Likert en el proceso de hidrólisis	45
Tabla II-6: Valores de ponderación para la selección del método de la hidrólisis	46
Tabla II-7: Matriz de decisión para el método (proceso tecnológico) de obtención de jarabe glucosado a partir de almidón de papa	47
Tabla II-8: Niveles de variación de los factores en la etapa de sacarificación del proceso de hidrólisis enzimática.....	49
Tabla II-9: Matriz de diseño experimental en la etapa de sacarificación.....	50
Tabla II-10: Matriz con los datos del diseño experimental en la etapa de sacarificación del proceso de hidrolisis enzimática.....	50

Tabla II-11: Equipos utilizados en el proceso de obtención de jarabe glucosado mediante hidrólisis enzimática a partir de almidón de papa	51
Tabla II-12: Materiales de laboratorio	55
Tabla II-13: Utensilios utilizados en el proceso de obtención de jarabe glucosado mediante hidrólisis enzimática	58
Tabla II-14: Insumos utilizados en el proceso de obtención de jarabe glucosado mediante hidrólisis enzimática	59
Tabla III-1: Análisis fisicoquímico del almidón de papa.....	75
Tabla III-2: Análisis microbiológico del almidón de papa	76
Tabla III-3: Control de humedad a T=60°C, t=480 min (8 horas).....	76
Tabla III-4: Resultados del porcentaje de azúcares reductores en la etapa de sacarificación del proceso de hidrólisis enzimática	77
Tabla III-5: Matriz de diseño experimental para la etapa de sacarificación del proceso de hidrólisis enzimática.....	79
Tabla III-6: Análisis de varianza en la etapa de sacarificación del proceso de hidrólisis enzimática.....	80
Tabla III-7: Coeficiente del modelo	81
Tabla III-8: Propiedades psicométricas del aire.....	100
Tabla III-9: Datos de la composición fisicoquímica del almidón de papa.....	124
Tabla III-10: Potencia y tiempo de operación para cada equipo empleado	135
Tabla III-11: Energía consumida para cada equipo utilizado.	136
Tabla III-12: Resultado de la composición fisicoquímica del jarabe glucosado	137
Tabla III-13: Resultado del análisis microbiológico del jarabe glucosado	137
Tabla III-14: Escala hedónica	138
Tabla III-15: Valor porcentual de los atributos evaluados.....	138
Tabla III-16: Resultados de la evaluación organoléptica.....	139
Tabla III-17: Resultado de la prueba organoléptica para cada atributo	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I-1 Papa variedad Desirée	10
Figura I-2 Barrido de micrografías electrónicas (SEM). a) La presencia de protuberancias en algunos gránulos de almidón de papa. b) La fragmentación de la superficie en algunos gránulos de almidón de papa.....	16
Figura I-3 Estructura química de la amilosa	19
Figura I-4 Estructura química de la Amilopectina.....	20
Figura I-5 Cinética de la verificación de la gelatinización del almidón.	31
Figura I-6 Efecto del pH en la cinética de la hidrolisis enzimática.	36
Figura I-7 Temperatura optima de la actividad enzimática.	36
Figura I-8 Representación de estructura química de azúcares reductores.	38
Figura I-9 Proyección de Fischer de los azúcares reductores.	39
Figura II-1 Diagrama de bloques del proceso experimental para obtener jarabe glucosado mediante hidrolisis enzimática de la papa.....	62
Figura II-2 Selección de la papa.....	63
Figura II-3 Pesado de la papa.....	63
Figura II-4 Lavado de la papa	64
Figura II-5 Pelado de la papa	64
Figura II-6 Triturado de la papa	65
Figura II-7 Proceso de lavado de almidón de papa.....	66
Figura II-8 Sedimentación del almidón de papa	66
Figura II-9 Secado del almidón de papa	67
Figura II-10 Molienda del almidón de papa.....	67
Figura II-11 Tamizado del almidón de papa seco molido.....	68
Figura II-12 Almidón de papa obtenido.....	69
Figura II-13 Dilución del almidón seco	69
Figura II-14 Gelatinización del almidón seco.....	70
Figura II-15 Etapa de licuefacción.....	71
Figura II-16 Etapa de sacarificación	71

Figura II-17 Prueba del yodo a medida que avanza la hidrólisis enzimática.....	72
Figura II-18 Filtración de la muestra	73
Figura II-19 Separación del agua sobrante del producto final	73
Figura II-20 Producto final.....	74
Figura III-1 Porcentaje de humedad del almidón de papa	77
Figura III-2 Diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de obtención de almidón de papa.	82
Figura III-3 Balance de materia en la etapa de lavado de la papa con cáscara	83
Figura III-4 Balance de materia en la etapa de pelado de papa	85
Figura III-5 Balance de materia en la etapa de lavado de la papa.....	86
Figura III-6 Balance de materia en la etapa de triturado de la papa	89
Figura III-7 Balance de materia en la etapa de filtrado del zumo de la papa.....	90
Figura III-8 Balance de materia en la etapa de lavado 1 del almidón de papa	92
Figura III-9 Balance de materia en la etapa de lavado 2 del almidón de papa	94
Figura III-10 Balance de materia en la etapa de lavado 3 del almidón de papa	96
Figura III-11 Balance de materia en la etapa de secado del almidón de papa	98
Figura III-12 Balance de materia en la etapa de molienda del almidón seco	102
Figura III-13 Balance de materia en la etapa de tamizado del almidón seco molido	103
Figura III-14 Resumen general del balance de materia para el acondicionamiento de la materia prima.	105
Figura III-15 Diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de hidrólisis enzimática.	106
Figura III-16 Balance de materia en la etapa de preparación de la solución	107
Figura III-17 Balance de materia en la etapa de gelatinización de la solución.....	108
Figura III-18 Balance de materia en la etapa de licuefacción.....	109
Figura III-19 Balance de materia en la etapa de sacarificación	111
Figura III-20 Balance de materia en la etapa de filtración.....	113
Figura III-21 Balance de materia en la etapa de concentración	115
Figura III-22 Resumen general del balance de materia para el proceso de hidrólisis enzimática.	117

Figura III-23 Balance de energía en la etapa del secado de almidón de papa	119
Figura III-24 Balance de energía en la etapa de gelatinización	125
Figura III-25 Balance de energía en la etapa de licuefacción	128
Figura III-26 Balance de energía en la etapa de sacarificación	131
Figura III-27 Balance de energía en la etapa de concentración	133
Figura III-28 Resultados de la evaluación organoléptica.....	140