

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**ELABORACIÓN EXPERIMENTAL DE HARINA DE CÁSCARA DE PIÑA
COMO FUENTE DE FIBRA DIETÉTICA**

Por:

NADIA MAYRA BURGOS

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

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A mi amada madre, Reyna Burgos,

Cada sacrificio que has hecho, cada palabra de aliento y cada abrazo lleno de ternura han sido el combustible que me ha impulsado a alcanzar este logro. Tu fuerza y tu sabiduría han sido mi inspiración, y tu sonrisa mi mayor recompensa.

No hay palabras suficientes para expresar mi gratitud y mi amor por ti. Este logro es tanto tuyo como mío, y te lo dedico con todo mi corazón. Gracias por ser mi madre, mi amiga y mi mayor apoyo.

Con todo mi amor,

Nadia

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

Antecedentes	1
Objetivos	4
<i>Objetivo General</i>	4
<i>Objetivos Específicos</i>	4
Justificación	5
<i>Justificación Económica</i>	5
<i>Justificación Social</i>	5
<i>Justificación Tecnológica</i>	6
<i>Justificación Ambiental</i>	6
<i>Justificación Personal</i>	6

CAPÍTULO 1

Marco Teórico	7
1.1 <i>Características Generales de la Piña</i>	7
1.2 <i>Fibra</i>	25
1.3 <i>Proceso de Obtención de Harinas</i>	30
1.4 <i>Curvas de Secado</i>	32
1.5 <i>Agua en los Alimentos</i>	35
1.6 <i>Contenido de Humedad</i>	36
1.7 <i>Contenido de Humedad en el Aire Seco</i>	37
1.8 <i>Equipos para Molienda</i>	38
1.9 <i>Pardeamiento</i>	40

<i>1.10. Características Organolépticas</i>	43
<i>1.11. Caracterización Funcional</i>	43
<i>1.12. Mercado de Fibra Dietética: Crecimiento, Tendencias, Impacto de Covid-19 y Pronósticos (2023 - 2028)</i>	46

CAPÍTULO II

2.1. Proceso Tecnológico Experimental	49
2.1.1. Diagrama de flujo de proceso de la harina de cáscara de piña.....	49
2.1.2. Equipos y materiales.....	50
2.2. Diseño Estadístico De Experimentos.....	50
2.3. Descripción y Caracterización de la Materia Prima	53
2.3.1 Adquisición de la cáscara de piña	53
2.3.2 Caracterización organoléptica de la cáscara de piña.....	54
2.3.3 Caracterización fisicoquímica de la cáscara de piña.....	55
2.4. Desarrollo del Proceso Experimental.....	56
2.4.1. Elaboración de la harina de cáscara de piña.....	56
2.5. Balance de Materia y Energía	77
2.5.1. Balance de Materia.....	77
2.5.2. Balance de energía	83
2.6. Determinación del Rendimiento del Proceso.....	86
2.7. Caracterización del Producto Final.....	87
2.8. Análisis Sensorial.....	88
2.9. Características funcionales.....	90
2.9.1. Capacidad de hinchamiento de harina de cáscara de piña.....	90

2.9.2. Capacidad de Retención de Agua de la harina de cáscara de piña	90
2.9.3. Capacidad de Absorción de Agua de harina de cáscara de piña.....	90
2.9.4. Capacidad de Adsorción de Grasa de harina de cáscara de piña	91

CAPÍTULO III

3.1. Resultado de la Caracterización de la Materia Prima	92
3.1.1 Caracterización fisicoquímica	92
3.2 Resultado del Desarrollo del Proceso Experimental.....	93
3.2.1. Resultado de Proceso Secado de Cáscara de Piña	93
3.3. Resultado del Balance de Materia y Energía	106
3.3.1 Balance de Materia.....	106
3.3.2 Balance de energía	107
3.4 Resultado Del Rendimiento Del Proceso.....	108
3.5. Resultado del Análisis Estadístico de Experimentos	109
3.5.1. Interpretación de los coeficientes:.....	114
3.6 Resultado de la Caracterización del Producto Obtenido.....	117
3.6.1 Resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica de la harina de cáscara de piña	117
3.7 Resultado del Análisis Sensorial.....	120
3.7.1 Resultado del atributo color	120
3.7.2 Resultados atributo olor	122
3.7.3. Atributo sabor	124
3.7.4. Atributo textura.....	125
3.7.5. Grado de Aceptación General	127

3.8 Determinación del Experimento más Optimo.....	129
---	-----

CAPÍTULO IV

3.1 Determinación de Costos de Producción	132
4.2 Matriz Costo Calidad en Comparación a otras Harinas Convencionales	135
5.2.1 Costo por kg.....	136
5.2.2 Contenido Nutricional	136
4.2.3 Versatilidad Culinaria	137
4.2.4 Disponibilidad.....	137
4.2.5 Impacto Ambiental.....	137
4.3 Costo Valor Unitario de Producto Terminado	137
4.3.1 Desgloce de costos.....	137
4.3.2 Estimaciones de Costos.....	138
5.3.3 Calculo del Costo Total.....	140
5.3.4 Valor Unitario de Venta.....	140
CONCLUSIONES	142
RECOMENDACIONES	144
BIBLIOGRAFÍA	145

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Información Taxonómica de piña	9
Tabla 2 Composición química próxima de la cáscara de piña fresca y seca	22
Tabla 5 Equipos y Materiales Utilizados en el Proyecto	50
Tabla 6 Factores y Niveles del Diseño Factorial del Experimento.....	51
Tabla 7 Valores asignados a los niveles del proceso experimental	51
Tabla 8 Diseño factorial para el proceso experimental.....	52
Tabla 9 Variación de masa en función del tiempo para 70°C en 8 h.....	59
Tabla 10 Variación de la humedad expresada en base seca del proceso de secado de cáscara de piña 70°C y 8h.....	63
Tabla 11 Variación de la humedad Expresada en base húmeda del proceso de Secado de cáscara de piña 70°C y 8h.....	65
Tabla 12 Resultado de la diferenciación numérica por el método de tres puntos.....	69
Tabla 13 Datos de velocidad de secado	70
Tabla 14 Tamices utilizados en la harina de cáscara de piña.....	75
Tabla 15 Porcentaje de Retención en el proceso de Tamizado de la harina de cáscara de piña.....	75
Tabla 16 Perdidas en cada etapa del Balance de Materia	77
Tabla 17 Nomenclatura utilizada en el Balance de Materia	78
Tabla 18 Nomenclatura para-Balance de Energía.....	83
Tabla 19 Calculo de vapor	84
Tabla 20 Consumo Eléctrico de Equipos.....	85
Tabla 21 Requisitos Físicos y Químicos para Harina y Derivados.....	87

Tabla 22 Requisitos Microbiológicos	88
Tabla 23 Resultado de la Caracterización Fisicoquímica de la Materia prima.....	92
Tabla 24 Resultado Caracterización fibra Dietaria	92
Tabla 25	93
Tabla 26 Resultado de las réplicas de la Pérdida de masa en el proceso de secado de la cáscara de piña	95
Tabla 27 Diferencia de Resultados entre los Experimentos y replicas	96
Tabla 28 Resultado de error Cuadrático medio entre los Datos Experimentales y Datos de Replica.....	97
Tabla 29 Ecuaciones de ajuste para la variación de masa de cada ensayo	102
Tabla 30 Humedad Expresada en base seca para Cada Ensayo.....	103
Tabla 31 Resultados de humedad crítica y humedad de equilibrio para cada experimento.....	106
Tabla 32 Resultados Obtenidos en el balance de Materia de la harina de cáscara de piña.....	107
Tabla 33 Resultados Obtenidos en el balance de Energía de la Elaboración de harina de cáscara de piña	107
Tabla 34 Energía Consumida en los Procesos de Consumo de Energía de la harina de cáscara de piña	108
Tabla 35 Resultado de Rendimientos de cada Ensayo.....	108
Tabla 36 Factor inter Sujetos	110
Tabla 37 Pruebas de Efectos inter-sujetos	110
Tabla 38 Resumen del modelo.....	112

Tabla 39 ANOVA	113
Tabla 40 Coeficientes.....	114
Tabla 41 Errores entre valores observados y ajustados del modelo	116
Tabla 42 Resultado Obtenidos de Medición de Humedad.....	118
Tabla 43 Resultados Caracterización Físicoquímica	118
Tabla 44 Resultado Caracterización Fibra Dietaria	119
Tabla 45 Resultados Microbiológicos de Harina de Cáscara de Piña.....	119
Tabla 46 ANOVA atributo color	120
Tabla 47 Estadísticos Descriptivos del Atributo Color.....	121
Tabla 48 ANOVA del atributo Olor	122
Tabla 49 Estadísticos descriptivos del atributo Olor	123
Tabla 50 ANOVA atributo Sabor	124
Tabla 51 Estadísticos descriptivos del atributo Sabor	124
Tabla 52 ANOVA atributo Textura	125
Tabla 53 Estadísticos descriptivos del atributo Textura	126
Tabla 54 Ponderación para cada atributo del Análisis sensorial de la harina de cáscara de piña.....	127
Tabla 55 Porcentaje de Aceptación de cada Muestra de Harina de Cáscara de Piña	127
Tabla 56 Ponderación para Determinación de la Calidad de la Harina de Cáscara de Piña.....	129
Tabla 57 Resultados del Porcentaje de Calidad de las Harinas Obtenidas en Cada Experimento	130
Tabla 58 Materia Prima e Insumos	132

Tabla 59 Costo de Materiales.....	132
Tabla 60 Costos de Análisis de Laboratorio CEANID	133
Tabla 61 Costo Análisis de Laboratorio INLASA.....	133
Tabla 62 Detalle de Energía Eléctrica.....	134
Tabla 63 Detalle de Servicio Público de Agua	134
Tabla 64 Detalle de Costos Totales.....	134
Tabla 65 Matriz Costo Calidad	136
Tabla 66 Materia prima.....	139
Tabla 67 Costos de producción.....	139
Tabla 68 Costos indirectos.....	139
Tabla 69 Costos de distribución y comercialización	140

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Dietary Fiber market Size	2
Ilustración 2 Morfología de la piña	9
Ilustración 3 Posicion de las hojas en la planta de piña	10
Ilustración 4 Características botánicas del fruto.....	12
Ilustración 5 Economía circular de las ananas comosus	17
Ilustración 6 Estructura de la celulosa y hemicelulosa.....	20
Ilustración 7 Estructura de la lignina.....	21
Ilustración 8 Piña variedad Pucallpa	23
Ilustración 9 Piña Champaca.....	24
Ilustración 10 Piña variedad MD2.....	25
Ilustración 11 Curva de secado	32
Ilustración 12 Curva de velocidad de secado	33
Ilustración 13 Molinos de gruesos a rodillo	38
Ilustración 14 Molino de Martillos.....	39
Ilustración 15 Mapa Municipio Entre Rios Cochabamba	53
Ilustración 16 Materia prima adquirida del mercado campesino	54
Ilustración 17 Lavado con cepillo	57
Ilustración 18 Secado estufa a bandejas.....	59
Ilustración 19 Molido de cáscara de piña	74
Ilustración 20 Envasado de cáscara de piña	77
Ilustración 21 Evaluacion sensorial de la harina de cáscara de piña.....	89

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Consumo de fibra en América Latina.....	3
Figura 3 Diagrama de flujo de proceso de harina de cáscara de piña.....	49
Figura 4 Curva de variación de masa en función del tiempo para 70°C en 8h.....	61
Figura 5 Ajuste de la curva para la variación de masa en función del tiempo para 70°C en 8h.....	62
Figura 6 Curva de variación de la humedad Expresada en base seca del proceso de Secado de cáscara de piña 70°C y 8h.....	64
Figura 7 Curva de variación del Contenido de humedad Expresada en base húmeda del proceso de Secado de cáscara de piña 70°C y 8h.	66
Figura 8 Determinación de la humedad crítica y humedad de equilibrio	67
Figura 9 Curva de velocidad de secado en función al Contenido de humedad	71
Figura 10 Representación del modelo de la curva de secado 70°C y 8h.....	72
Figura 11 Comparación entre la Pérdida de masa en función del tiempo del Ensayo y la replica.....	98
Figura 12 Pérdida de masa vs. tiempo en Experimentos a 6 h.	100
Figura 13 Pérdida de masa Vs. tiempo en experimentos a 7h.	101
Figura 14 Pérdida de masa Vs. tiempo en experimentos a 8h.	101
Figura 15 Variación de la humedad en base seca en función del tiempo	104
Figura 16 Variación de la humedad en base seca en función del tiempo 7h.	105
Figura 17 Variación de la humedad en base seca en función del tiempo 8h.	105
Figura 18 Medidas marginales estimadas de pérdida de masa	111
Figura 19 Rendimiento Observado vs. Rendimiento Esperado.....	116

Figura 20 Valores Observados vs Valores Ajustados al modelo.....	117
Figura 21 Medias del atributo color.....	121
Figura 22 Medias del atributo olor	123
Figura 23 Medias del atributo Sabor.....	125
Figura 24 Medias del atributo Textura	126
Figura 25 Porcentaje de Aceptación general de cada Muestra	128
Figura 26 Resultados del Porcentaje de Calidad de las Harinas Obtenidas en Cada Experimento	130

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Velocidad de secado.....	34
Ecuación 2. Contenido de humedad en base húmeda.....	37
Ecuación 3 Contenido de humedad en base seca.....	37
Ecuación 4 Capacidad de Hinchamiento	44
Ecuación 5 Capacidad de Retención de Agua	44
Ecuación 6 Porcentaje de solubilidad	45
Ecuación 7 Capacidad Retención de Agua	45
Ecuación 8 Modelo de diseño factorial.....	52
Ecuación 9. Ecuación de ajuste de la curva de Pérdida de Humedad en Función del Tiempo	62
Ecuación 10. Humedad Expresada en Base Seca	62
Ecuación 11. Humedad Expresada en base Húmeda.....	65
Ecuación 12. Aproximación por diferencia hacia atrás	68
Ecuación 13. Aproximación por diferencia central	68
Ecuación 14. Aproximación por diferencia hacia adelante.....	69
Ecuación 15. Velocidad de secado.....	70
Ecuación 16 Ecuación de la curva de secado.....	73
Ecuación 17 Porcentaje de Retención.....	75
Ecuación 18 Porcentaje de Rendimiento	86
Ecuación 19 Capacidad de hinchamiento en la cáscara de piña	90
Ecuación 20 Capacidad de Retención de Agua de cáscara de piña	90
Ecuación 21 Capacidad de Absorción de Agua de Cáscara de Piña.....	90

Ecuación 22 Capacidad de Adsorcion de Grasa de Cáscara de Piña.....	91
Ecuación 23 Error Cuadrático medio.....	97
Ecuación 24 Perdida de masa.....	111
Ecuación 25 Costo total	140
Ecuación 26 Margen de beneficio.....	140