

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE HARINA A PARTIR DE LA HOJA DE PENCA DE
TUNA (OPUNTIA FICUS-INDICA)**

Por:

MARCELA ALEJANDRA MARKA SAGREDO

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

Marzo de 2026

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

Dedico en primer lugar a Dios que me ha guiado durante este camino con mucha fortaleza para no caer y seguir de pie, como también a mis padres y abuelitos que siempre confiaron en mí para seguir adelante con mucho amor y esperanza y haber permitido llegar hasta este punto de mi vida de mucho esfuerzo.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Teodora y Fernando por haberme apoyado en todo momento de mi vida, con sus consejos, paciencia, valores y más que todo con su esfuerzo de trabajo, por eso ellos son mi motivación a seguir su ejemplo de humildad, fe y amor. Gracias ´por ser mis guías de camino, son mi orgullo día a día, los quiero muchísimo son lo más valioso en este mundo para salir adelante.

A mi hermana Gabriela por su apoyo incondicional, y permitir vivir momentos de alegrías y tristezas, y siempre estas dispuesta apoyarme a cumplir mis metas te quiero mucho.

A mis abuelitos Aniceto, Vitalia, Pascuala y Santiago, que siempre me forjaron a que no me rinda, y ser el orgullo de amor y esfuerzo, siempre estarán en mi corazón, un beso hasta el cielo.

Al plantel docente de la carrera de Ingeniería Química por todas las enseñanzas a lo largo de la universidad tanto académico como de mi vida.

A mis amigas y amigos que formaron parte de mi trayectoria risas y locuras, los recordaré con mucho cariño y agradecer que confiaron en mí.

ÍNDICE

ADVERTENCIA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INTRODUCCIÓN	vi
Antecedentes	1
Objetivos	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
Justificación	5
Justificación económica	5
Justificación social	5
Justificación tecnológica	5
Justificación ambiental.....	6

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. Características generales de la Penca de Tuna	7
1.1 Penca de tuna.....	7
1.2. Características físicas y química de la penca de tuna (Opuntia ficus-indica)	8
Característica física:	8
Características químicas:.....	10
1.3. Beneficios Nutricionales de la Penca de Tuna (Opuntia ficus-indica)	11
1.3.1. Obesidad.....	11
1.3.2. Colesterol	11
1.3.3. Digestión	11
1.4 Producción de Penca de Tuna	11
1.4.1. Producción mundial	11
1.4.2. Producción nacional	13
1.4.3 Producción de la penca de tuna en el Departamento de Tarija	14
1.5. Descripción del Producto (harina de la hoja de penca de tuna)	15

1.5.1. Categorías de la Harina	15
1.5.2. Técnicas industriales de deshidratación para penca de tuna	15
1.5.2.1. Deshidratación por convección / horno de aire forzado.....	15
1.5.2.2 Liofilización (freeze-drying) de penca de tuna	16
1.5.2.3 Secado por Refractance Window (RW) de penca de tuna	16
1.5.3 Selección de proceso de secado	17
1.6 Proceso de obtención de harina a partir de la hoja de penca de tuna	18
1.6.1 Recepción de la materia prima	18
1.6.2 Selección	19
1.6.3 Limpieza y Despinado.....	19
1.6.3.1 Métodos de Despinado	19
1.6.4 Lavado.....	20
1.6.4.1 Métodos de Lavado	20
1.6.5 Cortado.....	21
1.6.5.1 Métodos de Corte	21
1.6.6 Secado	22
1.6.6.1 Métodos de Secado	22
1.6.7 Molienda	23
1.6.7.1 Métodos de Molienda.....	23
Características	24
1.6.8 Tamizado.....	25
1.6.8.1 Métodos de Tamizado	25
1.6.9 Envasado	26
1.6.9.1 Métodos de Envasado	26
1.7. Propuesta de guía para análisis físico-químico y microbiológicos la harina de hoja de penca de tuna	27
1.7.1. Análisis físico-químico	27
1.7.1.1. Requisitos físicos-químicos para la harina de la hoja de penca de tuna	27
1.7.1.2. Requisitos microbiológicos de la harina d la hoja de penca de tuna.....	28
1.8. Análisis Sensorial de la harina de la hoja de penca de tuna (Opuntia ficus-indica)	29
1.8.1 Método Hedónico.....	29

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Descripción y Caracterización de la Materia Prima.....	30
2.1.1. Adquisición de la hoja de penca de tuna.....	30
2.1.2. Caracterización organoléptica de la hoja de penca de tuna (Opuntia ficus-indica)	31
2.1.2.1 Evaluación sensorial mediante test hedónico.....	32
2.1.3. Caracterización fisicoquímica de la hoja de penca de tuna.....	32
2.2. Equipos y materiales	33
2.3. Diseño experimental.....	36
2.4. Descripción del método experimental seleccionado para la obtención de la harina de la Hoja de penca de tuna (Opuntia ficus-indica)	41
2.4.1. Recepción de la hoja de penca de tuna.....	42
2.4.2. La Selección de pencas	43
2.4.3. Limpieza y Despinado de la hoja de penca de tuna	43
2.4.4. Lavado de la hoja de penca de tuna	44
2.4.5. Cortado	45
2.4.6. Secado	46
2.4.7. Molienda de la hoja de penca de tuna	47
2.4.8. Tamizado de la harina de la hoja de penca de tuna.....	48
2.4.9. Envasado de la harina de la hoja de penca de tuna	49
2.5. Análisis de la harina de la hoja de penca de tuna.....	50
2.5.1. Análisis sensorial mediante el método hedónico	50
2.5.1.1. Metodología	51
2.5.2. Análisis fisicoquímico.....	52
2.5.3. Análisis microbiológicos.....	54

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	55
3.1. Resultados de la Caracterización fisicoquímica de la hoja de penca de tuna	55
3.2 Resultado del Desarrollo del Proceso Experimental	56
3.2.1. Resultado de Proceso de Secado de Hoja de Penca de Tuna	56
3.2.1.1. Discrepancia entre los experimentos y las replicas.....	56
3.2.1.2. Determinación de la curva de secado experimentalmente	59
3.3. Análisis estadístico del diseño experimental.....	61
3.3.1 Análisis de varianza	61
3.3.1.1 Cálculo de análisis de varianza para el rendimiento (%)	62
3.4. Resultados del análisis sensorial	66
3.4.1. Grado de Aceptación General	69
3.4.1.1. Determinación de la muestra con mayor grado de aceptación sensorial	70
3.5. Balance de Materia y Energía	71
3.5.1. Balance de Materia.....	71
3.5.1.1. Recepción de materia prima.....	72
3.5.1.2. Etapa de limpieza	73
3.5.1.3. Etapa de lavado	74
3.5.1.4. Etapa de Cortado	74
3.5.1.5. Etapa de Secado	75
3.5.1.6. Etapa de Molienda.....	77
3.5.1.7. Etapa de Tamizado	78
3.5.1.8. Etapa de Envasado	79
3.5.2. Balance de energía en el secado.....	80
3.5.2.1. Calor sensible	80
3.5.2.2. Calor latente	81
3.5.2.3. Consumo de energía eléctrica en la etapa de molienda.....	82
3.5.2.4. Consumo de energía eléctrica en la etapa del tamizado.....	82
3.6. Determinación del Rendimiento del Proceso	83

CAPÍTULO IV
COSTOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

4.1. Costos del Proyecto.....	85
4.1.1. Estudio económico	85
4.1.2. Costo de la materia prima	85
4.1.3. Costo de Producción	88

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES	90
5.2. RECOMENDACIONES.....	93
BIBLIOGRAFÍA	95
Bibliografía Libros	95
Bibliografía Virtual	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1 Penca de tuna	8
Figura. 2: Estructura de la panta de Tuna	10
Figura. 3: Producción mundial de Penca de Tuna	12
Figura. 4: Producción de Penca de Tuna en Bolivia.....	14
Figura. 5: Diagrama de flujo del proceso de la harina de la hoja de penca de tuna ..	18
Figura. 6: Mapa del Municipio de Calamuchita, Tarija.....	30
Figura. 7: Materia Prima de la comunidad de Calamuchita	30
Figura. 8: Diagrama de flujo del proceso de la penca de tuna.....	42
Figura. 9: Limpieza de la materia prima (Hoja de penca de tuna).....	44
Figura. 10: Proceso de Lavado de la hoja de penca de tuna	44
Figura. 11: Cortado en trozos alargada de tamaño uniforme.....	45
Figura. 12: Secado de las rebanadas uniformemente de la hoja de penca de tuna	47
Figura. 13: Proceso de molienda de la hoja de penca de tuna	48
Figura. 14: Tamizador utilizado para la elaboración de harina de hoja de penca de tuna	49
Figura. 15: Envasado de la harina de penca de tuna en bolsas de polietileno hermética.	50
Figura. 16: Evaluación sensorial de la harina de penca de tuna	52
Figura. 17: Curva de secado expresado en base seca del proceso experimental de la hoja de penca de tuna a 65°C y 8 horas.	61
Figura. 18: Es una figura que compara el error observado vs error calculado del proyecto.....	66
Figura. 19: Grado de aceptación de las muestras de color, olor, sabor y textura.	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características físicas de la hoja de penca de tuna	9
Tabla 2: Composición química de la hoja de penca de tuna	10
Tabla 3: Comparación harina de trigo y harina d la hoja de penca de tuna	28
Tabla 4: Requisitos microbiológicos de la harina de la hoja de penca de tuna NTP 011.182.....	28
Tabla 5: Características bibliográficas sensoriales de la harina de la hoja de penca de tuna.....	29
Tabla 6: Resultados de Análisis Fisicoquímicos de la Obtención de Harina a partir de la hoja de penca de tuna	32
Tabla 7: Equipos y materiales utilizados en el proceso	33
Tabla 8: Valores asignados al proceso experimental	37
Tabla 9: Matriz del diseño factorial codificada	39
Tabla 10: Primera réplica del diseño factorial	40
Tabla 11: Segunda réplica del diseño factorial	40
Tabla 12: Diseño factorial para el experimento	41
Tabla 13: Tamices utilizados en la harina de penca de tuna marca ORTO ARLESA	49
Tabla 14: Análisis fisicoquímico de la harina de la hoja de penca de tuna	53
Tabla 15: Análisis microbiológico	54
Tabla 16: Resultado de la Caracterización Fisicoquímica de la Hoja de penca de tuna	55
Tabla 17: Resultado de la Pérdida de masa en el proceso de secado de la hoja de penca de tuna	57

Tabla 18: Resultado de las réplicas de la Pérdida de masa en el proceso de secado de la hoja de penca de tuna	58
Tabla 19: Diferencia de Resultados entre los Experimentos y Réplicas.....	59
Tabla 20 : Curva de secado expresada en base seca de la hoja de penca de tuna 65°C y 8 horas.	60
Tabla 21: Datos para Análisis de Varianza	62
Tabla 22: Pruebas de efectos de Inter- Sujetos	63
Tabla 23: ANOVA ^a	64
Tabla 24: Coeficientes del modelo de regresión lineal	65
Tabla 25: Evaluación sensorial del atributo de olor.....	67
Tabla 26: Evaluación sensorial del atributo de color	68
Tabla 27: Evaluación sensorial del atributo de sabor	68
Tabla 28: Evaluación sensorial del atributo de textura	69
Tabla 29: Promedio total por cada atributo del Análisis Sensorial de la Harina de hoja de penca de tuna	69
Tabla 30: Resultado ponderado del análisis sensorial de las muestras experimentales	70
Tabla 31: Nomenclatura utilizada en el Balance de Materia	71
Tabla 32: Fracciones másicas de la penca de tuna.....	81
Tabla 33: Costos de materia prima e insumos necesarios.....	85
Tabla 34: Costo de materiales	85
Tabla 35: Costo de Energía Eléctrica.....	86
Tabla 36: Detalle de Servicio Público de Agua	86
Tabla 37: Costo de Análisis de laboratorio CEANID	87

Tabla 38: Detalle de costo total del proyecto.....88

Tabla 39: Requerimiento de material y consumo energético de los equipos88

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Test de evaluación sensorial

Anexo 2: Especificaciones de Equipos

Anexo 3: Resultado Fotográfico

Anexo 4: Resultado de Análisis Fisicoquímicos de la Hoja de Penca de Tuna

Anexo 5: Resultado de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos de la Hoja de Penca de Tuna

Anexo 6: Catálogo de normas del Perú

GLOSARIO DE TÉRMINOS

C_p : Calor específico :($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ o $\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$)

T_{op} : Temperatura de operación bulbo seco. ($^\circ\text{C}$)

T_{amb} : Temperatura ambiente ($^\circ\text{C}$)

Q_s : Calor sensible (kcal)

m_v : Masa de agua evaporada (kg)

h_{fg} : Calor latente de vaporización del agua (kcal/kg)

Q_L : Calor latente (kcal)

P: Potencia eléctrica (W)

I: Intensidad de la corriente (A)

V: Diferencia de potencial eléctrico (V)

E: Energía eléctrica (kWh o kcal)

X_{bh} : Base Húmeda

m_h : Masa húmeda.

kJ: Kilojulio

kg : Kilogramo

$^\circ\text{C}$: Grado Celsius

h: Hora.

η : Rendimiento

kcal: Kilocaloría

ρ : Densidad

W : Vatio (unidad de potencia)

m^3 : Metro cúbico

cm : Centímetro

kWh : kilovatio-hora

UFC/g: Unidad formadora de colonias

NP: Norma Peruana.

ANOVA: Análisis de varianza

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

CEANID: Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo