UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“PROYECTO DE GRADO”

OBTENCIÓN DE HARINA DE CAMOTE COMO SUPLEMENTO ALIMENTICIO PARA CONSUMO HUMANO EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA

Por:

VICTOR ENZO BATALLANES ESTÉFANO

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.

MARZO 2026

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez
DECANO
Facultad de Ciencias y Tecnología

M.Sc. Ing. Fernando Cortez Michel
VICEDECANO
Facultad de Ciencias y Tecnología

M.Sc. Ing. Rene Emilio Michel Cortes
DIRECTOR
Carrera de Ingeniería Química

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

M.Sc. Ing. Ignacio Edwin Velásquez Soza

M.Sc. Ing. Erick Ramírez Ruiz

Ing. Juan Pablo Herbas Barrancos

Advertencia

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

El presente proyecto de grado va dedicado a Dios, por darme fuerzas cada día y acompañarme a lo largo de mi vida, por ser mi guía, mi apoyo y haberme permitido culminar este proyecto.

A mis padres, Zaida Esther y Victor Rafael por su confianza, apoyo en todo momento y sacrificio que hicieron para que culminara esta meta.

A mi hermana Leonela Eliana por su cariño y apoyo incondicional a quien deseo el mayor éxito en la vida.

Finalmente, a mi pareja que ha estado conmigo en los buenos y malos momentos por su amor, motivación y ayuda para cumplir este logro.

Agradecimiento

A Dios por su guía, sabiduría y fortaleza durante todo este proceso. Sin su bendición y apoyo constante, este logro no habría sido posible.

Agradezco a mi casa superior de estudios Universidad “Juan Misael Saracho” por formarme como profesional, agradezco a todo el plantel docente de la carrera de Ing. Química, al personal administrativo y de servicio por su dedicación y esfuerzo para proporcionar una educación de alta calidad y un entorno de aprendizaje inspirador.

A los miembros de mi tribunal: Ing. Ignacio Velasquez, Ing. Erick Ramírez y en especial al Ing. Juan Pablo Herbas, por su colaboración y paciencia constante en el presente proyecto.

A mi familia, especialmente a mi madre Zaida y mi hermana Eliana, les debo una inmensa gratitud. Gracias por su apoyo incondicional, su confianza y sus mensajes de aliento a lo largo de mi vida universitaria. Su fe en mí me ha dado la motivación para seguir adelante y alcanzar mis metas y proyectos.

A mis amigos y compañeros con quienes compartí alegrías, risas y nervios en el aula en cada clase, examen y receso que compartimos juntos, quienes han estado a mi lado en los momentos de alegría y desafío, gracias por su amistad, por escucharme y por ofrecerme su apoyo constante. Su presencia ha hecho este viaje mucho más llevadero y significativo.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Pensamiento

"El que sigue la justicia y
la bondad, halla vida,
prosperidad y honra."
(Proverbios 21: 2)

ÍNDICE

Advertencia i

Dedicatoria ii

Agradecimiento iii

Pensamiento iv

Resumen v

INTRODUCCIÓN

Antecedentes 1

Objetivos 6

Objetivos general 6

Objetivos específicos 6

Justificación 7

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Características generales del camote 9

1.1.1. Antecedentes históricos 9

1.2. Producción de camote 10

1.3. Taxonomía del camote 14

1.3.1. Descripción morfología 14

1.3.2. Sistema radicular 15

1.3.3. Tallo 15

1.3.4. Hojas 15

1.3.5. Flores 16

1.3.6. Fruto 16
1.4. Variedades 16
1.5. Composición química 17
1.6. Propiedades nutricionales del camote 18
1.7. Aplicaciones y usos del camote 19
1.7.1. Medicinal 19
1.7.2. Forraje 19
1.7.3. Industrial 19
1.8. Proceso de obtención de harinas 20
1.8.1. Limpieza 20
1.8.2. Secado 20
1.8.3. Molienda 21
1.8.4. Tamizado 21
1.8.5. Envasado 21
1.8.6. Almacenamiento 22
1.9. Curvas de secado 23
1.9.1. Cinética de secado 25
1.9.2. Factores que intervienen en el proceso de secado 26
1.10. Agua en alimentos 27
1.11. Contenido de humedad 28
1.12. Contenido de humedad en el aire seco 29
1.13. Equipos para molienda 29
1.13.1. Molienda de rodillo de gruesos (crusher) 30

1.13.2 Molino de martillo 31
1.13.3. Molino de disco de atrición 31
1.13.4. Molino de tambor 32
1.13.5 Elementos importantes en la molienda 32
1.14. Características organolépticas 33

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Proceso tecnológico experimental 34
2.1.1. Diagrama de flujo de proceso de la harina de camote 34
2.1.2. Equipos y materiales 35
2.2. Diseño estadístico de experimentos 35
2.3. Descripción y caracterización de la materia prima 37
2.3.1. Adquisicion del camote 37
2.3.2. Caracterización organoléptica del camote 39
2.3.3. Caracterización físicoquímica del camote 41
2.4. Desarrollo del proceso experimental 41
2.4.1. Elaboración de la harina de camote 41
2.5. Balance de materia y energía 60
2.5.1. Balance de materia 60
2.5.2. Balance de energía 65
2.6. Determinación del rendimiento del proceso 69

2.7. Caracterización del producto final 69
2.8. Análisis sensorial 71

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Resultado de la caracterización de la materia prima 73
3.1.1. Caracterización físicoquímica 73
3.2. Resultado del desarrollo del proceso experimental 74
3.2.1. Resultado de proceso secado del camote 74
3.3. Resultado del balance de materia y energía 88
3.3.1. Balance de materia 88
3.3.2. Balance de energía 89
3.4. Resultado del rendimiento del proceso 90
3.5. Resultado del análisis estadístico de experimentos 90
3.5.1. Interpretación de coeficientes 96
3.6. Resultado de la caracterización del producto obtenido 100
3.6.1. Resutados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica de la harina 100
3.7. Resultado del análisis sensorial 102
3.7.1. Resultado del atributo color 102
3.7.2. Resultado del atributo olor 104
3.7.3. Atributo sabor 106
3.7.4. Atributo textura 108
3.7.5. Grado de aceptación general 109
3.8. Determinación del experimento más óptimo 111

CAPÍTULO IV

COSTOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

4.1. Determinación de costos de producción 114

4.2. Matriz costo calidad en comparación a otras harinas convencionales 117

4.2.1. Costos de la harina de camote 118

4.2.2. Contenido nutricional de la harina de camote 118

4.2.3. Versatilidad culinaria de la harina de camote 118

4.2.4. Disponibilidad de la harina de camote 118

4.2.5. Impacto ambiental 118

4.3. Costo valor unitario de producto terminado 119

4.3.1. Desglose de costos 119

4.3.2. Estimaciones de costos 120

4.3.3. Cálculo del costos total 121

4.3.4 Valor unitario de venta 121

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones 123

5.2. Recomendaciones 124

BIBLIOGRAFÍA

WEBGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1: Taxonomía del camote 14

Tabla I-2: Composición química del camote (Ipomoea batatas L.) en su estado fresco 17

Tabla I-3: Composición nutricional del camote 18

Tabla I-4: Tipos de molinos de acuerdo al tamaño del producto final 30

Tabla II-1: Equipos y materiales utilizados en el proyecto 35

Tabla II-2: Factores y niveles del diseño factorial del experimento 35

Tabla II-3: Valores asignados a los niveles del proceso experimental 36

Tabla II-4: Diseño factorial para el proceso experimental 36

Tabla II-5: Variación de masa en función del tiempo para 70°C en 8 h. 44

Tabla II-6: Variación de la humedad expresada en base seca del proceso de secado del camote 70°C y 8h 47

Tabla II-7: Variación de la humedad expresada en base húmeda del proceso de secado del camote a 70°C y 8h. 49

Tabla II-8: Resultado de la diferenciacion numérica por el método de tres puntos .. 53

Tabla II-9: Datos de velocidad de secado 54

Tabla II-10: Tamices utilizados en la harina de camote 58

Tabla II-11: Porcentaje de retención en el proceso de tamizado de la harina de camote 59

Tabla II-12: Pérdidas en cada etapa del balance de materia 60

Tabla II-13: Nomenclatura utilizada en el balance de materia 61

Tabla II-14: Nomenclatura para balance de energía 65

Tabla II-15: Cálculo del calor 66

Tabla II-16: Consumo eléctrico de equipos 67

Tabla II-17: Requisitos físicos y químicos para harina y derivados..... 70

Tabla II-18: Requisitos microbiológicos..... 70

Tabla III-1: Resultado de la caracterización fisicoquímica de la materia prima..... 73

Tabla III-2: Resultado caracterización valor nutricional del camote..... 73

Tabla III-3: Resultado caracterización microbiológica del camote..... 74

Tabla III-4: Resultado de la pérdida de masa en el proceso de secado de las ralladuras de camote..... 75

Tabla III-5: Resultado de las réplicas de la pérdida de masa en el proceso de secado de las ralladuras de camote 76

Tabla III-6: Diferencia de resultados entre los experimentos y replicas 77

Tabla III-7: Resultado de error cuadrático medio entre los datos experimentales y datos de replica 79

Tabla III-8: Ecuaciones de ajuste para la variación de masa de cada ensayo 84

Tabla III-9: Humedad expresada en base seca para cada ensayo 85

Tabla III-10: Resultados de humedad crítica y humedad de equilibrio para cada experimento 88

Tabla III-11: Resultados obtenidos en el balance de materia de harina de camote... 89

Tabla III-12: Resultados obtenidos en el balance de energía de la elaboración de harina de camote..... 89

Tabla III-13: Energía consumida en los procesos de consumo de energía de la harina de camote..... 89

Tabla III-14: Resultado de rendimientos de cada ensayo 90

Tabla III-15: Factor inter-sujetos..... 91

Tabla III-16: Pruebas de efectos inter-sujetos..... 92

Tabla III-17: Resumen del modelo 93

Tabla III-18: ANOVA..... 95

Tabla III-19: Coeficientes 96

Tabla III-20: Errores entre valores observados y ajustados del modelo 98

Tabla III-21: Resultados obtenidos de medición de humedad 100

Tabla III-22: Resultados caracterización fisicoquímica de la harina de camote 101

Tabla III-23: Resultado caracterización microbiológica de la harina de camote 101

Tabla III-24: ANOVA atributo color 102

Tabla III-25: Estadísticos descriptivos del atributo color 103

Tabla III-26: ANOVA del atributo olor 104

Tabla III-27: Estadísticos descriptivos del atributo olor 105

Tabla III-28: ANOVA atributo sabor 106

Tabla III-29: Estadísticos descriptivos del atributo sabor 107

Tabla III-30: ANOVA atributo textura 108

Tabla III-31: Estadísticos descriptivos del atributo textura 108

Tabla III-32: Ponderación para cada atributo del análisis sensorial de la harina de camote 109

Tabla III-33: Porcentaje de aceptación de cada muestra de harina de camote..... 110

Tabla III-34: Ponderación para determinación de la calidad de la harina de camote 111

Tabla III-35: Resultados del porcentaje de calidad de las harinas obtenidas en cada experimento 112

Tabla IV-1: Materia prima e insumos 114

Tabla IV-2: Costo de materiales 114

Tabla IV-3: Costos de análisis de laboratorio CEANID 115

Tabla IV-4: Costo análisis de laboratorio CEANID 115
Tabla IV-5: Detalle de energía eléctrica 116
Tabla IV-6: Detalle de servicio público de agua 116
Tabla IV-7: Detalle de costos totales 116
Tabla IV-8: Matriz costo calidad 117
Tabla IV-9: Materia prima 120
Tabla IV-10: Costos de producción 120
Tabla IV-11: Costos indirectos 120
Tabla IV-12: Costos de distribución y comercialización 120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I-1: Camote 15

Figura II-1: Diagrama de flujo de proceso de harina de camote 34

Figura II-2: Mapa Municipio de Uriondo Tarija 38

Figura II-3: Materia prima adquirida del mercado campesino 39

Figura II-4: Lavado con cepillo 42

Figura II-5: Secador de bandejas. 43

Figura II-6: Molido de las ralladuras de camote secas 57

Figura II-7: Tamizado de la harina de camote 58

Figura II-8: Envasado de la harina de camote 60

Figura II-9: Evaluación sensorial de la harina de camote 71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración I-1: Curva de secado 23

Ilustración I-2: Curva de velocidad de secado 24

Ilustración I-3: Molinos de gruesos a rodillo 31

Ilustración I-4: Molino de martillos..... 31

Ilustración II-1: Curva de variación de masa en función del tiempo para 70°C 45

Ilustración II-2: Ajuste de la curva para la variación de masa en función del tiempo para 70°C en 8h. 45

Ilustración II-3: Curva de variación de la humedad expresada en base seca del proceso de secado de camote 70°C y 8h. 48

Ilustración II-4: Curva de variación del contenido de humedad expresada en base húmeda del proceso de secado del camote a 70°C y 8h..... 50

Ilustración II-5: Determinación de la humedad crítica y humedad de equilibrio..... 51

Ilustración II-6: Curva de velocidad de secado en función al contenido de humedad 55

Ilustración II-7: Representación del modelo de la cinetica de secado 70ºC y 8h..... 55

Ilustración III-1: Comparación entre la pérdida de masa en función del tiempo del ensayo y la replica..... 80

Ilustración III-2: Pérdida de masa vs. tiempo en experimentos a 6 h..... 81

Ilustración III-3: Pérdida de masa vs. tiempo en experimentos a 7h..... 82

Ilustración III-4: Pérdida de masa vs. tiempo en experimentos a 8h..... 83

Ilustración III-5: Variación de la humedad en base seca en función del tiempo..... 86

Ilustración III-6: Variación de la humedad en base seca en función del tiempo 7h... 86

Ilustración III-7: Variación de la humedad en base seca en función del tiempo 8h... 87

Ilustración III-8: Medidas marginales estimadas de pérdida de masa..... 93

Ilustración III-9: Rendimiento observado vs. rendimiento esperado..... 97

Ilustración III-10: Valores observados vs valores ajustados al modelo..... 99

Ilustración III-11: Medias del atributo color 104

Ilustración III-12: Medias del atributo olor..... 105

Ilustración III-13:Medias del atributo sabor..... 107

Ilustración III-14: Medias del atributo textura 109

Ilustración III-15: Porcentaje de aceptación general de cada muestra de harina de camote 110

Ilustración III-16: Resultados del porcentaje de calidad de las harinas obtenidas en cada experimento 112

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación I-1: Velocidad de secado:..... 25

Ecuación I-2: Contenido de humedad en base húmeda. 28

Ecuación I-3:Contenido de humedad en base seca..... 29

Ecuación II-1: Modelo del diseño factorial..... 37

Ecuación II-2:Ecuación de ajuste de la curva de pérdida de humedad en función del tiempo..... 46

Ecuación II-3: Humedad expresada en base seca..... 46

Ecuación II-4: Humedad expresada en base húmeda 48

Ecuación II-5: Aproximación por diferencia hacia atrás 52

Ecuación II-6: Aproximación por diferencia central 52

Ecuación II-7: Aproximación por diferencia hacia adelante..... 52

Ecuación II-8: Velocidad de secado 53

Ecuación II-9: Ecuación cinetica de secado del tramo A-B..... 56

Ecuación II-10: Ecuación cinetica de secado del tramo B-C 57

Ecuación II-11: Porcentaje de retención 58

Ecuación II-12: Energía eléctrica 68

Ecuación II-13:Porcentaje de rendimiento..... 69

Ecuación III-1: Error cuadrático medio 78

Ecuación III-2: Perdida de masa..... 93

Ecuación III-3: Ecuación del valor ajustado 99

Ecuación III-4: Ecuación del residuo diferencia observado - ajustado..... 99

Ecuación IV-1: Costo total..... 121

Ecuación IV-2: Margen de beneficio..... 121

SIGLAS, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

Tn/ ha	Tonelada por hectárea	$[Kg/m^2]$
Kg/ ha	Kilogramo por hectárea	$[gr/m^2]$
t	Tonelada	[Kg]
msnm	Metros sobre el nivel del mar	[m]
ha	Hectárea	$[m^2]$
X_{bs}	Humedad expresada en base seca	$[\frac{KgH_2O}{KgS_s}]$
X_{bh}	Humedad expresada en base húmeda	$[\frac{KgH_2O}{Kg}]$
Xe	Humedad de equilibrio	$[\frac{KgH_2O}{KgS_s}]$
Xc	Humedad crítica	$[\frac{KgH_2O}{KgS_s}]$
W	Velocidad de secado	$[\frac{Kg\ H_2O}{h*m^2}]$
Ss	Sólido seco	[Kg]
µm	Micrómetro	[mm]
mm	Milímetro	[cc]
ºC	Grados centígrados	[ºC]
h	Hora	[min]
Cp	Capacidad calorífica	$[\frac{Kj}{Kg\ ^\circ C}]$
Q	Calor	[Kj]
ANOVA	Análisis de varianza	$[Kg^2]$
ECM	Error cuadrático medio	$[m^2]$
UFC/g	Unidad formadora de colonias	[g]
Kwh	Kilovatio por hora	[J]

λ_{H2O}	Calor latente de vaporización del agua	$[\frac{Kj}{Kg}]$
θa	Periodo antecrítico	$[\frac{Kg\ H_2O}{m^2 * h}]$
θp	Periodo postcrítico	$[\frac{Kg\ H_2O}{h * m^2}]$
Art.	Artículo	
Ho	Hipótesis nula	
Ha	Hipótesis alterna	
dx/dy	Diferencial de la función	
ASTM	American society for testing and materials	
BPM	Buenas prácticas de manufactura	
EXP	Experimento	
NB/NA	Norma boliviana	
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences	
REP	Réplica	
REND	Rendimiento	
UNE	Una norma española	
ΔT	Diferencial de temperatura	
f(x)	Función	
$P_{(1,2,3...)}$	Panelista	
$M_{(1,2,3...)}$	Muestra	