

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**OBTENCIÓN DE HARINA DE NABO MEDIANTE PROCESO DE
SECADO POR AIRE CALIENTE**

POR:

GISELLE ARACELY POCLAVA QUIROGA

Trabajo final de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado Académico de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

TARIJA – BOLIVIA

Dedicatoria

El presente trabajo de grado va dedicado principalmente:

A Dios

Por guiar mi camino y poder darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mi madre

Gloria Quiroga por ser el pilar más importante en mi vida, por su amor, trabajo y sacrificio incondicional en todos estos años.

A mis hermanas (os)

Silvia, Cecilia, Karol, Paul y Osvaldo por estar siempre presentes, por creer en mí y ser mi mejor ejemplo de responsabilidad, perseverancia y dedicación.

ÍNDICE
CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación	2
1.3	Objetivos	3
1.3.1	Objetivo general	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
1.4	Planteamiento del problema	3
1.5	Formulación del problema	4
1.6	Objeto de estudio	4
1.7	Campo de acción.....	4
1.8	Hipótesis.....	5

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1	Historia de la harina de tubérculos	6
2.2	Definición de la harina de tubérculos.....	6
2.2.1	Clasificación de las harinas de raíces y tubérculos.....	6
2.2.2	Propiedades nutricionales de las harinas de tubérculos	7
2.3	Aplicación de las harinas de tubérculos en el ser humano	7
2.4	Caracterización del nabo	7
2.4.1	Morfología botánica de la planta de nabo.....	7
2.4.2	Taxonomía de la planta de nabo	8
2.4.3	Valor nutricional del nabo	9
2.4.4	Beneficios del nabo en la salud	10

2.5	Caracterización de los insumos utilizados en el proceso de secado para la obtención de harina de nabo	11
2.5.1	Ácido cítrico	11
2.5.2	Ácido ascórbico	11
2.6	Secado de alimentos	12
2.6.1	Tipos de secadores	12
2.6.2	Secado por aire caliente	13
2.6.3	Secador a bandejas	13
2.7	Factores que intervienen en el proceso de secado	14
2.7.1	Temperatura de secado	14
2.7.1.1	Temperatura de bulbo seco	14
2.7.1.2	Temperatura de bulbo húmedo	14
2.7.2	Velocidad de secado	15
2.7.2.1	Velocidad del aire	15
2.7.3	Contenido de humedad	16
2.7.3.1	Humedad en base húmeda	16
2.7.3.2	Humedad en base seca	16
2.7.3.3	Humedad ligada	17
2.7.3.4	Humedad no ligada	17
2.8	Curva de secado	17
2.8.1	Cinética de secado	18
2.9	Molienda del nabo	19
2.10	Proceso de tamizado	19

CAPÍTULO III METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1	Desarrollo de la parte experimental	20
3.2	Tipos de intervención en la parte experimental.....	20
3.3	Paradigma investigativo.....	20
3.4	Tipo de investigación	21
3.4.1	Enfoque de la investigación	21
3.5	Métodos – técnicas e Instrumentos	21
3.5.1	Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y minerales del nabo	22
3.5.2	Análisis físicos y fisicoquímicos en el proceso de secado por aire caliente para la obtención de harina de nabo	23
3.5.3	Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y minerales de la harina de nabo	23
3.6	Equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios.....	24
3.6.1	Equipos para la obtención de harina de nabo.....	24
3.6.2	Instrumentos de laboratorio para la obtención de harina de nabo	25
3.6.3	Material de laboratorio	26
3.6.4	Utensilios.....	26
3.7	Insumos alimentarios.....	26
3.8	Diagrama de flujo para la obtención de harina de nabo.....	27
3.9	Evaluación sensorial.....	33
3.10	Diseño Experimental.....	33
3.10.1	Diseño factorial	34
3.10.2	Diseño factorial 2^k	34
3.10.3	Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado.....	34

3.11	Operacionalización de las variables para la obtención de harina de nabo	35
------	---	----

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Caracterización del nabo	37
4.1.1	Propiedades físicas del nabo.....	37
4.1.2	Análisis fisicoquímicos del nabo	38
4.1.3	Análisis microbiológicos del nabo.....	38
4.1.4	Análisis de minerales del nabo	39
4.2	Caracterización de las variables del proceso de secado para la obtención de harina de nabo	39
4.2.1	Pruebas experimentales del proceso de secado para la obtención de harina de nabo.....	39
4.2.2.1	Prueba con ácido cítrico para elegir tipo de corte en el ensayo 1.....	41
4.2.2.2	Prueba con ácido ascórbico para elegir tipo de corte en el ensayo 2	42
4.2.2.3	Prueba sin tratamiento para elegir el tipo de corte en el ensayo 3 ...	44
4.3	Prueba preliminar en función del tiempo para las muestras de nabo con tratamiento y sin tratamiento	46
4.3.1	Estadístico de caja y bigote para la selección del tipo de tratamiento de la muestra preliminar	48
4.3.2	Estadístico Tukey para el atributo color	48
4.3.3	Estadístico Tukey para el atributo apariencia	49
4.4	Diseño experimental en el proceso de secado en solución con ácido cítrico.....	50

4.4.1	Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado de las muestras de nabo en solución de ácido cítrico	50
4.4.1.1	Análisis de varianza del diseño factorial para las muestras de nabo en solución de ácido cítrico	51
4.4.1.2	Coeficientes de regresión para el contenido de humedad en base seca de las muestras de nabo con ácido cítrico.....	54
4.4.1.3	Optimización de respuesta del diseño factorial 2^3 de las muestras de nabo con ácido cítrico.....	55
4.5	Diseño experimental en el proceso de secado sin tratamiento	56
4.5.1	Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado para las muestras de nabo sin tratamiento.....	56
4.5.1.1	Análisis de varianza del diseño factorial de las muestras de nabo sin tratamiento.....	57
4.5.1.2	Coeficientes de regresión para el contenido de humedad en base seca de las muestras de nabo sin tratamiento	61
4.5.1.3	Optimización de respuesta del diseño factorial 2^3 de las muestras de nabo sin tratamiento	62
4.6	Influencia de las variables sobre el contenido de humedad en el proceso de secado de las muestras de nabo	63
4.6.1	Variación del contenido de humedad en función del corte A_{12} (0,2 – 0,3) cm: B_1 (50,0 °C) versus C_1 (5,0 m/s)	64
4.6.2	Variación del contenido de humedad en función del corte A_{12} (0,2 – 0,3) cm: B_2 (60 °C) versus C_1 (5,0 m/s)	65
4.6.3	Variación del contenido de humedad en función del corte A_{12} (0,2 – 0,3) cm: B_1 (50,0 °C) versus C_2 (5,5 m/s)	66
4.6.4	Variación del contenido de humedad en función del corte A_{12} (0,2 – 0,3) cm: B_2 (60 °C) versus C_2 (5,5 m/s)	67

4.6.5	Variación del contenido de humedad en función de la temperatura B ₁₂ (50,0 – 60,0) °C: A ₂ (0,3 cm) versus C ₁ (5,0 m/s)	68
4.6.6	Variación del contenido de humedad en función de la temperatura B ₁₂ (50,0 – 60,0) °C: A ₁ (0,3 cm) versus C ₂ (5,5m/s)	69
4.6.7	Variación del contenido de humedad en función de la temperatura B ₁₂ (50,0 – 60,0) °C: A ₁ (0,2 cm) versus C ₁ (5,0 m/s)	70
4.6.8	Variación del contenido de humedad en función de la temperatura B ₁₂ (50,0 – 60,0) °C: A ₁ (0,2 cm) versus C ₂ (5,5 m/s)	72
4.6.9	Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de aire C ₁₂ (5,0 – 5,5) m/s: A ₂ (0,3 cm) versus B ₁ (50 °C)	73
4.6.10	Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de aire C ₁₂ (5,0 – 5,5) m/s: A ₂ (0,3 cm) versus B ₂ (60 °C)	74
4.6.11	Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de aire C ₁₂ (5,0 – 5,5) m/s: A ₁ (0,2 cm) versus B ₁ (50 °C)	75
4.6.12	Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de aire C ₁₂ (5,0 – 5,5) m/s: A ₁ (0,2 cm) versus B ₂ (60 °C)	76
4.7	Cinética de secado para el proceso de secado en la obtención de harina de nabo	77
4.8	Caracterización de harina de nabo	83
4.8.1	Análisis fisicoquímicos de harina de nabo	83
4.8.2	Análisis microbiológicos de harina de nabo	84
4.8.3	Análisis de minerales de harina de nabo	84
4.9	Control de harina de nabo en el almacenamiento	85
4.10	Balance de materia en el proceso de obtención de harina de nabo.	86
4.10.1	Balance general de materia en la etapa de selección	90
4.10.2	Balance general de materia en la etapa de lavado	91

4.10.3	Balance general de materia en la etapa de pelado.....	93
4.10.4	Balance de materia en la etapa de laminado y cortado	95
4.10.5	Balance general de materia en la etapa de pretratamiento y escurrido.....	96
4.10.6	Balance general de materia en la etapa de secado.....	98
4.10.7	Balance general de materia en la etapa de molienda.....	102
4.10.8	Balance general de materia en la etapa de tamizado.....	103
4.11	Resumen general del balance de materia en el proceso de obtención de harina de nabo	104
4.12	Balance de energía para la obtención de harina de nabo.....	104
4.12.1	Balance de energía en la etapa de secado	105
4.12.2	Balance de energía en la etapa de molienda.....	112
4.12.3	Balance de energía en la etapa de tamizado.....	112

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	113
5.2	Recomendaciones.....	115
	Bibliografía	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Descripción taxonómica del nabo variedad (brassica rapa)	9
Tabla 2.2	Composición nutricional del nabo	9
Tabla 3.1	Insumos alimentarios	26
Tabla 3.2	Tabla de signos del diseño factorial 2^3 en el proceso de secado	35
Tabla 3.3	Operacionalización de las variables para la obtención de harina de nabo	36
Tabla 4.1	Propiedades físicas del nabo	37
Tabla 4.2	Análisis fisicoquímicos del nabo.....	38
Tabla 4.3	Análisis microbiológicos del nabo	38
Tabla 4.4	Análisis de minerales del nabo.....	39
Tabla 4.5	Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 1	41
Tabla 4.6	Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 2	43
Tabla 4.7	Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 3	45
Tabla 4.8	Variación del contenido de humedad en base seca para las muestras con tratamiento y sin tratamiento.....	46
Tabla 4.9	Estadístico Tukey para el atributo color	49
Tabla 4.10	Estadístico Tukey para el atributo apariencia.....	49
Tabla 4.11	Contenido de humedad en base seca de las muestras de nabo en solución de ácido cítrico	50
Tabla 4.12	Análisis de varianza en función de la variable respuesta	51

Tabla 4.13	Muestras de nabo con ácido cítrico	55
Tabla 4.14	Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad	55
Tabla 4.15	Contenido de humedad en base seca de las muestras de nabo sin tratamiento.....	57
Tabla 4.16	Análisis de varianza en función de la variable respuesta	58
Tabla 4.17	Muestras de nabo sin tratamiento	62
Tabla 4.18	Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad	62
Tabla 4.19	Influencia de las variables sobre el contenido de humedad	63
Tabla 4.20	Variación del contenido de humedad y velocidad de secado para la obtención de harina de nabo con solución de ácido cítrico	78
Tabla 4.21	Variación del contenido de humedad y velocidad de secado para la obtención de harina de nabo sin tratamiento.....	81
Tabla 4.22	Análisis fisicoquímicos de harina de nabo.....	83
Tabla 4.23	Análisis microbiológicos de harina de nabo.....	84
Tabla 4.24	Análisis de minerales de harina de nabo.....	84
Tabla 4.25	Control de harina de nabo en el almacenamiento	85
Tabla 4.26	Propiedades Psicométricas del aire	101
Tabla 4.27	Datos de la composición fisicoquímica del nabo	110
Tabla 4.28	Datos de la composición fisicoquímica de harina de nabo	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1:	Características botánicas de la planta de nabo.....	8
Figura 2.2:	Beneficios del nabo en la salud.....	10
Figura 2.3:	Fórmula estructural del ácido cítrico.....	11
Figura 2.4:	Estructura química del ácido ascórbico.....	12

Figura 2.5:	Tipos de secadores	13
Figura 2.6:	Secador de bandejas	14
Figura 2.7:	Curva de velocidad de secado	16
Figura 2.8:	Curva de secado	17
Figura 3.1:	Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y minerales del nabo	22
Figura 3.2:	Análisis físicos y fisicoquímicos en el proceso de secado de nabo	23
Figura 3.3:	Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y minerales de la harina de nabo	24
Figura 3.4:	Equipos para la obtención de harina de nabo	25
Figura 3.5:	Instrumentos de laboratorio para la obtención de harina de nabo	25
Figura 3.6:	Diagrama de flujo para la obtención de harina de nabo	27
Figura 3.7:	Nabo	28
Figura 3.8:	Selección	28
Figura 3.9:	Lavado	28
Figura 3.10:	Pelado	29
Figura 3.11:	Laminado y cortado	29
Figura 3.12:	Pretratamiento	29
Figura 3.13:	Escurrido	30
Figura 3.14:	Secado	30
Figura 3.15:	Pre – envasado	31
Figura 3.16:	Molienda	31
Figura 3.17:	Tamizado	32
Figura 3.18:	Envasado	32

Figura 3.19: Almacenamiento	32
Figura 3.20: Evaluación sensorial de las muestras de harina de nabo.....	33
Figura 4.1: Pruebas experimentales del proceso de secado para la obtención de harina de nabo	40
Figura 4.2: Curva de secado para elegir el tipo de corte en solución de ácido cítrico.....	42
Figura 4.3: Curva de secado para elegir el tipo de corte en solución de ácido ascórbico	44
Figura 4.4: Curva de secado sin tratamiento.....	45
Figura 4.5: Curva de secado de las muestras con tratamiento y sin tratamiento.....	47
Figura 4.6: Caja y bigote para atributo color y apariencia de muestras con tratamiento y sin tratamiento	48
Figura 4.7: Efectos principales para el contenido de humedad	52
Figura 4.8: Interacción de factores para el contenido de humedad en base seca.....	53
Figura 4.9: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad.....	54
Figura 4.10: Efectos principales para el contenido de humedad	59
Figura 4.11: Interacción de factores para el contenido de humedad en base seca.....	60
Figura 4.12: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad.....	61
Figura 4.13: Variación del contenido de humedad en función al corte A ₁₂ (0,2 – 0,3) cm: B ₁ (50,0 °C) C ₁ (5,0 m/s)	64

Figura 4.14: Variación del contenido de humedad en función al corte A ₁₂ (0,2 – 0,3) cm: B ₂ (60 °C) C ₁ (5,0 m/s)	65
Figura 4.15: Variación del contenido de humedad en función al corte A ₁₂ (0,2 – 0,3) cm: B ₁ (50,0 °C) C ₂ (5,5 m/s)	66
Figura 4.16: Variación del contenido de humedad en función al corte A ₁₂ (0,2 – 0,3) cm: B ₂ (60 °C) C ₂ (5,5 m/s)	67
Figura 4.17: Variación del contenido de humedad en función a la temperatura B ₁₂ (50,0 – 60,0) °C: A ₂ (0,3 cm) C ₁ (5,0 m/s).....	68
Figura 4.18: Variación del contenido de humedad en función de la temperatura B ₁₂ (50,0 – 60,0) °C: A ₁ (0,3 cm) C ₂ (5,5m/s)	70
Figura 4.19: Variación del contenido de humedad en función de la temperatura B ₁₂ (50,0 – 60,0) °C: A ₁ (0,2 cm) C ₁ (5,0 m/s).....	71
Figura 4.20: Variación del contenido de humedad en función de la temperatura B ₁₂ (50,0 – 60,0) °C: A ₁ (0,2 cm) C ₂ (5,5 m/s).....	72
Figura 4.21: Variación del contenido de humedad en función de la temperatura B ₁₂ (50,0 – 60,0) °C: A ₁ (0,2 cm) C ₂ (5,5 m/s).....	73
Figura 4.22: Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de aire C ₁₂ (5,0 – 5,5) m/s: A ₂ (0,3 cm) B ₂ (60 °C) ..	74
Figura 4.23: Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de aire C ₁₂ (5,0 – 5,5) m/s: A ₁ (0,2 cm) B ₁ (50 °C) ..	75
Figura 4.24: Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de aire C ₁₂ (5,0 – 5,5) m/s: A ₁ (0,2 cm) versus B ₂ (60 °C)	77
Figura 4.25: Cinética en el proceso de secado para las muestras de nabo en solución de ácido cítrico.....	79
Figura 4.26: Cinética en el proceso de secado para las muestras de nabo sin tratamiento	82

Figura 4.27: Control de harina de nabo en el almacenamiento en dos tipos de envases de polipropileno	86
Figura 4.28: Diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de obtención de harina de nabo.....	87
Figura 4.29: Etapa de selección.....	91
Figura 4.30: Etapa de lavado	92
Figura 4.31: Etapa de pelado	94
Figura 4.32: Etapa de laminado y cortado.....	95
Figura 4.33: Etapa de pretratamiento y escurrido.....	96
Figura 4.34: Etapa de secado	98
Figura 4.35: Etapa de molienda	102
Figura 4.36: Etapa de tamizado	103
Figura 4.37: Resumen general del balance de materia para la obtención de harina de nabo	104
Figura 4.38: Balance de energía en la etapa de secado	105