

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**“ELABORACIÓN DE HARINA DE COLIFLOR
VARIEDAD BLANCA”**

Por:

MARIANA MICHELLE ESPAÑA LIMA

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

2024

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortes
**DECANO a.i DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

M.Sc. Lic. Gustavo Succi Aguirre
**VICEDECANO a.i DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

M.Sc. Ing. Erick Ramírez Ruiz
**DIRECTOR DE LA
CARRERA DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS**

M.Sc. Ing. Erick Ramírez Ruiz
Docente guía

Ing. Weimar Torrejón Aguirre
TRIBUNAL

Dr. Ing. Adolfo Valentín Trigo
Dimitrov
TRIBUNAL

Ing. Judith Carolina Miranda Condori
TRIBUNAL

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expansiones vertidas en el trabajo, siendo la misma únicamente responsabilidad del autor.

Dedicatoria

El presente trabajo de grado va dedicado especialmente:

A Dios

Por darme la fortaleza y ser mi guía a lo largo de mi carrera universitaria

A mis padres y abuelos

A mi mamá Lourdes Lima, y mi papá Álvaro Ponce por todo su apoyo y cariño en mi vida; a mis abuelos Eduardo Lima y Constantina Laime por ser mi motor para nunca dar marcha atrás y cumplir esta meta.

A mis hermanos

Paola y Alejandro, por ser la razón para seguir adelante.

A mi mascota

Mi compañera de desvelos Tunita, el ser indispensable durante todo mi trayecto universitario.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por ayudarme a cumplir uno de mis grandes sueños.

A mi familia, por el amor incondicional y su motivación en todo momento.

A mi enamorado Danilo Sejas por su inquebrantable apoyo y motivación durante todo mi trayecto universitario.

A mi docente guía Msc. Ing Erick Ramírez por la orientación y apoyo constante a lo largo de mi formación académica.

A mis amigos Lourdes Fernandez, Cecilia Flores, Aracely Poclava, Iscela Carvallo, Gonzalo Yucra, Danilo Segovia, por el apoyo, compañía y alentarme durante esta etapa.

A la carrera de Ingeniería de Alimentos perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, por brindarme las herramientas y el entorno adecuado para desarrollar este proyecto.

Pensamiento:

“Comienza por hacer lo que sea necesario; luego haz lo que sea posible; y de repente estás haciendo lo imposible”

Francisco de Asís

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	Objeto de estudio	3
1.5	Campo de acción	4
1.6	Situación problemática.....	4
1.7	Formulación del problema.....	5
1.8	Hipótesis.....	5

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1	Harina vegetal	6
2.1.2	Definición de harina vegetal	6
2.1.3	Clasificación y tipos de harinas de origen vegetal.....	6
2.1.3.1	Clasificación de harinas vegetales	7
2.1.4	Composición fisicoquímica de la harina de coliflor variedad blanca	8
2.1.5	Propiedades nutricionales de la harina de coliflor variedad blanca	8
2.1.6	Propiedades microbiológicas de la harina de coliflor variedad blanca	9
2.2.2	Clasificación taxonómica de la coliflor	10
2.2.3	Composición nutricional y fisicoquímica de la coliflor	10

2.2.4	Descripción botánica de la coliflor	11
2.2.5	Variedades de coliflor	12
2.2.6	Partes de la planta de coliflor	12
2.2.7	Tallo	13
2.2.8	La pella o cabeza.....	13
2.2.9	Hojas	13
2.3	Aditivos antioxidantes de grado alimentario.....	13
2.3.1	Ácido L-ascórbico	13
2.3.2	Ácido cítrico.....	14
2.4	Escaldado de frutas y hortalizas	14
2.5	Secado de alimentos.....	15
2.5.1	Secado con aire caliente	15
2.5.2	Secadores de bandejas o de armario	16
2.6	Parámetros que intervienen en el proceso de secado	17
2.6.1	Humedad en base húmeda	17
2.6.2	Humedad en base seca.....	18
2.6.3	Contenido de humedad de sólidos totales.....	18
2.6.4	Contenido de humedad en equilibrio de la muestra	18
2.6.5	Contenido de humedad absoluta en el aire	18
2.6.6	Contenido de humedad relativa de la muestra	18
2.7	Psicometría.....	19
2.7.1	Temperatura de bulbo húmedo.....	19
2.7.2	Temperatura de bulbo seco.....	19
2.8	Cinética de secado	19

2.9	Curvas de secado de alimentos.....	20
2.9.1	Curva de contenido de humedad en relación al tiempo.....	21
2.9.1.1	Periodo de precalentamiento	21
2.9.1.2	Periodo de velocidad constante	21
2.9.1.3	Periodo de velocidad decreciente	22
2.9.2	Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad	22

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1	Desarrollo de la parte experimental	24
3.2	Tipo de intervención del trabajo de investigación a nivel experimental	24
3.3	Paradigma investigativo	24
3.4	Paradigma positivista	25
3.4.1	Enfoque de investigación	25
3.5	Métodos-técnicas para determinación de análisis fisicoquímicos y microbiológicos	25
3.5.1	Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de la coliflor variedad blanca.. ..	26
3.5.2	Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de la harina de coliflor variedad blanca.....	27
3.6	Descripción de los equipos, instrumentos de laboratorio, utensilios de cocina y aditivos	28
3.6.1	Equipos de proceso	28
3.6.2	Instrumentos del laboratorio.....	29
3.6.3	Utensilios de cocina	29
3.6.4	Materiales de laboratorio.....	30
3.7	Reactivos químicos de grado alimentario anti-pardeamiento	30

3.8	Diagrama de bloques para la obtención de harina de coliflor variedad blanca	31
3.8.1	Descripción del diagrama de flujo del proceso de la harina de coliflor	32
3.8.1.1	Selección	32
3.8.1.2	Lavado.....	32
3.8.1.3	Cortado.....	32
3.8.1.4	Laminado	33
3.8.1.5	Pretratamiento (solución de ácido cítrico)	33
3.8.1.6	Escurreido	33
3.8.1.7	Secado.....	34
3.8.1.1	Coliflor.....	34
3.8.1.8	Molienda	34
3.8.1.9	Tamizado.....	34
3.8.1.10	Envasado	35
3.10	Diseño experimental	36
3.11	Diseño factorial	36
3.12	Diseño factorial en la etapa de secado de la coliflor variedad blanca.....	37
3.13	Operacionalización de las variables en el proceso de obtención de harina de coliflor variedad blanca	39

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Caracterización de la coliflor variedad blanca	42
4.1.1	Propiedades físicas de la coliflor variedad blanca	42
4.1.2	Análisis fisicoquímico de la coliflor variedad blanca	43
4.1.3	Análisis microbiológico de la coliflor variedad blanca.....	43
4.1.4	Análisis de micronutrientes de la coliflor variedad blanca	44

4.2	Caracterización de las variables del proceso de elaboración de harina de coliflor variedad blanca	44
4.2.1	Pruebas preliminares para la elaboración de harina de coliflor variedad blanca	44
4.2.2	Pruebas preliminares para el pretratamiento con solución de ácido cítrico del grupo 1	46
4.2.3	Pruebas preliminares para el pretratamiento con solución de ácido ascórbico del grupo 2....	48
4.2.4	Pruebas preliminares para el tiempo de pre tratamiento térmico del grupo 3	50
4.2.5	Pruebas preliminares para las muestras sin tratamiento del grupo 4	52
4.2.6	Pruebas preliminares para elegir el tipo de tratamiento a ser aplicado para la obtención de harina de coliflor	54
4.2.7	Evaluación sensorial para elegir el tipo de tratamiento para la obtención de harina de coliflor variedad blanca	57
4.2.7.1	Estadístico de caja y bigote del atributo apariencia para elegir el pretratamiento	57
4.2.7.2	Estadístico de Tukey para el atributo apariencia para elegir el pretratamiento	58
4.2.7.3	Estadístico caja y bigote del atributo color para elegir el tipo de pretratamiento de la muestra inicial	58
4.3	Diseño experimental en el proceso de secado de coliflor variedad blanca.....	60
4.3.1	Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado para muestras de coliflor variedad blanca sin tratamiento	60
4.3.1.1	Análisis de varianza en el proceso de secado para muestras de coliflor variedad blanca sin tratamiento.....	61
4.3.1.2	Coefficientes de regresión para el contenido de humedad en base seca de las muestras de coliflor variedad blanca sin tratamiento.....	64
4.3.1.3	Optimización de respuesta del diseño factorial de las muestras de coliflor variedad blanca	65
4.4	Diseño experimental en el proceso de secado en solución con ácido cítrico.....	66
4.4.1	Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado por aire caliente para las muestras de coliflor con solución de ácido cítrico	66

4.4.1.1 Análisis de varianza del diseño experimental para las muestras de coliflor variedad blanca con solución de ácido cítrico	67
4.4.1.2 Coeficientes de regresión para el contenido de humedad en base seca de las muestras de coliflor variedad blanca con solución de ácido cítrico	70
4.4.1.3 Optimización de respuesta del diseño factorial de las muestras de coliflor variedad blanca con solución de ácido cítrico	71
4.5 Influencia del contenido de humedad en base seca en el proceso de secado de las muestras de coliflor variedad blanca.....	72
4.5.1 Variación del contenido de humedad a temperatura entre A_{12} (50 - 60 °C); B_1 (5,0 m/s) en función de C_1 (0,1 cm).....	73
4.5.2 Variación del contenido de humedad a temperatura entre A_{12} (50 -60 °C); B_2 (6,0 m/s) en función de C_1 (0,1 cm).....	74
4.5.3 Variación del contenido de humedad a temperatura entre A_{12} (50 - 60 °C); B_1 (5,0 m/s) en función de C_2 (0,3 cm).....	75
4.5.4 Variación del contenido de humedad a temperatura entre A_{12} (50 - 60 °C); B_2 (6,0 m/s) en función de C_2 (0,3 cm).....	76
4.5.5 Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B_{12} (5,0 – 6,0 m/s); A_1 (50 °C) en función de C_1 (0,1 cm)	77
4.5.6 Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B_{12} (5,0 – 6,0 m/s); A_2 (60 °C) en función de C_1 (0,1 cm)	78
4.5.7 Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B_{12} (5,0 – 6,0 m/s); A_1 (50 °C) en función de C_2 (0,3 cm)	80
4.5.8 Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B_{12} (5,0 – 6,0 m/s); A_2 (60 °C) en función de C_2 (0,3 cm)	81
4.5.9 Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C_{12} (0,1 – 0,3) cm; A_1 (50 °C) en función de B_1 (0,5 m/s).....	82
4.5.10 Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C_{12} (0,1 – 0,3 cm); A_2 (60 °C) en función de B_1 (0,5 m/s).....	83

4.5.11 Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C_{12} (0,1 – 0,3 cm); A_1 (50 °C) en función de B_2 (0,3 m/s)	85
4.5.12 Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C_{12} (0,1 – 0,3 cm); A_2 (60 °C) en función de B_2 (0,3 m/s)	86
4.6 Cinética de secado	87
4.6.1 Cinética de secado para el proceso de secado en la elaboración de harina de coliflor variedad blanca con ácido cítrico	88
4.6.2 Cinética desecado para las muestras de coliflor sin tratamiento	90
4.7 Caracterización de la harina de coliflor variedad blanca	93
4.7.1 Análisis fisicoquímico de la harina de coliflor variedad blanca	93
4.7.2 Análisis de minerales de la harina de coliflor variedad blanca	93
4.7.3 Análisis microbiológico de harina de coliflor variedad blanca	94
4.8 Balance general de materia para el proceso de obtención de harina de coliflor variedad blanca	94
4.8.1 Balance de materia en la etapa de selección	96
4.8.2 Balance de materia en la etapa de lavado	97
4.8.3 Balance de materia en la etapa de cortado	99
4.8.4 Balance de materia en la etapa de laminado	100
4.8.5 Balance de materia en la etapa de solución de ácido cítrico	101
4.8.6 Balance de materia en la etapa de pretratamiento	101
4.8.7 Balance de materia en la etapa de secado	103
4.8.8 Balance de materia en la etapa de molienda	107
4.8.9 Balance de materia en la etapa de tamizado	109
4.8.10 Balance de materia en la etapa de envasado	109
4.9 Resumen general de balance de materia para el proceso de obtención de harina de coliflor variedad blanca	110
4.10 Balance de energía para el proceso de obtención de harina de coliflor variedad blanca	111

4.10.1 Balance de energía en la etapa de secado	111
Balance de energía en el proceso de tamizado	119

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones	113
5.2 Recomendaciones.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Clasificación de tipos de harinas	7
Figura 2.2.	Tipos de harinas vegetales	7
Figura 2.3.	Características de la coliflor	12
Figura 2.4.	Generador de flujo de aire caliente en alimentos.....	16
Figura 2.5.	Secador de bandejas por flujo de aire caliente.....	17
Figura 2.6.	Velocidad de secado.....	21
Figura 2.7.	Cinética de secado.....	23
Figura 3.1.	Métodos y técnicas para determinar los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes en la coliflor variedad blanca	26
Figura 3.2.	Métodos y técnicas para determinar los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes en la harina de coliflor variedad blanca	27
Figura 3.3.	Equipos del proceso de elaboración de harina de coliflor variedad blanca.....	28
Figura 3.4.	Instrumentos de laboratorio.....	29
Figura 3.5.	Diagrama de flujo del proceso de elaboración de harina de coliflor variedad blanca	31
Figura 4.1.	Pruebas preliminares para determinar el pretratamiento de las rodajas de coliflor variedad blanca	45
Figura 4.2.	Curva de variación de contenido de humedad en base seca para elegir la concentración del grupo 1	48
Figura 4.3.	Curva de variación de contenido de humedad en base seca para elegir la concentración del grupo 2	49
Figura 4.4.	Curva de variación de contenido de humedad en base seca para elegir la concentración del grupo 3	52
Figura 4.5.	Curva de variación de contenido de humedad en función del tiempo de secado.	56
Figura 4.6.	Caja y bigote del atributo apariencia para elegir pretratamiento	57
Figura 4.7.	Caja y bigote del atributo color para elegir pretratamiento	59
Figura 4.8.	Efectos principales para el contenido de humedad en base seca.....	62
Figura 4.9.	Interacción de los factores para el contenido de humedad en base seca	63
Figura 4.10.	Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad en base seca	64
Figura 4.11.	Efectos principales para el contenido de humedad en base seca.....	68
Figura 4.12.	Interacción de factores para el contenido de humedad en base seca	69

Figura 4.13.	Variación del contenido de humedad a temperatura entre A_{12} (50 - 60) °C; B_1 (5,0) m/s en función de C_1 (0,1) cm.....	73
Figura 4.14.	Variación del contenido de humedad a temperatura entre A_{12} (50 - 60) °C; B_1 (6,0) m/s en función de C_1 (0,1) cm.....	74
Figura 4.15.	Variación del contenido de humedad a temperatura entre A_{12} (50 - 60) °C; B_1 (5,0) m/s en función de C_1 (0,3) cm.....	75
Figura 4.16.	Variación del contenido de humedad a temperatura entre A_{12} (50 - 60) °C; B_1 (6,0) m/s en función de C_1 (0,3) cm.....	76
Figura 4.17.	Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B_{12} (5 - 6) m/s; A_1 (50) °C en función de C_1 (0,1) cm.....	78
Figura 4.18.	Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B_{12} (5 - 6) m/s; A_2 (60) °C en función de C_1 (0,1) cm.....	79
Figura 4.19.	Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B_{12} (5 - 6) m/s; A_1 (50) °C en función de C_2 (0,3) cm.....	80
Figura 4.20.	Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B_{12} (5 - 6) m/s; A_2 (60) °C en función de C_2 (0,3) cm.....	81
Figura 4.21.	Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C_{12} (0,1 - 0,3) cm; A_2 (50) °C en función de B_1 (0,5) m/s.....	82
Figura 4.22.	Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C_{12} (0,1 - 0,2) cm; A_2 (60) °C en función de B_1 (0,5) m/s.....	84
Figura 4.23.	Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C_{12} (0,1 - 0,2) cm; A_2 (50) °C en función de B_1 (0,6) m/s.....	85
Figura 4.24.	Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C_{12} (0,1 - 0,2) cm; A_2 (60) °C en función de B_2 (0,6) m/s.....	86
Figura 4.25.	Cinética en el proceso de secado para las muestras de coliflor sin tratamiento	89
Figura 4.26.	Cinética en el proceso de secado para las muestras de coliflor con ácido cítrico	92
Figura 4.27.	Balace general de materia para el proceso de obtención de harina de coliflor variedad blanca	95
Figura 4.28.	Etapas de selección de coliflor variedad blanca	97
Figura 4.29.	Etapas de lavado de coliflor variedad blanca	98
Figura 4.30.	Etapas de cortado de coliflor variedad blanca.....	99
Figura 4.31.	Etapas de laminado de coliflor variedad blanca.....	100
Figura 4.32.	Etapas de solución de ácido cítrico	101

Figura 4.33.	Etapa de pretratamiento	102
Figura 4.34.	Etapa de secado.....	104
Figura 4.35.	Etapa de molienda.....	108
Figura 4.36.	Etapa de tamizado	109
Figura 4.37.	Etapa de envasado.....	110
Figura 4.38.	Resumen general de balance de materia para el proceso de obtención de harina de coliflor variedad blanca	111
Figura 4.39.	Balance de energía en la etapa de secado	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Características fisicoquímicas de la harina de coliflor variedad blanca	8
Tabla 2.2	Características fisicoquímicas de la harina de coliflor variedad blanca	9
Tabla 2.4	Composición nutricional de la coliflor	11
Tabla 2.5	Composición fisicoquímica de la coliflor	11
Tabla 3.1	Insumos alimentarios.....	31
Tabla 3.2	Evaluación sensorial aspirada a las muestras secas de la coliflor variedad blanca.....	36
Tabla 3.3	Niveles de variación de los factores en el proceso de secado	38
Tabla 3.4	Diseño factorial de la matriz de las variables para el proceso de secado	38
Tabla 3.5	Operacionalización de las variables en la elaboración de harina de coliflor variedad blanca	40
Tabla 4.1	Propiedades físicas de la coliflor variedad blanca	42
Tabla 4.2	Análisis fisicoquímico de la coliflor variedad blanca	43
Tabla 4.3	Análisis microbiológico de la coliflor variedad blanca.....	43
Tabla 4.4	Análisis de micronutrientes de la coliflor variedad blanca	44
Tabla 4.5	Variación del contenido de humedad en base seca del grupo 1	47
Tabla 4.6	Variación del contenido de humedad en base seca del grupo 2	49
Tabla 4.7	Variación del contenido de humedad en base seca del grupo 3	51
Tabla 4.6	Variación del contenido de humedad en base seca de la coliflor variedad blanca	55
Tabla 4.7	Estadístico de Tukey para el atributo apariencia	58
Tabla 4.8	Estadístico de Tukey para el atributo color.....	59
Tabla 4.8	Matriz de contenido de humedad en base seca de muestras de coliflor sin tratamiento	61

Tabla 4.9	Análisis de varianza en función de la variable respuesta	61
Tabla 4.9	Optimización de variables respuestas	65
Tabla 4.11	Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad	65
Tabla 4.12	Contenido de humedad en base seca de muestras de coliflor en el proceso de secado con ácido cítrico	67
Tabla 4.13	Análisis de varianza en función de la variable respuesta	67
Tabla 4.14	Optimización de variables respuesta para el diseño factorial.....	71
Tabla 4.15	Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad	71
Tabla 4.16	Influencias de las variables sobre el contenido de humedad en base seca	72
Tabla 4.17	Variación del contenido de humedad final y velocidad de secado para la obtención de harina de coliflor variedad blanca ácido cítrico	88
Tabla 4.18	Variación del contenido de humedad final y velocidad de secado para la obtención de harina de coliflor variedad blanca sin tratamiento	91
Tabla 4.19	Propiedades psicrométricas del aire.....	106
Tabla 4.20	Datos de la composición fisicoquímica de la coliflor	116
Tabla 4.21	Datos de la composición fisicoquímica de la harina de coliflor.....	117