

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**OBTENCIÓN DE HARINA DE CÁSCARA DE PLÁTANO
VERDE POR SECADO DE AIRE CALIENTE**

POR:

TOMASA BENITEZ

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

TARIJA – BOLIVIA 2025

Dedicatoria

El presente trabajo de grado va dedicado especialmente:

A Dios

Por brindarme fortaleza y sabiduría a lo largo de mi carrera, por ser mi guía y sostén en cada momento.

A mi madre

Teodila Benitez por su constante apoyo, dedicación y ejemplo de perseverancia y por enseñarme a nunca rendirme.

A mi hermana

Ayelen Estrella por ser mi compañera, mi motivación y por el apoyo moral durante esta etapa.

CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN

Pág.

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	Planteamiento del problema	4
1.7	Formulación del problema	4
1.8	Hipótesis	4

CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO

2.1	Origen del plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)	5
2.2	Definición del plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)	5
2.3	Clasificación taxonómica del plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)	6
2.4	Composición fisicoquímica del plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)	6
2.5	Caracterización de la cáscara de plátano.....	6
2.5.1	Composición nutricional de la cáscara de plátano.....	6
2.6	Propiedades funcionales de la cáscara de plátano en el ser humano.....	7
2.7	Aplicaciones en general de la cáscara de plátano.....	8
2.8	Composición nutricional de harina de cáscara de plátano verde	8
2.9	Tipos de harinas vegetales	9
2.10	Clasificación de las harinas vegetales	10
2.11	Aplicaciones de la harina de cáscara de plátano en el ser humano	11

2.12	Secado de alimentos.....	11
2.12.1	Actividad de agua.....	12
2.12.2	Secado con aire caliente.....	12
2.12.3	Secador de bandejas	13
2.12.4	Contenido de humedad de los sólidos.....	14
2.12.4.1	Humedad en base húmeda	14
2.12.4.2	Humedad en base seca	14
2.12.4.3	Humedad en equilibrio.....	14
2.12.4.5	Humedad no ligada	15
2.12.4.6	Humedad libre	15
2.12.4.7	Humedad relativa.....	15
2.12.4.8	Humedad absoluta.....	15
2.13	Cinética de secado	16
2.13.1	Curvas de secado	17
2.14	Psicrometría.....	18
2.14.	Carta psicrométrica	19
2.15	Caracterización de los aditivos utilizados en las muestras de cáscara de plátano	20
2.15.1	Ácido cítrico	20
2.15.2	Ácido ascórbico	20
2.16.3	Sorbato de potasio.....	19

CAPÍTULO III - METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1	Desarrollo de la parte experimental	20
3.2	Tipos de intervención experimental	20

3.2	Tipos de intervención experimental	20
3.3	Enfoque de la investigación.....	20
3.4	Paradigma de la investigación	21
3.4.1	Paradigma positivista	21
3.4.2	Tipo de investigación	21
3.5	Métodos, técnicas e instrumentos	21
3.5.1	Análisis físico de la cáscara de plátano	22
3.5.2	Análisis fisicoquímico, microbiológico y micronutrientes de la cáscara de plátano.....	23
3.5.3	Análisis fisicoquímico, microbiológico y micronutrientes de la harina de cáscara de plátano	23
3.6	Equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina.....	24
3.6.1	Equipos del proceso de obtención de harina de cáscara de plátano.....	24
3.6.2	Instrumentos de laboratorio	25
3.6.3	Materiales de laboratorio	25
3.6.4	Utensilios de cocina	26
3.7	Aditivos de uso alimentario	26
3.8	Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de cáscara de plátano	27
3.8.1	Descripción del diagrama del proceso de obtención de harina de cáscara de plátano	28
3.9	Diseño experimental.....	31
3.9.1	Diseño factorial 2^3	31
3.9.2	Diseño experimental en el proceso de secado para las muestras de cáscara de plátano.....	32
3.10	Algoritmo de variables para la obtención de harina de cáscara de	

	plátano.....	33
3.11	Operacionalización de las variables para la obtención de harina de cáscara de plátano por secado de aire caliente.....	34

CAPÍTULO IV - RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1	Caracterización de la cáscara de plátano verde.....	36
4.1.1	Parámetros físicos de la cáscara de plátano (<i>Musa paradisiaca</i>	36
4.1.1.1	Cálculo del rendimiento de las tiras de cáscaras de plátano.....	37
4.1.2	Parámetros fisicoquímicos de la cáscara de plátano (<i>Musa paradisiaca</i>).....	38
4.1.3	Parámetros microbiológicos de la cáscara de plátano.....	39
4.1.4	Parámetros de micronutrientes de la cáscara de plátano	40
4.2	Caracterización de las variables del proceso de obtención de harina de cáscara de plátano	40
4.2.1	Pruebas experimentales para el proceso de secado para la obtención de harina de cáscara de plátano	40
4.2.2.1	Prueba preliminar para elegir el tipo de corte con solución de ácido ascórbico para el ensayo 1	42
4.2.2.2	Variación de la concentración de ácido ascórbico para muestras del ensayo 1.....	44
4.2.2.3	Prueba preliminar para elegir tipo de corte en solución de ácido cítrico para el ensayo 2	45
4.2.2.4	Variación de la concentración de ácido cítrico para muestras del ensayo 2	47
4.2.2.5	Prueba preliminar para elegir tipo de corte en solución de sorbato de potasio para el ensayo 3	48
4.2.2.6	Variación de la concentración de sorbato de potasio para muestras del ensayo 3.....	50

4.2.2.7	Prueba preliminar para elegir el tipo de corte sin tratamiento para el ensayo 4	51
4.2.2.8	Variación de temperatura de secado y velocidad de aire para muestras sin tratamiento del ensayo 4	53
4.3	Pruebas preliminares para determinar pretratamiento a ser aplicado en muestras de cáscara de plátano	54
4.4	Diseño experimental en el proceso de secado de muestras de cáscara de plátano en solución de ácido ascórbico	57
4.4.1	Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado de muestras de cáscara de plátano con solución de ácido ascórbico	57
4.4.1.1	Análisis de varianza del diseño factorial del proceso de secado de cáscara de plátano.....	58
4.4.1.2	Coeficientes de regresión para el contenido de humedad en base seca.....	61
4.4.1.3	Optimización de respuesta de los factores de secado de cáscara de plátano con ácido ascórbico	62
4.5	Diseño experimental en el proceso de secado de muestras de cáscara de plátano sin tratamiento	63
4.5.1	Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado de muestras de cáscara de plátano sin tratamiento	63
4.5.1.1	Análisis de varianza del diseño factorial del proceso de secado de cáscara de plátano	64
4.5.1.2	Coeficientes de regresión para el contenido de humedad en base seca.....	67
4.5.1.3	Optimización de respuesta de los factores de secado de la cáscara de plátano sin pretratamiento	68
4.6	Influencia de las variables sobre el contenido de humedad en el proceso de secado de muestras de cáscara de plátano	69

4.6.1	Variación del contenido de humedad con la temperatura A ₁₂ (60 – 70) °C: B ₁ (3 mm) y C ₁ (4 m/s)	69
4.6.2	Variación del contenido de humedad con la temperatura A ₁₂ (60 – 70) °C: B ₂ (4 mm) y C ₁ (4 m/s)	70
4.6.3	Variación del contenido de humedad con la temperatura A ₁₂ (60 – 70) °C: B ₁ (3 mm) y C ₂ (5 m/s)	71
4.6.4	Variación del contenido de humedad con la temperatura A ₁₂ (60 – 70) °C: B ₂ (4 mm) y C ₂ (5 m/s)	72
4.6.5	Variación del contenido de humedad con espesor de corte B ₁₂ (3 – 4) mm: A ₁ (60 °C) y C ₁ (4 m/s)	74
4.6.6	Variación del contenido de humedad con espesor de corte B ₁₂ (3 – 4) mm: A ₂ (70 °C) y C ₁ (4 m/s)	75
4.6.7	Variación del contenido de humedad con espesor de corte B ₁₂ (3 – 4) mm: A ₁ (60 °C) y C ₂ (5 m/s)	76
4.6.8	Variación del contenido de humedad con espesor de corte B ₁₂ (3 – 4) mm: A ₂ (70 °C) y C ₂ (5 m/s)	77
4.6.9	Variación del contenido de humedad con velocidad de aire C ₁₂ (4 – 5) m/s: A ₁ (60 °C) y B ₁ (3 mm)	78
4.6.10	Variación del contenido de humedad con velocidad de aire C ₁₂ (4 – 5) m/s: A ₂ (70 °C) y B ₁ (3 mm)	79
4.6.11	Variación del contenido de humedad con velocidad de aire C ₁₂ (4 – 5) m/s: A ₁ (60 °C) y B ₂ (4 mm)	80
4.6.12	Variación del contenido de humedad con velocidad de aire C ₁₂ (4 – 5) m/s: A ₂ (70 °C) y B ₂ (4 mm)	81
4.7	Cinética de secado en la obtención de harina de cáscara de plátano verde	82
4.7.1	Cinética de secado en la obtención de harina de cáscara de plátano con ácido ascórbico	82
4.7.2	Cinética de secado en la obtención de harina de cáscara de plátano sin tratamiento	85
4.8	Caracterización de la harina de cáscara de plátano verde	88

4.8.1	Análisis fisicoquímico de la harina de cáscara de plátano verde	88
4.8.2	Análisis de micronutrientes de harina de cáscara de plátano verde	88
4.8.3	Análisis microbiológico de la harina de cáscara de plátano	89
4.9	Balance de materia en el proceso de obtención de harina de cáscara de plátano	89
4.9.1	Balance de materia en la etapa de selección	93
4.9.2	Balance general de materia en la etapa de lavado	94
4.9.3	Balance de materia en la etapa de cortado	96
4.9.4	Balance de materia en la etapa de pelado	98
4.9.5	Balance general de materia en la etapa de laminado	98
4.9.6	Balance de materia en la etapa de secado	100
4.9.7	Balance general de materia en la etapa de molienda	103
4.9.8	Balance general de materia en la etapa de tamizado	104
4.10	Resumen general del balance de materia en el proceso de obtención de harina de cáscara de plátano	106
4.11	Balance de energía para la obtención de harina de cáscara de plátano.....	106
4.11.1	Balance de energía en el proceso de secado.....	107
4.11.2	Balance de energía en el proceso de molienda	110
4.11.3	Balance de energía en el proceso de tamizado	111

CAPÍTULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	112
5.2	Recomendaciones	113
	Bibliografía.....	115

ANEXOS

	ÍNDICE DE TABLAS	Pág.
Tabla 2.1	Composición fisicoquímica del plátano (<i>Musa paradisiaca</i>).....	6
Tabla 2.2	Composición nutricional de la cáscara de plátano.....	7
Tabla 2.3	Composición nutricional de la harina de cáscara de plátano verde.....	8
Tabla 3.1	Aditivos de uso alimentario.....	26
Tabla 3.2	Niveles de variación aplicado en el proceso de secado por aire caliente.....	32
Tabla 3.3	Matriz del diseño factorial aplicado en el proceso de secado por aire caliente.....	33
Tabla 4.1	Propiedades físicas del plátano (<i>Musa paradisiaca</i>).....	37
Tabla 4.2	Cálculo del rendimiento de las tiras de cáscara de plátano.....	38
Tabla 4.3	Análisis fisicoquímico de la cáscara de plátano.....	39
Tabla 4.4	Análisis microbiológico de la cáscara de plátano.....	39
Tabla 4.5	Análisis de micronutrientes de la cáscara de plátano.....	40
Tabla 4.6	Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 1.....	43
Tabla 4.7	Valores de concentración y tiempo de inmersión para el ensayo 1.....	44
Tabla 4.8	Variación del contenido de humedad en base seca para el	

	ensayo 2.....	46
Tabla 4.9	Valores de concentración y tiempo de inmersión para el ensayo 2.....	47
Tabla 4.10	Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 3.....	49
Tabla 4.11	Valores de concentración y tiempo de inmersión para el ensayo 3.....	50
Tabla 4.12	Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 4.....	52
Tabla 4.13	Valores de concentración y tiempo de inmersión para el ensayo 4.....	53
Tabla 4.14	Pruebas preliminares para determinar pretratamiento a ser aplicado en las muestras de cáscara de plátano.....	55
Tabla 4.15	Contenido de humedad en base seca de las muestras con solución de ácido ascórbico.....	57
Tabla 4.16	Análisis de varianza en función de la variable respuesta de humedad.....	58
Tabla 4.17	Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca.....	62
Tabla 4.18	Contenido de humedad en base seca de las muestras sin tratamiento.....	63
Tabla 4.19	Análisis de varianza en función de la variable respuesta de humedad.....	64
Tabla 4.20	Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca.....	68

Tabla 4.21	Variables de control del contenido de humedad en base seca.....	69
Tabla 4.22	Variación de humedad y velocidad de secado en cáscara de plátano con ácido ascórbico.....	83
Tabla 4.23	Variación de humedad y velocidad de secado en cáscara de plátano sin tratamiento.....	86
Tabla 4.24	Análisis fisicoquímico de la harina de cáscara de plátano verde.	88
Tabla 4.25	Análisis de micronutrientes de la harina de cáscara de plátano verde.....	89
Tabla 4.26	Análisis microbiológico de la harina de cáscara de plátano verde.....	89
Tabla 4.27	Propiedades psicrométricas del aire.....	102
Tabla 4.28	Datos de la composición fisicoquímica de la cáscara de plátano.....	108
Tabla 4.29	Datos de la composición fisicoquímica de la harina de cáscara de plátano.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág		
Figura 2.1	Propiedades funcionales de cáscara de plátano.....	7
Figura 2.2	Aplicaciones en general de la cáscara de plátano.....	8
Figura 2.3	Tipos de harinas vegetales.....	9
Figura 2.4	Clasificación de las harinas vegetales según la cantidad de proteína (y gluten).....	10
Figura 2.5	Clasificación de las harinas vegetales según el grado de pureza.....	10

Figura 2.6	Aplicaciones de la harina de cáscara de plátano verde en el ser humano.....	11
Figura 2.7	Secador de bandejas.....	13
Figura 2.8	Etapas del secado de un alimento con aire caliente.....	16
Figura 2.9	Carta psicrométrica a temperaturas normales y presión barométricas de 101.325 kpa (a nivel del mar).....	18
Figura 3.1	Métodos y técnicas para análisis físico del plátano.....	22
Figura 3.2	Métodos y técnicas para determinación de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la cáscara de plátano.....	23
Figura 3.3	Métodos y técnicas para determinación de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la cáscara de plátano.....	23
Figura 3.4	Equipos de proceso en la obtención de harina de cáscara de plátano.....	24
Figura 3.5	Instrumentos de laboratorio en el proceso de obtención de harina de cáscara de plátano.....	25
Figura 3.6	Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de cáscara de plátano.....	27
Figura 3.7	Plátano verde.....	28
Figura 3.8	Selección.....	28
Figura 3.9	Lavado.....	28
Figura 3.10	Cortado.....	28
Figura 3.11	Pelado.....	29
Figura 3.12	Laminado y cortado.....	29

Figura 3.13	Secado.....	29
Figura 3.14	Enfriado y envasado.....	30
Figura 3.15	Molienda.....	30
Figura 3.16	Tamizado.....	30
Figura 3.17	Envasado.....	30
Figura 3.18	Algoritmo de variables para la obtención de harina de cáscara de plátano.....	33
Figura 3.19	Operacionalización de las variables para la obtención de harina de cáscara de plátano.....	34
Figura 4.1	Muestras de plátano (<i>Musa paradisiaca</i>).....	36
Figura 4.2	Pruebas experimentales para la obtención de harina de cáscara de plátano.....	41
Figura 4.3	Variación del contenido de humedad en base seca para tipo de corte del ensayo 1.....	43
Figura 4.4	Diferencias en el atributo color, apariencia y tiempo de secado del ensayo 1.....	45
Figura 4.5	Variación del contenido de humedad en base seca para tipo de corte del ensayo 2.....	46
Figura 4.6	Diferencias en el atributo color, apariencia y tiempo de secado del ensayo 2.....	48
Figura 4.7	Variación del contenido de humedad en base seca para tipo de corte del ensayo 3.....	49
Figura 4.8	Diferencias en el atributo color, apariencia y tiempo de secado del ensayo 3.....	51
Figura 4.9	Variación del contenido de humedad en base seca para tipo de	

	corte del ensayo 4.....	52
Figura 4.10	Diferencias en el atributo color, apariencia y tiempo de secado del ensayo 4.....	54
Figura 4.11	Variación del contenido de humedad en función del tiempo de secado.....	56
Figura 4.12	Efectos especiales para el contenido de humedad.....	59
Figura 4.13	Interacción de los factores con relación al contenido de humedad.....	60
Figura 4.14	Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad.....	61
Figura 4.15	Efectos principales para el contenido de humedad.....	65
Figura 4.16	Interacción de los factores con relación al contenido de humedad.....	66
Figura 4.17	Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad.....	67
Figura 4.18	Variación del contenido de humedad con la temperatura: A_{12} (60 -70)°C a B_1 (3 mm) y C_1 (4 m/s).....	70
Figura 4.19	Variación del contenido de humedad con la temperatura: A_{12} (60 – 70)°C a B_2 (4 mm) y C_1 (4 m/s).....	71
Figura 4.20	Variación del contenido de humedad con la temperatura: A_{12} (60 – 70)°C a B_1 (3 mm) y C_2 (5 m/s).....	72
Figura 4.21	Variación del contenido de humedad con la temperatura: A_{12} (60 – 70)°C a B_2 (4 mm) y C_2 (5 m/s).....	73
Figura 4.22	Variación del contenido de humedad con espesor de corte: B_{12} (3 – 4) mm a A_1 (60 °C) y C_1 (4 m/s).....	74
Figura 4.23	Variación del contenido de humedad con espesor de corte: B_{12}	

	(3 – 4) mm a A_2 (70 °C) y C_1 (4 m/s).....	75
Figura 4.24	Variación del contenido de humedad con espesor de corte: B_{12} (3 – 4) mm a A_1 (60 °C) y C_2 (5 m/s).....	76
Figura 4.25	Variación del contenido de humedad con espesor de corte B_{12} (3 – 4) mm a A_2 (70 °C) y C_2 (5 m/s).....	77
Figura 4.26	Variación del contenido de humedad con velocidad de aire C_{12} (4 – 5) m/s a A_1 (60 °C) y B_1 (3 mm).....	78
Figura 4.27	Variación del contenido de humedad con velocidad de aire C_{12} (4 – 5) m/s a A_2 (70 °C) y B_1 (3 mm).....	79
Figura 4.28	Variación del contenido de humedad con velocidad de aire C_{12} (4 – 5) m/s a A_1 (60 °C) y B_2 (4 mm).....	80
Figura 4.29	Variación del contenido de humedad con velocidad de aire C_{12} (4 – 5) m/s a A_2 (70 °C) y B_2 (4 mm).....	81
Figura 4.30	Cinética de secado para muestras de cáscara de plátano en solución de ácido ascórbico.....	84
Figura 4.31	Cinética de secado para muestras de cáscara de plátano sin tratamiento.....	87
Figura 4.32	Diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de obtención de harina de cáscara de plátano.....	90
Figura 4.33	Etapa de selección.....	93
Figura 4.34	Etapa de lavado.....	94
Figura 4.35	Etapa de cortado.....	97
Figura 4.36	Etapa de pelado.....	98
Figura 4.37	Etapa de laminado y cortado.....	99

Figura f4.38	Etapa de secado.....	100
Figura 4.39	Etapa de molienda.....	103
Figura f4.40	Etapa de tamizado.....	104
Figura 4.41	Resumen general del balance de materia para la obtención de harina de cáscara de plátano.....	106
Figura 4.42	Balance de materia y energía en la etapa de secado de tiras de cáscara de plátano.....	107

ÍNDICE DE CUADROS

Pag.

Cuadro 2.1	Clasificación taxonómica del plátano.....	6
Cuadro 4.2	Variables experimentales consideradas para la muestra H0....	57
Cuadro 4.2	Variables experimentales consideradas para la muestra H04...	63