

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE PAPEL A ESCALA LABORATORIO A PARTIR
DE CÁSCARA DE NARANJA**

Por:

ANDERSON MAMANI MAMANI

Modalidad de Graduación (Investigación Aplicada) presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.

Diciembre del 2025

TARIJA - BOLIVIA

VºBº

M. Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez
DECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

M. Sc. Ing. Fernando Erick Cortes Michel
VICEDECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

M. Sc. Ing. Rene Emilio Michel Cortes
DIRECTOR DE CARRERA

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

ING. RUTH EVANGELINA AYARDE MOGRO

ING. MARIO STIBEN MARTINEZ VEGA

ING. ALVARO FABRICIO VELASQUEZ CASTRO

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:

Este trabajo se dedica, en primer lugar, a Dios, fuente de la fuerza y guía que me permitió alcanzar este logro.

A mis padres, Evaristo Luciano Mamani Q. y Alicia Mamani M. mi pilar fundamental. Este éxito académico lleva impresa la huella de su esfuerzo constante. Sus palabras de aliento construyeron mi resiliencia y su amor me dio la fuerza para perseverar. Gracias por ser la base firme de mi vida. Su alegría es mi mayor recompensa.

Agradecimiento:

A mis padres y mis hermanos, por su apoyo incondicional. Su cariño fue la guía y sus mensajes de ánimo, el impulso decisivo para completar este desafío.

Mi más profundo agradecimiento a mi compañera, Paola Jurado por su apoyo incondicional.

A mis amigos, gracias por la muestra de ánimo y por el don de amistad verdadera. Su compañía fue el respiro necesario para seguir adelante.

Para el que cree, todo es posible.

Marcos 9: 23

ÍNDICE

Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Pensamiento.....	iv
Resumen.....	v

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES	1
OBJETIVOS.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
JUSTIFICACION.....	4
JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA.....	4
JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	4
JUSTIFICACIÓN SOCIAL	5
JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL	5
JUSTIFICACIÓN PERSONAL.....	5

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO.....	7
1.1. BIOMASA	7
1.1.1. Tipos de biomasa residual.....	7
1.1.2. Residuos agrícolas	8

1.2.	FIBRAS PARA ELABORAR PAPEL.....	9
1.2.1.	Fibra maderera.....	9
1.2.2.	Fibra no maderera.....	9
1.3.	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS FIBRAS PARA ELABORAR PAPEL	9
1.3.1.	Celulosa.....	10
1.3.1.1.	Clasificación de la celulosa	11
1.3.2.	Hemicelulosa.....	11
1.3.3.	Holocelulosa.....	11
1.3.4.	Lignina	12
1.4.	LA NARANJA	13
1.4.1.	Variedades de naranja.....	14
1.4.1.1.	Valencia tardía.....	14
1.4.1.2.	Criolla injertada	14
1.4.1.3.	Criolla.....	14
1.5.	CÁSCARA DE NARANJA	15
1.5.1.	Usos de la cascara de naranja.....	16
1.6.	PULPA Y PAPEL.....	17
1.6.1.	Procedimientos para la obtención de pulpa de celulosa	17
1.6.1.1.	Procesos mecánicos	17
1.6.1.2.	Procesos químicos.....	18
1.6.1.2.1.	Proceso a la sosa	18
1.6.1.2.2.	Proceso Kraft	21
1.6.1.2.3.	Proceso al sulfito.....	22

1.6.2.	Factores a tomar en cuenta para la producción de la pulpa	24
1.6.3.	Índices de calidad de pulpa	25

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.	METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	27
2.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	27
2.2.	SELECCIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL	27
2.3.	DISEÑO FACTORIAL.....	29
2.3.1.	Selección de variables del proceso experimental.....	30
2.4.	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS E INSUMOS EMPLEADOS PARA EL DESARROLLO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	33
2.4.1.	Equipos	33
2.4.2.	Materiales.....	33
2.4.3.	Reactivos e insumos	34
2.5.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA	35
2.5.1.	Diagrama del proceso de obtención de papel a partir de cáscara de naranja.....	35
2.5.2.	Descripción del proceso de obtención de papel a partir de cáscara de naranja.....	36
2.5.2.1.	Recepción y lavado de materia prima	36
2.5.2.2.	Acondicionamiento de materia prima	36
2.5.2.3.	Troceado y pesado	37
2.5.2.4.	Cocción alcalina.....	38

2.5.2.5.	Escurreido y lavado	38
2.5.2.6.	Blanqueado	39
2.5.2.7.	Escurreido y lavado	40
2.5.2.8.	Licuado.....	40
2.5.2.9.	Laminado.....	41
2.5.2.10.	Secado	42
2.5.	CARACTERIZACIÓN DEL PAPEL A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA.....	42
2.5.1.	Resistencia a la tracción del papel.....	43

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
3.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	44
3.1.1.	Propiedades fisicoquímicas.....	44
3.2.	RESULTADOS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA	46
3.3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO FACTORIAL EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA	47
3.3.1.	Análisis de varianza del diseño factorial	48
3.3.2.	Regresión lineal del diseño factorial	50
3.4.	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL PAPEL.....	54
3.4.1.	Determinación de la resistencia a la tracción	55
3.5.	BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA	56
3.5.1.	Etapas de lavado de materia prima	56

3.5.2.	Etapa de acondicionamiento de materia prima	57
3.5.3.	Etapa de troceado	58
3.5.4.	Etapa de cocción alcalina.....	59
3.5.5.	Etapa de escurrido	60
3.5.6.	Etapa de lavado	60
3.5.7.	Etapa de blanqueado.....	61
3.5.8.	Etapa de escurrido y lavado	62
3.5.9.	Etapa de licuado	62
3.5.10.	Etapa de laminado y formado de papel.....	63
3.6.	BALANCE DE ENERGÍA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA	67
3.6.1.	Balance de energía en la etapa de cocción.....	67
3.6.2.	Balance de energía en la etapa de licuado	67

CAPÍTULO IV

COSTOS DE PRODUCTO

4.	COSTOS DE PRODUCTO.....	69
4.1.	COSTOS DE MATERIALES.....	69
4.2.	COSTOS DE REACTIVOS Y MATERIA PRIMA	70
4.3.	COSTOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.....	70
4.4.	COSTOS DE CONSUMO ENERGÉTICO	71

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
5.1. CONCLUSIONES	74
5.2. RECOMENDACIONES	75

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA.....	76
-------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1: Tipos de biomasa residual.....	6
Tabla I- 2: Variedades que existen en mayor cantidad por zonas	12
Tabla I-3: Composición proximal de la cáscara de naranja.....	15
Tabla II-1: Escala de puntuación.....	26
Tabla II-2: Selección del proceso de obtención de papel a partir de cáscara de naranja	27
Tabla II-3: Variables de proceso para la obtención de papel a partir de cáscara de naranja	29
Tabla II-4: Niveles de variación de factores	30
Tabla II-5: Matriz de experimentos	31
Tabla II-6: Materiales utilizados en la utilizados para la obtención de papel a partir de cáscara de naranja.....	32
Tabla II-7: Análisis fisicoquímico de la cáscara de naranja	41
Tabla II-8: Análisis fisicoquímico de la cáscara de naranja	42
Tabla III-1: Análisis fisicoquímicos de la cáscara de naranja	43
Tabla III-2: Análisis fisicoquímico de la cáscara de naranja.....	44
Tabla III-3: Análisis fisicoquímico de la cáscara de naranja.....	44
Tabla III-4: Rendimiento del proceso de obtención de papel a partir de cáscara de naranja	45
Tabla III-5: Matriz de experimentos	47
Tabla III-6: Pruebas de efectos inter-sujetos.....	48
Tabla III-7: Resumen del modelo ^b	49
Tabla III-8: ANOVA ^a	50
Tabla III-9: Coeficientes ^a	51

Tabla III-10: Comparación del rendimiento experimental y rendimiento del modelo ...	52
Tabla III-11: Análisis fisicoquímico del papel	53
Tabla III-12: Análisis fisicoquímico del papel	54
Tabla III-13: Resistencia a la tracción del papel.....	55
Tabla III-14: Resumen de balance de materia de cáscara de naranja	65
Tabla III-15: Resumen del balance de energía	67
Tabla IV-1: Costos de materiales.....	68
Tabla IV-2: Costos de materia prima y reactivos	69
Tabla IV-3: Costos de análisis fisicoquímicos.....	70
Tabla IV-4: Costos de consumo energético	70
Tabla IV-5: Costos de material de apoyo y mano de obra	71
Tabla IV-6: Costos total del proyecto	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Estructura química de la celulosa.....	9
Figura 1-2: Estructura de la lignina.....	11
Figura 1-3: Partes de la naranja.....	14
Figura 1-4: Cáscara de naranja.....	15
Figura 1-5: Diagrama de flujo del proceso de pulpeado a la sosa	19
Figura 1-6: Esquema del ciclo de licores Kraft	21
Figura 1-7: Diagrama de flujo del proceso de pulpeado al sulfito con base amonio	23
Figura 2-1: Diagrama de obtención del papel a partir de cáscara de naranja a escala laboratorio.....	34
Figura 2-2: Cascara de naranja.....	35
Figura 2-3: Mesocarpio de la cáscara de naranja.....	36
Figura 2-4: Troceado de cáscara de naranja	36
Figura 2-5: Cocción alcalina	37
Figura 2-6: Ecurrido y lavado.....	38
Figura 2-7: Blanqueado de la pulpa de celulosa	38
Figura 2-8: Ecurrido y lavado de la pulpa blanqueada	39
Figura 2-9: Licuado de pulpa de celulosa	40
Figura 2-10: Laminado del papel.....	40
Figura 2-11: Secado del papel a partir de cáscara de naranja.....	41
Figura 3-1: Rendimiento de muestras de papel a partir de cáscara de naranja.....	46
Figura 3-2: Comparación Rendimiento experimental y Rendimiento modelo	53
Figura 3-3: Etapa de lavado de materia prima	55
Figura 3-4: Etapa de acondicionamiento de materia prima	56

Figura 3-5: Etapa de troceado	57
Figura 3-6: Etapa de cocción alcalina	58
Figura 3-7: Etapa de escurrido	59
Figura 3-8: Etapa de lavado	59
Figura 3-9: Etapa de blanqueado	60
Figura 3-10: Etapa de escurrido y lavado	61
Figura 3-11: Etapa de licuado	61
Figura 3-12: Etapa de laminado y formado de papel.....	62
Figura 3-13: Resumen del balance de materia del proceso de obtención de papel a partir de cáscara de naranja.....	64

ANEXOS

ANEXO 1: Especificación de equipos utilizados.....	80
ANEXO 2: Fotos del Análisis de la Resistencia a la Tracción del papel.....	81
ANEXO 3. Análisis de Laboratorios a la materia prima y producto.....	82

SIGLAS Y/O ABREVIACIONES

ISO = International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización o Estandarización)

NB = Norma Boliviana

CEANID = Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo

CBO = Análises Laboratoriais Ltda. (Brasil)

CIPRES = Comisión de la Industria del Plástico Responsabilidad y Desarrollo Sustentable

IIQ = Instituto de Investigaciones de la Universidad mayor de San Andrés

UMSA = Universidad Mayor de San Andres

ANOVA = Análisis de Varianza

IBM SPSS = Statistical Package for the Social Sciences (Paquete estadístico para las ciencias sociales)

PAPELBOL = Empresa Pública Productiva Papeles de Bolivia

α = Alfa

β = Beta

γ = Gamma

°C = Grado Celsius

Mpa = Mega pascal

% = Porcentaje

m.s.n.m. = Metros sobre el nivel del mar

cm = Centímetros

mm = Milímetros

kg = Kilogramo

kcal = Kilocalorías

g = Gramos

H₂O = Agua

NaOH = Hidróxido de sodio

Rpm = Revoluciones por minuto

min = minuto

ρ = Densidad

pH = Potencial Hidrógeno

ml = Mililitros

cm² = Centímetros cuadrados

W = Vatios

kW = Kilovatios

KW-h = Kilovatios hora

kJ = Kilojulios

h = Hora

Bs. = Bolivianos

Ec = Ecuación

Nº = Número