

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE PULPA DE CELULOSA A ESCALA LABORATORIO A
PARTIR DE LA CÁSCARA DE MANÍ BAYO (*Arachis hypogaea* L.)
CULTIVADO EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA**

Por:

FABIOLA BELEN LLANOS ROJAS

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

Octubre de 2025

TARIJA – BOLIVIA

VºBº

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

DECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

M.Sc. Ing. Fernando Cortes

VICEDECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

M.Sc. Ing. Rene Emilio Michel Cortes

DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

M.Sc. ING. ERNESTO CAIHUARA ALEJANDRO

ING. IVAN GONZALO OLIVARES OROSCO

MBA. ING. MARCELO LOPEZ TRUJILLO

ADVERTENCIA

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad de la autora.

DEDICATORIA

A Dios por guiarme en cada paso, por estar conmigo, cuidando y velando por mí.

A mi mamá Inés y mi papá Arturo que me formaron desde niña, siempre viendo lo que era mejor para mí y por todo el esfuerzo que hicieron por mí.

A mi hermano Matías por escucharme y ayudarme.

A mis docentes y a mis amigos que conocí en la carrera, me enseñaron mucho, ayudándome a seguir y no parar hasta acabar.

AGRADECIMIENTO

A Dios por su gran amor y por guiarme en cada paso que doy y estar siempre conmigo.

A mi mamá y mi papá que siempre hicieron lo posible para sacarme adelante, por los valores que me inculcaron y por darme a mi hermano Matías, una gran bendición para mí.

A Perla por acompañarme.

A mi tía Lidia, tío Zorro, Camila y Araceli por orar por mí.

FRASE

Versículo: Salmos 119:9 “¿Con
qué limpiará el joven su camino?
Con guardar tu palabra.”

ÍNDICE

ADVERTENCIA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
FRASE	iv
RESUMEN.....	v

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES.....	1
OBJETIVOS	6
JUSTIFICACIÓN	6

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO.....	8
1.1 El maní	8
1.2 Taxonomía del maní.....	8
1.3 Morfología del maní.....	9
1.3.1 La planta.....	9
1.3.2 La raíz.....	10
1.3.3 El tallo	10
1.3.4 Las hojas.....	10
1.3.5 Las flores.....	10
1.3.6 El fruto	10

1.3.7 La semilla.....	10
1.3.8 La cáscara.....	11
1.4 Biomasa lignocelulósica.....	12
1.4.1 Celulosa.....	13
1.4.1.1 Propiedades de hinchamiento.....	14
1.4.2 Hemicelulosa.....	14
1.4.3 Lignina	15
1.5 Pulpa de celulosa.....	16
1.6 Procesos de obtención de pulpa de celulosa	17
1.6.1 Proceso mecánico.....	17
1.6.2 Proceso semiquímico	18
1.6.3 Proceso químico.....	18
1.6.3.1 Proceso a la sosa.....	19
1.6.3.2 Proceso Kraft.....	20
1.6.3.3 Proceso al sulfito.....	22
1.6.3.4 Reacciones de deslignificación en medio alcalino.....	24
1.7 Factores que influyen en la obtención de pulpa de celulosa	24
1.7.1 Especie y calidad de la materia prima vegetal	25
1.7.2 Tiempo de cocción.....	25
1.7.3 Temperatura de cocción	25
1.7.4 Concentración del licor de cocción.....	25
1.8 Parámetros para medir la calidad de la pulpa de celulosa.....	26
1.8.1 Rendimiento de pulpado	26
1.8.2 Número de Kappa	26

1.8.3 Contenido de alfa-celulosa.....	27
1.8.4 Contenido de humedad.....	27
1.8.5 Resistencia a la tensión	27

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.PARTE EXPERIMENTAL	28
2.1 Descripción de la materia prima	28
2.2 Selección del método de obtención de pulpa de celulosa	28
2.3 Diseño experimental.....	31
2.3.1 Variables que afectan en la obtención de pulpa de celulosa	31
2.3.1.1 Selección de variables para el proceso de obtención de pulpa de celulosa.....	31
2.4 Diseño factorial para la obtención de pulpa de celulosa	34
2.5 Diseño del proceso experimental para la obtención de pulpa de celulosa	38
2.5.1 Recepción de materia prima.....	39
2.5.2 Selección de materia prima	39
2.5.3 Lavado de materia prima.....	40
2.5.4 Remojado de materia prima	41
2.5.5 Cocción alcalina	43
2.5.6 Escurrido	44
2.5.7 Lavado pulpa cruda	45
2.5.8 Blanqueo	46
2.5.9 Escurrido	47
2.5.10 Lavado pulpa blanqueada.....	47
2.5.11 Desfibrado	47
2.5.12 Formación y secado.....	48

CAPÍTULO III

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
3.1 Resultados de la caracterización fisicoquímica de la cáscara de maní	50
3.2 Cuantificación de los rendimientos de pulpa de celulosa obtenidos	51
3.3 Resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de alfa-celulosa y lignina de la pulpa de celulosa con mejor rendimiento	52
3.4 Resultados obtenidos del ensayo mecánico de resistencia a la tracción en la pulpa de celulosa en base seca	54
3.5 Disolución de la pulpa de celulosa obtenida	58
3.6 Balance de materia y energía	59
3.6.1 Balance de materia del proceso de obtención de pulpa de celulosa	59
3.6.1.1 Etapa de selección de materia prima	62
3.6.1.2 Etapa de lavado de materia prima	63
3.6.1.3 Etapa de remojado de materia prima	63
3.6.1.4 Etapa de cocción alcalina	64
3.6.1.5 Etapa de escurrido	65
3.6.1.6 Etapa de lavado pulpa cruda	65
3.6.1.7 Etapa de blanqueo	66
3.6.1.8 Etapa de escurrido	67
3.6.1.9 Etapa de lavado pulpa blanqueada	67
3.6.1.10 Etapa de desfibrado	68
3.6.1.11 Etapa de formación y secado	69
3.6.2 Balance de energía del proceso de obtención de pulpa de celulosa	72
3.6.2.1 Balance de energía en la cocción	72

3.6.2.2 Balance de energía en el secado.....	73
3.6.2.3 Consumo de energía.....	75
3.7 Determinación del rendimiento.....	76
3.8 Análisis estadístico.....	77
3.8.1 Análisis de varianza univariante	77
3.8.1.1 Análisis de varianza univariante del rendimiento	77
3.8.2 Determinación del modelo matemático	81

CAPÍTULO IV

COSTOS DEL PROYECTO

4.COSTOS DEL PROYECTO.....	86
4.1 Evaluación de costos	86
4.2 Costo de producción.....	90

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
5.1 Conclusiones	93
5.2 Recomendaciones.....	94

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA.....	95
-------------------	----

ANEXOS

Anexo I: Resultados del CEANID de los análisis fisicoquímicos de la cáscara de maní bayo (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	100
Anexo II: Resultados del INTI de análisis de alfa-celulosa y lignina de pulpa de celulosa en base seca a partir de la cáscara de maní bayo (<i>Arachis hypogaea</i> L.)....	101
Anexo III: Sistema para medir la resistencia en la pulpa de celulosa en base seca y medidas utilizadas en la muestra.....	103
Anexo IV: Taxonomía de la cáscara de maní (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	104
Anexo V: Especificaciones de los equipos utilizados.....	105
Anexo VI: Galería de fotos	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1: Taxonomía del maní.....	9
Tabla I-2: Composición química en la cáscara de maní	12
Tabla II-1: Escala de calificación.....	29
Tabla II-2: Factores a evaluar	29
Tabla II-3: Selección del proceso experimental de obtención de pulpa de celulosa a partir de la cáscara de maní.....	30
Tabla II-4: Parámetros utilizados en la digestión de diferentes autores.....	32
Tabla II-6: Variables para el diseño factorial.....	35
Tabla II-7: Matriz de experimentos y plan de experimentación	36
Tabla II-8: Plan de experimentación para cada repetición.....	37
Tabla II-9: Incremento de la humedad en base a días transcurridos	42
Tabla III-1: Características fisicoquímicas de la cáscara de maní	50
Tabla III-2: Parámetros sacados de referencia bibliográfica.....	51
Tabla III-3: Resultados de rendimientos en base seca de pulpa de celulosa.....	52

Tabla III-4: Caracterización de alfa-celulosa y lignina en la muestra de pulpa de celulosa en base seca	53
Tabla III-5: Medidas del ensayo de resistencia en la muestra de pulpa de celulosa ...	55
Tabla III-6: Resistencia de pulpa de celulosa en base seca a partir de otras fibras.....	57
Tabla III-7: Corrientes de proceso	61
Tabla III-8: Nomenclatura de fórmulas química.....	62
Tabla III-9: Condiciones de operación de los equipos y costos de energía	76
Tabla III-10: Datos para el uso del programa IBM SPSS	78
Tabla III-11: Factores inter-sujetos	79
Tabla III-12: Pruebas inter-sujetos.....	80
Tabla III-13: Resumen del modelo matemático.....	81
Tabla III-14: Resultado del análisis ANOVA.....	81
Tabla III-15: Coeficientes del modelo matemático.....	82
Tabla III-16: Comparación del rendimiento obtenido experimentalmente y la corrección del rendimiento obtenido por el programa SPSS	84
Tabla IV-1: Detalle de costos de materia prima y reactivos utilizados en la parte experimental en la obtención de pulpa de celulosa a partir de la cáscara de maní	86
Tabla IV-2: Detalle de costos de materiales adquiridos en la parte experimental del proceso de obtención de pulpa de celulosa a partir de la cáscara de maní.....	86
Tabla IV-3: Detalle de costos de análisis fisicoquímicos	88
Tabla IV-4: Detalle de costos de material de apoyo	88
Tabla IV-5: Detalle de costos de energía en equipos utilizados	89
Tabla IV-6: Detalle de costos totales del estudio.....	90
Tabla IV-7: Detalle de costos del proceso de obtención.....	91
Tabla IV-8: Detalle de costos de energía en los equipos utilizados.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I-1: El maní.....	8
Figura I-2: Planta de maní.....	9
Figura I-3: Cáscara de maní.....	11
Figura I-4: Estructura de la biomasa lignocelulósica.....	12
Figura I-5: Estructura de la celulosa.....	13
Figura I-6: Fibras de celulosa.....	14
Figura I-7: Estructura de la lignina.....	16
Figura I-8: Tonalidades de blanqueo de pulpa celulósica.....	17
Figura I-9: Diagrama de flujo de proceso a la sosa.....	20
Figura I-10: Diagrama de flujo de proceso kraft.....	22
Figura I-11: Diagrama de flujo de proceso al sulfito.....	23
Figura I-12: Principales rupturas de enlaces en la estructura de la lignina en el proceso de deslignificación y su conversión en monómeros de tipo aromático.....	24
Figura II-1: Cáscara de maní Bayo del municipio de Yacuiba.....	28
Figura II-2: Diagrama de bloques del proceso de obtención de pulpa de celulosa a partir de la cáscara de maní.....	38
Figura II-3: Recepción de la cáscara de maní.....	39
Figura II-4: Selección de las cáscaras de maní.....	40
Figura II-5: Lavado de las cáscaras de maní.....	41
Figura II-6: Remojado de las cáscaras de maní.....	43
Figura II-7: Solución alcalina y cáscaras de maní.....	43
Figura II-8: Puesta en marcha del autoclave.....	44
Figura II-9: Escurrido de la pulpa cruda y licor negro separado.....	45

Figura II-10: pH final del agua de lavado	46
Figura II-11: Pulpa antes y posterior al blanqueo	46
Figura II-12: Antes y después del lavado de la pulpa de celulosa	47
Figura II-13: Desfibrado de la pulpa de celulosa	48
Figura II-14: Pulpa de celulosa ingresando al molde.....	49
Figura II-14: Pulpa de celulosa antes y después del secado.....	49
Figura III-1: Pulpa de celulosa diluida.....	58
Figura III-2: Hojas luego de la disolución de la pulpa de celulosa en base seca	59
Figura III-3: Diagrama de bloques para el proceso experimental de la obtención de pulpa de celulosa a partir de la cáscara de maní bayo (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	60
Figura III-4: Diagrama de flujo del balance de materia para obtención de pulpa de celulosa a partir de la cáscara de maní bayo (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	70
Figura III-5: Modelo lineal.....	83
Figura III-6: Rendimiento experimental vs Rendimiento del modelo vs Error	85

SIGLAS

% = Porcentaje.

CODETAR = Corporación de Desarrollo de Tarija.

IPTASA = Industria Papelera de Tarija Sociedad Anónima.

N° = Número.

g = Gramos.

cm = Centímetro.

mm = Milímetro.

$(C_6H_{10}O_5)_n$ = Celulosa.

NaOH = Hidróxido de Sodio.

°C = Grado Celsius.

KPa= Kilopascal.

Na_2S = Sulfuro de Sodio.

Na_2SO_3 = Sulfito de Sodio.

pH = Potencial de Hidrógeno.

SO_2 = Dióxido de Azufre.

H_2O = Agua.

α = Alfa.

β = Beta.

N = Normalidad.

TAPPI= Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y el Papel.

% p/p = Porcentaje peso – peso.

min = Minuto.

NaClO = Hipoclorito de Sodio.

ml = Mililitro.

INTI = Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

UAJMS = Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

N/cm^2 = Newton por centímetro cuadrado.

kJ = Kilojulio.

kg = Kilogramo.

l = Litro.

m^3 = Metro cúbico.

h = Hora.

K = Grado Kelvin.

kW = Kilovatio.

kWh = Kilovatio hora.

m = Metro.

pza = Pieza.

CEANID = Centro de Análisis Investigación y Desarrollo.

Bs = Bolivianos.

LOU = Laboratorio de Operaciones Unitarias.

W = Vatio.

V = Voltio.