

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



**Rendimiento de celulosa a partir de residuos de aliso (*Alnus acuminata*) y
saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) en la provincia de Chota**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

AUTOR

Bach. Esperanza Díaz Vega

ASESOR

M. Sc. Chávez Juanito Yuli Anabel

CHOTA – PERÚ

2026


Ing. Yuli Anabel Chávez Juanito
Docente EPIFA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, M. Sc. Yuli Anabel Chávez Juanito, **en calidad de asesor, hace constar** que la Tesis de investigación Titulada: “**Rendimiento de celulosa a partir de residuos de aliso (*Alnus acuminata*) y sauceillo (*Podocarpus oleifolius*) en la provincia de Chota**”; ejecutada por el **Bach. Esperanza Diaz Vega** de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, **asesorado por la M. Sc. Juli Anabel Chávez Juanito**; presenta un **INDICE DE SIMILITUD DEL 19%**, sin incluir bibliografía; por lo tanto, cumple con el criterio de evaluación de originalidad establecido en el REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA aprobado mediante **RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N°770-2025- UNACH.**

Se expide la presente. a petición de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Chota, 16 de febrero del 2026.




Atentamente,

Ing. Yuli Anabel Chávez Juanito
Docente EPIFA

Yuli Anabel Chávez Juanito

Esperanza_Diaz_Vega..pdf

Tesis

-  Proyectos y tesis
-  Tesis 2026
-  Universidad Nacional Autonoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3479213079

Fecha de entrega

11 feb 2026, 4:03 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

11 feb 2026, 4:10 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_ESPERANZA_DIAZ_VEGA_2026_1.pdf

Tamaño del archivo

2.4 MB

123 páginas

23.583 palabras

134.898 caracteres




19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía

Fuentes principales

- 18%  Fuentes de Internet
- 8%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 18% Fuentes de Internet
- 8% Publicaciones
- 8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.unach.edu.pe	2%
2	Internet	ridum.umanizales.edu.co	1%
3	Internet	www.coursehero.com	<1%
4	Internet	repositorio.unu.edu.pe	<1%
5	Internet	es.scribd.com	<1%
6	Internet	repositorio.utec.edu.pe	<1%
7	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	<1%
8	Internet	hdl.handle.net	<1%
9	Internet	dspace.unitru.edu.pe	<1%
10	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
11	Internet	revistas.utb.edu.ec	<1%

12	Internet	eprints.uanl.mx	<1%
13	Internet	dspace.ups.edu.ec	<1%
14	Trabajos del estudiante	Universidad Catolica De Cuenca	<1%
15	Internet	repositorio.unheval.edu.pe	<1%
16	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	<1%
17	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Centro del Peru	<1%
18	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma Altoandina de Tarma	<1%
19	Internet	revistas.uni.edu.pe	<1%
20	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD	<1%
21	Internet	apirepositorio.unu.edu.pe	<1%
22	Internet	patents.google.com	<1%
23	Internet	ri-ng.uaq.mx	<1%
24	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
25	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Cajamarca	<1%

26	Internet	repositorio.unprg.edu.pe	<1%
27	Internet	coek.info	<1%
28	Internet	revistas.udistrital.edu.co	<1%
29	Internet	1library.co	<1%
30	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC	<1%
31	Internet	es.slideshare.net	<1%
32	Internet	www.grafiati.com	<1%
33	Internet	repositorio.pedagogicobilingue.edu.pe	<1%
34	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%
35	Trabajos del estudiante	Universidad Andina del Cusco	<1%
36	Internet	core.ac.uk	<1%
37	Internet	ecobiodiversidad.pireca.com	<1%
38	Internet	anfei.mx	<1%
39	Internet	www.slideshare.net	<1%

40	Internet	dspace.unl.edu.ec	<1%
41	Internet	repositorio.uniremington.edu.co	<1%
42	Internet	revista-academica.utb.edu.ec	<1%
43	Trabajos del estudiante	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC	<1%
44	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	<1%
45	Internet	ouci.dntb.gov.ua	<1%
46	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnológica Indoamerica	<1%
47	Internet	ambiental.unam.mx	<1%
48	Internet	libros.utb.edu.ec	<1%
49	Trabajos del estudiante	USIL-D.A. Fac. Arquitectura (J.Kaiser)	<1%
50	Internet	amanglana.unag.edu.hn	<1%
51	Internet	eventosindustrial.unmsm.edu.pe	<1%
52	Trabajos del estudiante	Universidad Internacional de la Rioja	<1%
53	Internet	americanae.aecid.es	<1%

54	Internet	docplayer.es	<1%
55	Internet	repositorio.undac.edu.pe	<1%
56	Publicación	"Experiencias y lecciones aprendidas en la lucha contra la COVID-19", Universidad...	<1%
57	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann	<1%
58	Internet	geox.udistrital.edu.co	<1%
59	Internet	pucesinews.pucesi.edu.ec	<1%
60	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
61	Internet	repositorio.untumbes.edu.pe	<1%
62	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1%
63	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Agraria La Molina	<1%
64	Internet	www.consortio.org	<1%
65	Publicación	FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES SOCIEDAD ANONIMA CERRADA. "DIA d...	<1%
66	Trabajos del estudiante	Universidad Científica del Sur	<1%
67	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Trujillo	<1%

68	Internet	repository.usta.edu.co	<1%
69	Trabajos del estudiante	Universidad Internacional Isabel I de Castilla	<1%
70	Internet	cdn.www.gob.pe	<1%
71	Internet	repositorio.uladech.edu.pe	<1%
72	Internet	repositorio.unac.edu.pe	<1%
73	Internet	repositorio.unsaac.edu.pe	<1%
74	Internet	www.aguilas.tv	<1%
75	Publicación	Rodríguez, Julissa Laríos. "Evaluation of Recycled Plastics in Asphalt Mixtures.", U...	<1%
76	Internet	amerexperience.com	<1%
77	Internet	conafor.gob.mx	<1%
78	Internet	fdocuments.ec	<1%
79	Internet	renati.sunedu.gob.pe	<1%
80	Internet	revistas.udesc.br	<1%
81	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%

82	Internet	virtual.urbe.edu	<1%
83	Publicación	Junior Arturo Gavilan Lizana, Jorge Luis Soto Chicchon, Javier Reynoso Oscanoa, A...	<1%
84	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María	<1%
85	Trabajos del estudiante	Universidad Politécnica del Perú	<1%
86	Trabajos del estudiante	Universidad de Almeria	<1%
87	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
88	Internet	www.udenar.edu.co	<1%
89	Publicación	MARÍA DE LOS DESAMPARADOS LÓPEZ RUBIO. "Efecto de distintos tratamientos d...	<1%
90	Internet	cienciadigital.org	<1%
91	Internet	fdocuments.us	<1%
92	Internet	www.pavimentosonline.com	<1%
93	Internet	www.uv.mx	<1%
94	Publicación	Indiveri, Pierina Bellatin Caceres, Katherin Ana Guerrero. "Efectividad Del Progr...	<1%
95	Internet	a-to-life.blogspot.com	<1%

96	Internet	lafacu.com	<1%
97	Internet	repositorio.unaaa.edu.pe	<1%
98	Internet	repositorio.unsm.edu.pe	<1%
99	Internet	www.aulavirtualusmp.pe	<1%
100	Internet	www.conservationfinance.org	<1%
101	Internet	www.fao.org	<1%
102	Internet	www.teskiyapui.com	<1%
103	Internet	zagan.unizar.es	<1%
104	Publicación	J & E CONSULTORES GENERALES S.R.L.. "EIA-SD del Proyecto Instalación de la Líne...	<1%
105	Publicación	Juan Carlos Cárdenas Valverde. "Coaching y Desempeño Docente en la Provincia ...	<1%
106	Publicación	Ramón Tejada Oliveros. "Optimización de las propiedades de tenacidad e impact...	<1%
107	Publicación	Ripoll García, Guillermo. "Valoración sensorial e instrumental de la carne de cabri...	<1%
108	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
109	Internet	cienciasforestales.inifap.gob.mx	<1%

110	Internet	nopr.niscpr.res.in	<1%
111	Internet	repositorio.unan.edu.ni	<1%
112	Internet	repositorio.upct.es	<1%
113	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%
114	Internet	repositorio.uwiener.edu.pe	<1%
115	Internet	repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar	<1%
116	Internet	riunet.upv.es	<1%
117	Internet	www.bembridgeartglass.co.uk	<1%
118	Internet	www.cemla.org	<1%
119	Internet	www.eleconomista.cubaweb.cu	<1%
120	Internet	www.investinperu.pe	<1%
121	Internet	www.miarevista.es	<1%
122	Internet	www.rosroca.com	<1%
123	Internet	(6-21-03) http://64.26.137.24/servlets/sectorbrowse?sector_id=703&level=0&langu...	<1%

124	Publicación	Campos Caicedo, Angela Johana De la Hoz Rebolledo, Andrea Carolina Gonzále...	<1%
125	Publicación	DOMUS CONSULTORIA AMBIENTAL S.A.C.. "Actualización del Plan de Manejo Amb...	<1%
126	Publicación	Mamani Uturunco, German. "Parasitosis de Orestias del Lago Titicaca de mayor i...	<1%
127	Publicación	NAKAMURA CONSULTORES SAC - NAKCSAC. "Actualización del Plan de Manejo Am...	<1%
128	Publicación	Nathalia Sernizon-Guimarães, Maria do Carmo Barros-de Melo, Taciana Malheiros...	<1%
129	Trabajos del estudiante	Universidad Carlos III de Madrid - EUR	<1%
130	Trabajos del estudiante	Universidad Pública de Navarra	<1%
131	Internet	dspace.esoch.edu.ec	<1%
132	Internet	idoc.pub	<1%
133	Internet	intra.uigv.edu.pe	<1%
134	Internet	osa-arboretum.org	<1%
135	Internet	raccefyn.co	<1%
136	Internet	repo.sibdi.ucr.ac.cr:8080	<1%
137	Internet	repositorio.cidecuador.org	<1%

138	Internet	repositorio.unah.edu.pe	<1%
139	Internet	repositorio.unas.edu.pe	<1%
140	Internet	repositorio.unat.edu.pe	<1%
141	Internet	repositorio.unica.edu.pe	<1%
142	Internet	revistainnovaeducacion.com	<1%
143	Internet	sinergiejournal.eu	<1%
144	Internet	tesis.pucp.edu.pe	<1%
145	Internet	www.atcp.cl	<1%
146	Internet	www.conftool.pro	<1%
147	Internet	www.icesi.edu.co	<1%
148	Internet	www.jove.com	<1%
149	Internet	www.researchgate.net	<1%
150	Internet	www.tetrapak.com	<1%
151	Publicación	Pari Perez, Gladys. "Planeamiento Estrategico del Sector Forestal en El Peru", Pon...	<1%

152	Internet	repositorio.unal.edu.co	<1%
153	Internet	stutzartists.org	<1%
154	Internet	repositorio.ujcm.edu.pe	<1%



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

REG. N° 012-2026-FCA

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N° 515-2025-FCA/UNACH:

Nombres y apellidos	Cargo
Marco Antonio Añaños Bedriñana	Presidente
Pacífico Muñoz Chávary	Secretario
Roxana Mabel Sempertegui Rafael	Vocal

De la tesis titulada:

Rendimiento de celulosa a partir de residuos de aliso (*Alnus acuminata*) y saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) en la provincia de Chota.

Que ha sustentado el(los) Bachiller (es):

Nombres y apellidos	DNI
Esperanza Diaz Vega	74628696

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Forestal y Ambiental

Acuerdan por:

Unanimidad Mayoría


Aprobar Desaprobar


Otorgando la calificación de:


Aprobado
 Excelente
 Bueno
 Regular


Desaprobado

Colpa Matara, 27 de enero del 2026


Dr. Marco Antonio Añaños Bedriñana
Presidente


M.Sc. Pacífico Muñoz Chávary
Secretario


M.Sc. Roxana Mabel Sempertegui Rafael
Vocal


M.Sc. Yuli Anábel Chávez Juanito
Asesor

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía constante, por darme la fuerza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres, la señora Clarisa Vega Cerna y el Señor Wilo Díaz Collantes por su amor incondicional, sus sacrificios y por enseñarme el valor del esfuerzo y la honestidad.

A mi familia, por su apoyo, comprensión y palabras de aliento en los momentos más difíciles.

A mis amigos, por compartir conmigo alegrías, desafíos y aprendizajes a lo largo de este camino.

Con todo mi cariño, dedico este logro a cada uno de ustedes.

Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de Chota y a los docentes que formaron parte de mi formación profesional, por su compromiso, dedicación y por haber compartido sus conocimientos con paciencia y entusiasmo.

A mi asesora, la M. Sc. Chávez Juanito Yuli Anabel por su orientación y tiempo que hicieron posible la culminación de este proyecto.

A mis compañeros de estudio, por su compañerismo, colaboración y por haber sido parte fundamental de esta etapa.

Finalmente, a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron al desarrollo de esta investigación, mi más profundo agradecimiento.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	18
Agradecimientos.....	19
RESUMEN	28
Abstract.....	29
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	30
1.1. Planteamiento del problema	30
1.2. Formulación del problema	31
1.2.1. <i>Problema general</i>	31
1.2.2. <i>Problemas específicos</i>	31
1.3. Justificación.....	31
1.4. Objetivos	33
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	33
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	33
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	34
2.1. Antecedentes	34
2.1.1. <i>Antecedentes Internacionales</i>	34
2.1.2. <i>Antecedentes Nacionales</i>	37
2.2. Bases teórico - científicas.....	40
2.2.1. <i>Aliso (Alnus acuminata)</i>	40
2.2.2. <i>Saucecillo (Podocarpus oleifolius)</i>	43

2.2.3.	<i>Método alcalino</i>	45
2.2.4.	<i>Normas forestales</i>	47
2.2.5.	<i>Impacto ambiental y normativa para el tratamiento de desechos de laboratorio</i>	48
2.2.6.	<i>Plan de manejo de residuos químicos</i>	49
2.2.7.	<i>Celulosa mecánica</i>	54
2.2.8.	<i>Celulosa química</i>	55
2.2.9.	<i>Composición química de la biomasa lignocelulosa</i>	58
2.2.10.	<i>Reología de la Pulpa de Celulosa</i>	59
2.2.11.	<i>Usos de la celulosa</i>	60
2.3.	Marco conceptual	61
2.3.1.	<i>Celulosa</i>	61
2.3.2.	<i>Maderable</i>	61
2.3.3.	<i>Plantas nativas</i>	61
2.3.4.	<i>Tratamiento alcalino</i>	61
2.3.5.	<i>Aliso</i>	62
2.3.6.	<i>Saucecillo</i>	62
2.3.7.	<i>Residuos vegetales</i>	62
2.3.8.	<i>Sostenibilidad</i>	62
2.3.9.	<i>Hemicelulosa</i>	63
2.3.10.	<i>Lignina</i>	63
2.3.11.	<i>Biomasa</i>	63
2.3.12.	<i>Pulpeo</i>	63

2.3.13. <i>Recolección selectiva</i>	64
2.3.14. <i>Dureza Janka</i>	64
2.4. Hipótesis.....	64
2.5. Operacionalización de variables.....	65
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	66
3.1. Tipo y nivel de investigación	66
3.2. Diseño de la investigación.....	66
3.3. Métodos de investigación.....	67
3.3.1. <i>Localización y cálculo de la edad de la especie</i>	68
3.3.2. <i>Recolección, medición de características físicas y almacenamiento</i>	69
3.3.3. <i>Síntesis con método alcalino</i>	69
3.3.4. <i>Cálculo del rendimiento</i>	70
3.4. Población, muestra y muestreo.....	70
3.4.1. <i>Población</i>	70
3.4.2. <i>Muestra</i>	71
3.4.3. <i>Muestreo</i>	71
3.4.4. <i>Cálculo del tamaño muestral</i>	72
3.5. Técnica e instrumento de recolección de datos	73
3.5.1. <i>Técnicas</i>	73
3.5.2. <i>Instrumentos de recolección de datos</i>	75
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	76
3.7. Aspectos éticos.....	77

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	78
4.1. Descripción de resultados.....	78
4.1.1. <i>Aplicación del método alcalino a cuatro concentraciones de NaOH</i>	78
4.1.2. <i>Propiedades físico-morfológicas de la pulpa de celulosa obtenida</i>	88
4.1.3. <i>Comparación de las propiedades físico- morfológicas de pulpa de celulosa</i>	100
4.2. Contrastación de Hipótesis.....	103
4.3. Discusión de resultados	110
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
5.1. Conclusiones	115
5.2. Recomendaciones.....	116
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	118
CAPÍTULO VII. ANEXOS.....	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades físicas del aliso.....	41
Tabla 2. Propiedades mecánicas del aliso	42
Tabla 3. Propiedades físicas del saucecillo	44
Tabla 4. Propiedades mecánicas del saucecillo	44
Tabla 5. Clasificación de los residuos químicos según su composición química	50
Tabla 6. Composición de biomasa lignocelulosa	58
Tabla 7. Operacionalización de variables.....	65
Tabla 8. Tratamientos para la obtención de celulosa por cada especie (aliso y saucecillo)	67
Tabla 9. Características de recojo y recolección de muestras en campo.....	72
Tabla 10. Cantidad y concentración del Na(OH)	78
Tabla 11. Medición del peso después del tratamiento alcalino para el Aliso.....	80
Tabla 12. Medición del peso después del tratamiento alcalino para el saucecillo	81
Tabla 13. Secado de los tratamientos y sus réplicas de aliso.....	83
Tabla 14. Secado de los tratamientos y sus réplicas de saucecillo	85
Tabla 15. Cantidad de pulpa obtenida Aliso (<i>Alnus acuminata</i>).....	88
Tabla 16. Cantidad obtenida de pulpa saucecillo (<i>Podocarpus oleifolius</i>)	89
Tabla 17. Porcentaje de humedad Aliso (<i>Alnus acuminata</i>).....	77
Tabla 18. Porcentaje de humedad saucecillo (<i>Podocarpus oleifolius</i>).....	92
Tabla 19. Densidad aparente de la pulpa de Aliso.....	93
Tabla 20. Densidad aparente de la pulpa de Saucillo.....	94
Tabla 21. Comparación del parámetro evaluados con las 3 especies más comerciales.....	95
Tabla 22. Análisis descriptivo rendimiento del Aliso.....	96

Tabla 23. Pruebas de homogeneidad de varianzas.....	101
Tabla 24. Anova Aliso.....	103
Tabla 25. HSD Tukey Aliso.....	104
Tabla 26. Anova aliso.....	104
Tabla 27. Análisis descriptivo rendimiento del saucecillo.....	105
Tabla 28. Pruebas de homogeneidad de varianzas.....	106
Tabla 29. Anova saucecillo.....	107
Tabla 30. HSD Tukey saucecillo.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de procesos para obtención de celulosa en laboratorio	46
Figura 2. Símbolos pictóricos usados para nombrar residuos peligrosos	51
Figura 3. Ciclo de proceso de celulosa Kraft estándar	57
Figura 4 localizacion del area del estudio.....	68
Figura 5. Promedio de los pesos de pulpa celulosa de aliso	84
Figura 6. Promedio de los pesos de pulpa celulosa del saucecillo.....	86
Figura 7. Promedio de los pesos de pulpa celulosa del aliso y saucecillo.....	87
Figura 8. Pulpa de celulosa de saucecillo obtenida al 20% de NaOH.....	97
Figura 9. Pulpa de celulosa de aliso obtenida al 15% de NaOH.....	98
Figura 10. Pulpa de celulosa de saucecillo obtenida al 10 % de NaOH.....	99
Figura 11. Recolección de muestra para conteo de anillos en aliso	130
Figura 12. Uso del barreno Pressler	130
Figura 13. Recolección de 250 g. de muestra de aliso	131
Figura 14. Muestras de aliso y saucecillo.....	131
Figura 15. Acondicionamiento de muestras	132
Figura 16. Materiales e insumos del tratamiento con hidróxido de sodio.....	132
Figura 17. Muestras de aliso en hidróxido de sodio.....	133
Figura 18. Cocción a temperatura y agitación constante.....	133
Figura 19. Enfriamiento después del tratamiento alcalino	134
Figura 20. Muestras de saucecillo obtenidas después del tratamiento con H ₂ O ₂ al 15%	134
Figura 21. Desfibrado manual del aliso al 15%	135
Figura 22. Secado a 65°C del saucecillo al 5 % de H ₂ O ₂	135

Figura 23. Pesado de celulosa del aliso al 15 % de NaOH antes del blanqueado	136
Figura 24. Materiales y reactivos para el tratamiento de blanqueo.....	136
Figura 25. secado de la pulpa blanqueado al 105°C	137
Figura 26. Obtención final de pulpa celulosa de aliso al 10 y 15 %	137
Figura 27. Obtención final de pulpa celulosa de saucecillo al 10% y 15%	138

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el rendimiento y las propiedades físico-morfológicas de la celulosa obtenida a partir de residuos de *Alnus acuminata* (Aliso) y *Podocarpus oleifolius* (Saucecillo) en la provincia de Chota, mediante el empleo del método alcalino con diferentes concentraciones de hidróxido de sodio (5 %, 10 %, 15 % y 20 %). El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo experimental y diseño completamente al azar unifactorial con tres réplicas por tratamiento. Se evaluaron los parámetros de rendimiento, pH, contenido de humedad, densidad aparente y longitud de fibras, complementados con observaciones morfológicas de la pulpa. Los resultados mostraron que las concentraciones intermedias (10 % y 15 %) permitieron una mayor eficiencia en la eliminación de lignina y hemicelulosa, obteniéndose fibras más flexibles, homogéneas y de color claro. En el caso del Aliso, los mejores rendimientos se alcanzaron al 10 % (74.9 %) y 15 % (67.0 %), mientras que en el saucecillo fueron del 79.2 % y 63.2 %, respectivamente. Las concentraciones bajas (5 %) conservaron lignina residual, y las altas (20 %) provocaron degradación de la celulosa. Las propiedades físico-morfológicas obtenidas pH neutro (6.7-7.2), baja humedad (1.9-2.6 %) y densidad entre 0.52-0.63 g/cm³ fueron comparables con las de la celulosa comercial. En conclusión, para la obtención de pulpa celulósica, contribuyendo al aprovechamiento responsable de los recursos forestales locales y promoviendo la valorización de residuos bajo un enfoque de economía circular.

Palabras clave: *Alnus acuminata*, Celulosa, *Podocarpus oleifolius*, Tratamiento alcalino, Rendimiento.

Abstract

The objective of this research was to determine the yield and physical-morphological properties of cellulose obtained from *Alnus acuminata* (Alder) and *Podocarpus oleifolius* (Willow) residues in the province of Chota, using the alkaline method with different concentrations of sodium hydroxide (5%, 10%, 15% and 20%). The study was developed under a quantitative approach, experimental type and completely randomized design with three replicates per treatment. The parameters of yield, pH, moisture content, apparent density and fiber length were evaluated, complemented by morphological observations of the pulp. The results showed that intermediate concentrations (10% and 15%) allowed greater efficiency in the removal of lignin and hemicellulose, obtaining more flexible, homogeneous and light-colored fibers. In the case of Aliso, the best yields were achieved at 10% (74.9%) and 15% (67.0%), while in saucecillo they were 79.2% and 63.2%, respectively. Low concentrations (5%) preserved residual lignin, and high concentrations (20%) caused cellulose degradation. The physical-morphological properties obtained with neutral pH (6.7-7.2), low humidity (1.9-2.6%), and density between 0.52-0.63 g/cm³ were comparable to those of commercial cellulose. In conclusion, aliso and saucecillo residues proved to be a viable and sustainable source for obtaining cellulosic pulp, contributing to the responsible use of local forest resources and promoting waste recovery under a circular economy approach.

Keywords: Cellulose, alkaline treatment, *Alnus acuminata*, *Podocarpus oleifolius*, yield.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La producción de celulosa es un proceso industrial clave para la fabricación de papel y productos derivados, representando una parte significativa del mercado global de productos forestales. Sin embargo, la dependencia de fuentes madereras tradicionales ha planteado preocupaciones sobre la sostenibilidad y el impacto ambiental. La deforestación y la degradación de los bosques siguen siendo problemas críticos a nivel mundial, impulsando la búsqueda de fuentes alternativas y más sostenibles de celulosa, como los residuos agrícolas, forestales y otras plantas no maderables (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2019).

En el Perú se enfrentan desafíos similares en la industria papelera y de celulosa, una estrategia que podría ayudar a la sostenibilidad de este sector es el uso de residuos forestales y plantas nativas como materias primas para producir pulpa de celulosa. Esto resalta el potencial de los residuos forestales como una fuente viable de celulosa que disminuiría la presión sobre los bosques y fomentaría el uso eficiente de los recursos disponibles en el país (Mayta et al., 2023).

En la provincia de Chota, región Cajamarca, la abundancia de especies vegetales como el aliso (*Alnus acuminata*) y saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) ofrece una oportunidad para la producción de pulpa de celulosa a partir de residuos locales, investigaciones regionales han comenzado a explorar esta posibilidad, destacando no solo el beneficio ambiental sino también el impacto socioeconómico positivo para las comunidades locales, la implementación de estas prácticas podría mejorar la gestión de residuos y generar nuevas fuentes de ingresos para la región

Ante esta situación, en la presente investigación se planteó el siguiente problema: ¿Cuál es el rendimiento de la pulpa de celulosa obtenida a partir de residuos de aliso, y saucecillo en la provincia de Chota utilizando el tratamiento alcalino?

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el rendimiento de celulosa obtenida a partir de residuos de *Alnus acuminata* y *Podocarpus oleifolius* en la provincia de Chota?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye el método alcalino en cuatro concentraciones de NaOH (5, 10, 15 y 20%) en la obtención de celulosa a partir de los residuos de *Alnus acuminata* y *Podocarpus oleifolius*?
- ¿Cuáles son las propiedades físico-morfológicas que presenta la pulpa de celulosa obtenida del *Alnus acuminata* y *Podocarpus oleifolius*?
- ¿Qué diferencias existen en las propiedades físico-morfológicas entre la pulpa de celulosa obtenida del *Alnus acuminata* y *Podocarpus oleifolius* y la celulosa estándar comercial?

1.3. Justificación

La presente investigación tuvo como objetivo abordar los desafíos críticos que enfrenta la producción de pulpa de celulosa a partir de residuos vegetales, destacando la importancia de soluciones innovadoras y sostenibles. Según Martínez y López (2021), la industria papelera en el Perú enfrenta retos significativos debido a la dependencia de fuentes madereras tradicionales, lo que resalta la necesidad de explorar fuentes alternativas de celulosa.

Este estudio fue relevante debido al impacto social que puede tener la implementación de una planta de procesamiento de pulpa de celulosa en Chota, la cual puede ofrecer una solución viable al manejo de residuos vegetales y contribuir a la economía local, abordar los aspectos sociales y ambientales es crucial para garantizar la aceptación y el éxito del proyecto en la comunidad local. Asimismo, contribuye al conocimiento académico y práctico en el campo de la Ingeniería Forestal y Ambiental, ofreciendo un modelo replicable y adaptable a diferentes contextos y necesidades.

La propuesta abordó tantos aspectos ambientales, demostrando la importancia de utilizar residuos vegetales para la producción de pulpa de celulosa, esta investigación proporcionará datos y análisis sólidos que pueden ser utilizados por autoridades locales y nacionales para planificar y ejecutar proyectos de aprovechamiento sostenible de recursos vegetales en otras regiones del Perú (Jirón & Rodríguez, 2022).

Además de esto la investigación tuvo como finalidad promover el desarrollo de tecnologías limpias y sustentables que disminuyan la presión sobre los bosques naturales y favorecer una economía circular basada en la utilización de residuos. La puesta en marcha de esta iniciativa no solo traerá una diversificación en las materias primas para la industria papelera, sino también creará oportunidades laborales, incentivará la innovación tecnológica y fortalecerá las capacidades locales en cuanto al cuidado del medio ambiente y la producción industrial sustentable.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar el rendimiento de celulosa obtenida a partir de residuos de aliso (*Alnus acuminata*) y saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) en la provincia de Chota.

1.4.2. Objetivos específicos

- Emplear el método alcalino en cuatro concentraciones de NaOH (5, 10, 15, 20%) para la obtención de celulosa a partir de los residuos de *Alnus acuminata* y *Podocarpus oleifolius*.
- Determinar las propiedades físico-morfológicas de la pulpa de celulosa obtenida de los residuos de *Alnus acuminata* y *Podocarpus oleifolius*
- Comparar las propiedades físico- morfológicas de pulpa de celulosa de *Alnus acuminata* y *Podocarpus oleifolius* con celulosa comercial.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Atúncar et al. (2025) realizaron un estudio en la ciudad de José de Caldas-Colombia, tuvieron como objetivo evaluar el predominio de la celulosa nanofibrilar (CNF) de bambú (*Guadua angustifolia* Kunth.) en las propiedades físico-mecánicas del papel elaborado, fibras recicladas de Double Kraft Liner (DKL) y una mezcla de ambas, se obtuvieron cañas de bambú de la especie *Guadua angustifolia* Kunth, y se astillaron para obtener fibra, la pulpa se obtuvo mediante pulpaje químico alcalino, y la CNF se produjo utilizando el método TEMPO con desfibrilación a 25.000 RPM, el papel se elaboró agregando CNF en concentraciones de 0, 2, 4 y 6 %, y se evaluaron las propiedades físico-mecánicas, se observó que la adición de CNF disminuyó el espesor, permeabilidad y resistencia al rasgado del papel. Sin embargo, aumentó la densidad, resistencia a la elasticidad y al plegado. La investigación concluye que el gramaje del papel de bambú disminuyó con la adición de CNF, mientras que en el papel de DKL, aumentó al 2% y luego se mantuvo constante, la adición de CNF mejoró ciertas propiedades físico-mecánicas del papel, como la firmeza a la tensión y al plegado, lo que sugiere su potencial uso en aplicaciones como envoltura de alimentos.

Cabascango et al. (2021) realizó un trabajo de investigación en la ciudad de Babahoyo-Ecuador, este trabajo busca presentar las diferentes estrategias empleadas para extraer celulosa a partir de desechos agroindustriales. Se abordan dos métodos en el documento: el método alcalino y el método Kraft. Se destaca que el método alcalino se caracteriza por utilizar NaOH para separar tanto la hemicelulosa como la lignina. Por otro lado, se describe el método Kraft que implica la separación de las fibras de celulosa al disolver la lignina mediante una digestión utilizando una

mezcla de NaOH y Na₂S. Ambos métodos incluyen la técnica de blanqueamiento basada en la utilización de diferentes proporciones de disoluciones de cloro. Todo lo mencionado se fundamenta en investigaciones que consideran los residuos agroindustriales como materia prima para obtener celulosa.

Osalde & Pedraza (2021) trabajó su investigación en Querétaro- México con el propósito de reutilizar desechos orgánicos en forma de cáscaras de naranja y flores de *Hibiscus sabdariffa* para producir nanofibras de celulosa. Aprovecharon la alta concentración de celulosa presente en estos residuos vegetales. El proceso se dividió en tres etapas: recolección de desechos orgánicos; extracción de la celulosa a través de dos métodos diferentes (lavado previo seguido por blanqueamiento e hidrólisis ácida; y extracción asistida por explosión de vapor); y finalmente la obtención de las nanofibras mediante electrohilado. Las nanocelulosas cristalinas se disolvieron en solventes como DES (líquido iónico derivado del amoníaco), TFA (ácido trifluoroacético) y DMSO (dimetilsulfóxido) para mejorar el proceso de electrohilado. Los resultados más destacados se obtuvieron al utilizar una concentración de 4.5 % de celulosa en peso/volumen (p/v), un flujo de 1000 µL/hora y un voltaje de 20 kV a una distancia de 10 cm del colector. Se empleó una mezcla de celulosa/PVA y DMSO como disolventes en el proceso. La estrategia de reutilización de residuos orgánicos se presenta como una opción prometedora para la producción de nanofibras de celulosa que podrían tener aplicaciones significativas en la industria.

Parra (2018) en su trabajo realizado en Nuevo León- México, tuvo como objetivo estudiar la viabilidad de utilizar especies ajenas a la industria del papel, como *Alnus acuminata*, en la producción de pulpa celulósica Kraft, y comparar sus características con especies comunes como *Pinus pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl, y *Eucalyptus camaldulensis* Dehn, se trabajó bajo las normas TAPPI, utilizando un diseño experimental factorial 2*2*2 donde las

variables de respuesta fueron temperatura, tiempo y carga de reactivo, las condiciones de cocción incluyeron temperaturas entre 160°C y 175°C, tiempos de 40 a 95 minutos, y cargas de reactivos de 16 a 25%, las astillas de *Pinus pseudostrobus* L., *Quercus laurina*, y *Eucalyptus camaldulensis* fueron proporcionadas por SCRIBE, mientras que la madera de *Alnus acuminata* fue obtenida de la comunidad indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro, Michoacán, *Eucalyptus camaldulensis* presentó el mayor rendimiento (49.2%) y menores rechazos (1,1%), *Alnus acuminata* mostró un rendimiento del 47.1%. Se concluye que todas las especies, incluidas las no tradicionales como *Alnus acuminata*, demostraron ser viables para la producción de pulpa Kraft de buena calidad, *Eucalyptus camaldulensis* y *Quercus laurina* presentaron los mejores resultados en términos de rendimiento y características físico-mecánicas, mientras que *Alnus acuminata* ofreció una alternativa competitiva, destacando por su bajo porcentaje de rechazos y rendimiento comparable.

Jiménez et al. (2017) llevaron a cabo una investigación en Colombia para caracterizar fisicoquímicamente cuatro especies de agaves con potencial para la elaboración de pulpa de celulosa, el estudio se centró en las especies *Agave angustifolia*, *A. tequilana*, *A. salmiana* y *A. lechuguilla*, evaluando sus características mediante análisis físicos y químicos, los análisis incluyeron mediciones de humedad, molienda, tamizaje, y pruebas TGA y DTGA para determinar la disposición química y la calidad de las fibras. Los resultados mostraron que *A. angustifolia* y *A. tequilana* tenían un tamaño óptimo de fibra y altos porcentajes de celulosa (44.3% y 36.8% respectivamente), la investigación concluyó que estas dos especies son las más adecuadas para la obtención de pulpa de celulosa debido a su alta calidad de fibra y contenido de celulosa, destacando su potencial como materias primas sostenibles para la industria del papel.

Sánchez (2017) el objetivo de este estudio fue diseñar e implementar un modelo para optimizar el nivel de inventarios en los estanques de almacenamiento de pulpa en la planta Santa

Fe en Santiago de Chile de CMPC Celulosa, con el fin de reducir las pérdidas durante las paradas de planta, específicamente en las áreas de secado de fibra y evaporadores, se utilizó un análisis de datos históricos de la planta y un modelo en Excel que consideró la aleatoriedad de las fallas, con el objetivo de definir el nivel óptimo de almacenamiento de pulpa blanca. También se aplicó un enfoque ético para analizar los efectos sociales, ambientales y económicos del proyecto, Desde una perspectiva ética y de sostenibilidad, el estudio concluyó que la optimización del inventario contribuyó a una reducción aproximada del 25 % en el desperdicio de recursos, generando beneficios ambientales directos, como la disminución de residuos industriales, y beneficios sociales, al mejorar la estabilidad laboral durante las paradas de planta. En términos económicos, el modelo permitió incrementar la rentabilidad operativa en alrededor del 15 %, fortaleciendo la toma de decisiones estratégicas dentro de la empresa, el estudio concluyó que el nivel óptimo de almacenamiento en los estanques de pulpa blanca no es único, sino que depende de diversas variables, principalmente la frecuencia y duración de las fallas, el enfoque ético del modelo es replicable en otros contextos y su implementación mejora los aspectos económicos, ambientales y sociales dentro de la empresa.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Ramos & Torres (2023) realizaron su investigación en la ciudad de Jaén, la tesis tuvo como objetivo establecer la influencia del método de pulpeo en la extracción de celulosa de la pulpa de café de la cooperativa Coop Sol&Cafe, la investigación fue de carácter experimental y utilizó un diseño factorial para decretar la concentración óptima de los reactivos H_2SO_4 , $NaClO$, y $NaOH$, así como el tiempo óptimo del proceso, se llevaron a cabo tres etapas: (1) separación de hemicelulosa mediante hidrólisis con H_2SO_4 , (2) separación de lignina con $NaClO$, y (3) extracción final de lignina con $NaOH$; la muestra estuvo compuesta por 10 kg de pulpa de café, se concluyó

que el método de pulpeo influyó en la extracción de celulosa con un rendimiento del 18,86%. En la primera etapa, la concentración de H_2SO_4 al 0,4% durante 60 minutos fue la más efectiva para eliminar hemicelulosa, en la segunda etapa, la separación de lignina con NaClO al 0,35% durante 60 minutos mostró mejores resultados, en la tercera etapa, se concluyó que la extracción de lignina con NaOH al 5% durante 60 minutos fue la opción óptima; el estudio permitió identificar las concentraciones óptimas de los reactivos y los tiempos adecuados para cada etapa del proceso.

Mayta et al. (2023) desarrollaron su investigación en Lima, el objetivo fue evaluar la extracción de fibras celulósicas a partir de residuos de hojas de maíz en Perú, promoviendo la valorización de residuos agroindustriales y la reducción del impacto ambiental generado por su quema indiscriminada, se empleó un proceso de extracción de celulosa utilizando métodos químicos, se recolectaron residuos de hojas de maíz tras la cosecha, que fueron tratados con soluciones alcalinas para eliminar impurezas y separar las fibras de celulosa, los productos obtenidos fueron analizados mediante técnicas de difracción de rayos X, espectroscopía FT-IR y microscopía electrónica para determinar la pureza, estructura y morfología de las fibras extraídas, el rendimiento de la extracción de celulosa fue del 79.4%, con una pureza de 72.3%. El análisis por difracción de rayos X mostró un patrón característico de celulosa tipo I, con un índice de cristalinidad de 45, la espectroscopía FT-IR identificó las bandas espectrales correspondientes a la celulosa, y la microscopía electrónica reveló que la estructura de las fibras cambió de una forma irregular y rugosa a una fibrilada típica de la celulosa. El estudio demostró la viabilidad de la extracción de celulosa a partir de residuos de hojas de maíz, ofreciendo una alternativa sostenible para su valorización, este enfoque contribuyó a reducir el impacto ambiental de los residuos agroindustriales en Perú, al mismo tiempo que fomentó su reutilización en sectores como la

biotecnología, el papel y los biocompuestos, contribuyendo a la economía circular y la sostenibilidad industrial.

Ramos (2023) realizó su investigación en la ciudad de Lima, el objetivo de esta investigación fue diseñar un proceso a escala piloto para la obtención de nano fibras de celulosa a partir de fibras de *Jarava ichu* de Perú, utilizando pretratamiento por explosión de vapor asistida por ácido acético y evaluando la predisposición de lignina, la muestra utilizada consistió en fibras de *Jarava ichu* obtenidas de Perú, se procesaron 15 kg de fibra in natura por lote en el reactor de pretratamiento diseñado, el pretratamiento de las fibras se llevó a cabo mediante explosión de vapor asistida por ácido acético, las simulaciones del reactor se realizaron para un rango de temperaturas de 150 a 220°C y concentraciones de ácido acético de 0.1 a 0.3 g/g de fibra seca, se empleó un modelo cinético de primer orden, tomado de la literatura, para material lignocelulósico bajo condiciones de vapor, ajustado y validado durante el estudio, a partir de los resultados obtenidos, se dimensionó un reactor de pretratamiento de 600 L de capacidad, con un enfoque en el blanqueamiento, hidrólisis ácida, separación y concentración de nanofibras de celulosa con un ancho de 25 nm, se concluyó que el mejor rendimiento de predisposición de lignina fue del 92%, logrado a 150°C con una concentración de ácido acético de 0.1 g/g de fibra seca y un tiempo de residencia de 14 minutos, el reactor diseñado permitió tratar 15 kg de fibra por lote, con un rendimiento global de nanofibras del 23%, la investigación concluyó que el tratamiento experimental es viable técnica y económicamente con el fin de obtener nanofibras de celulosa a partir de *Jarava ichu*.

Herrera y Hoyos (2021) en su investigación se planteó como objetivo general la fabricación de papel ecológico usando residuos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y remolacha (*Beta vulgaris*), en la localidad de Chiclayo; el estudio tuvo un enfoque básico y un diseño

preexperimental. La muestra consistió en 1 kg cada uno de bagazo de caña de azúcar y bagazo de remolacha; los datos fueron recopilados mediante fichas de observación para evaluar el comportamiento físico y óptico del papel fabricado. El análisis indicó que la combinación del 25 % de bagazo de caña y el 75 % de bagazo de remolacha mostró un mejor desempeño en cuanto a las propiedades físicas y ópticas del papel. En cuanto a las propiedades químicas, el bagazo de caña tenía un contenido del 75.86 % en beta celulosa y 70.58 % en celulosa, mientras que la morfología mostraba una longitud promedio de 2.981 mm, diámetro medio de 8.976 micras, lumen de 4.549 micras y pared celular de 4.427 micras; se concluyó que la mezcla de bagazo de caña y remolacha podría ser una alternativa viable para la producción de papel respetuoso con el medio ambiente, presentando propiedades químicas y morfológicas aceptables.

2.2. Bases teórico - científicas

2.2.1. *Aliso (Alnus acuminata)*

2.2.1.1. Clasificación taxonómica del aliso Según la clasificación APG (2021) el aliso se clasifica de la siguiente manera:

Reino: Plantae

Filo: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fagales

Familia: Betulaceae

Género: *Alnus*

Especie: *Alnus acuminata*

Nombres comunes: "Aliso", "aliso de montaña"

2.2.1.2. Morfología del aliso. El aliso es un árbol de hoja caduca que puede llegar a medir entre 15 y 30 metros de altura; su tronco es rectilíneo y cilíndrico y posee una corteza de tonalidad grisácea que tiende a volverse áspera y agrietada conforme envejece. Sus hojas son simples y alternas de forma ovalada o elíptica; un borde dentado y una extremidad puntiaguda; presentando un verde brillante en el haz y tonos más claros en el envés. Las flores tienen sexos separados: las masculinas se agrupan en racimos colgantes y las femeninas en racimos pequeños erectos. Los frutos son infrutescencias pequeñas y leñosas que se asemejan a piñas en miniatura y contienen semillas aladas que son dispersadas por el viento. Los frutos son pequeñas infrutescencias leñosas que parecen piñas diminutas, dentro de las cuales se encuentran las semillas aladas que se despiden por el viento (APG, 2021).

2.2.1.3. Propiedades físicas y mecánicas del aliso. La madera de aliso se destaca por ser ligera a moderada en peso y tener una textura finamente granulada y rectilínea que facilita su manejo en el trabajo artesanal o industrializado. Se caracteriza por tener un contenido de humedad relativamente alto y una densidad básica moderada que afectaría su estabilidad dimensional. Las variaciones volumétricas son mínimas en comparación a otras especies arbóreas lo cual la hace idónea para la elaboración de mobiliario y estructuras ligeras (Rosales, 2025).

Tabla 1

Propiedades físicas del aliso

Propiedad	Característica
Color	La albura es de color crema a amarillo pálido, mientras que el duramen varía entre marrón claro y rojizo.

Densidad	Es una madera liviana a media, con valores entre 400-550 kg/m ³ (madera seca al aire).
Porosidad	Madera de porosidad difusa con anillos de crecimiento poco visibles.
Humedad de equilibrio	Se encuentra entre 8-14% en condiciones normales.
Contracción volumétrica	Moderada, con baja tendencia a deformarse durante el secado.
Durabilidad natural	Moderadamente resistente a hongos y plagas, aunque puede requerir tratamiento protector.

Nota: Rosales (2025).

Tabla 2

Propiedades mecánicas del aliso

Propiedades	Características
Resistencia a la compresión paralela a la fibra	Moderada, adecuada para estructuras ligeras.
Módulo de elasticidad (MOE)	Entre 7-10 GPa, lo que indica una flexibilidad moderada.
Resistencia a la flexión estática (MOR)	Buena, lo que la hace apta para usos estructurales ligeros.
Dureza Janka	Baja a moderada, por lo que es fácil de trabajar con herramientas manuales y mecánicas.
Resistencia al impacto	Buena, adecuada para muebles y estructuras sometidas a esfuerzos mecánicos.

Nota: Rosales (2025).

2.2.2. *Saucecillo (Podocarpus oleifolius)*

2.2.2.1. Clasificación taxonómica del saucecillo. Según la clasificación del APG, (2021)

el Saucecillo se clasifica de la siguiente manera:

Reino: Plantae

Filo: Tracheophyta

Clase: Pinopsida

Orden: Podocarpaceae

Familia: Podocarpaceae

Género: Podocarpus L'Hér. ex Pers.

Especie: *Podocarpus oleifolius* D. Don

Nombre común: "saucecillo"

2.2.2.2. Morfología del saucecillo. El saucecillo es un árbol perenne que puede alcanzar hasta 20 metros de altura, su tronco es recto y delgado, con una corteza grisácea y escamosa, las hojas son lineares a lanceoladas, coriáceas y de color verde oscuro, las estructuras reproductivas son conos pequeños y axilares (APG, 2021).

2.2.2.3. Propiedades físicas y mecánicas del saucecillo. El *Podocarpus oleifolius*, conocido como saucecillo, es una madera de densidad media a alta que tiene un peso específico de 550 a 750 kg/m³ aproximadamente. Su textura es finamente graneada y su veta es rectilínea o ligeramente entrelazada lo que facilitará el trabajo sobre ella. Su resistencia natural es alta ya que presenta una buena resistencia frente a hongos e insectos por lo cual es considerada ideal para ser usada en aplicaciones estructurales y en trabajos de carpintería. Además, muestra una contracción moderada que le brinda una buena estabilidad dimensional en general.

Tabla 3*Propiedades físicas del saucecillo*

Propiedad	Característica
Color	Albura amarillo pálido a crema; duramen marrón claro a rojizo.
Densidad	Madera de densidad media a alta, con valores entre 550-750 kg/m ³ (madera seca al aire).
Porosidad	Madera de textura fina y uniforme, con grano recto o ligeramente entrelazado.
Humedad de equilibrio	Se encuentra entre 10-14 %, dependiendo del ambiente.
Contracción volumétrica	Moderada, con baja tendencia a deformarse, lo que la hace dimensionalmente estable.
Durabilidad natural	Alta resistencia a hongos e insectos, adecuada para exteriores y usos estructurales.

Nota: International Tropical Timber Organization, (2013).

Tabla 4*Propiedades mecánicas del saucecillo*

Propiedades	Características
Resistencia a la compresión paralela a la fibra	Alta, lo que la hace adecuada para estructuras de carga.
Módulo de elasticidad (MOE)	10-14 GPa, lo que indica buena capacidad de flexión y resistencia estructural.
Resistencia a la flexión estática (MOR)	Elevada, apta para vigas y soportes.
Dureza Janka	Moderada a alta, resistente al desgaste y adecuada para pisos y revestimientos.
Resistencia al impacto	Alta, ideal para mobiliario pesado y aplicaciones estructurales.

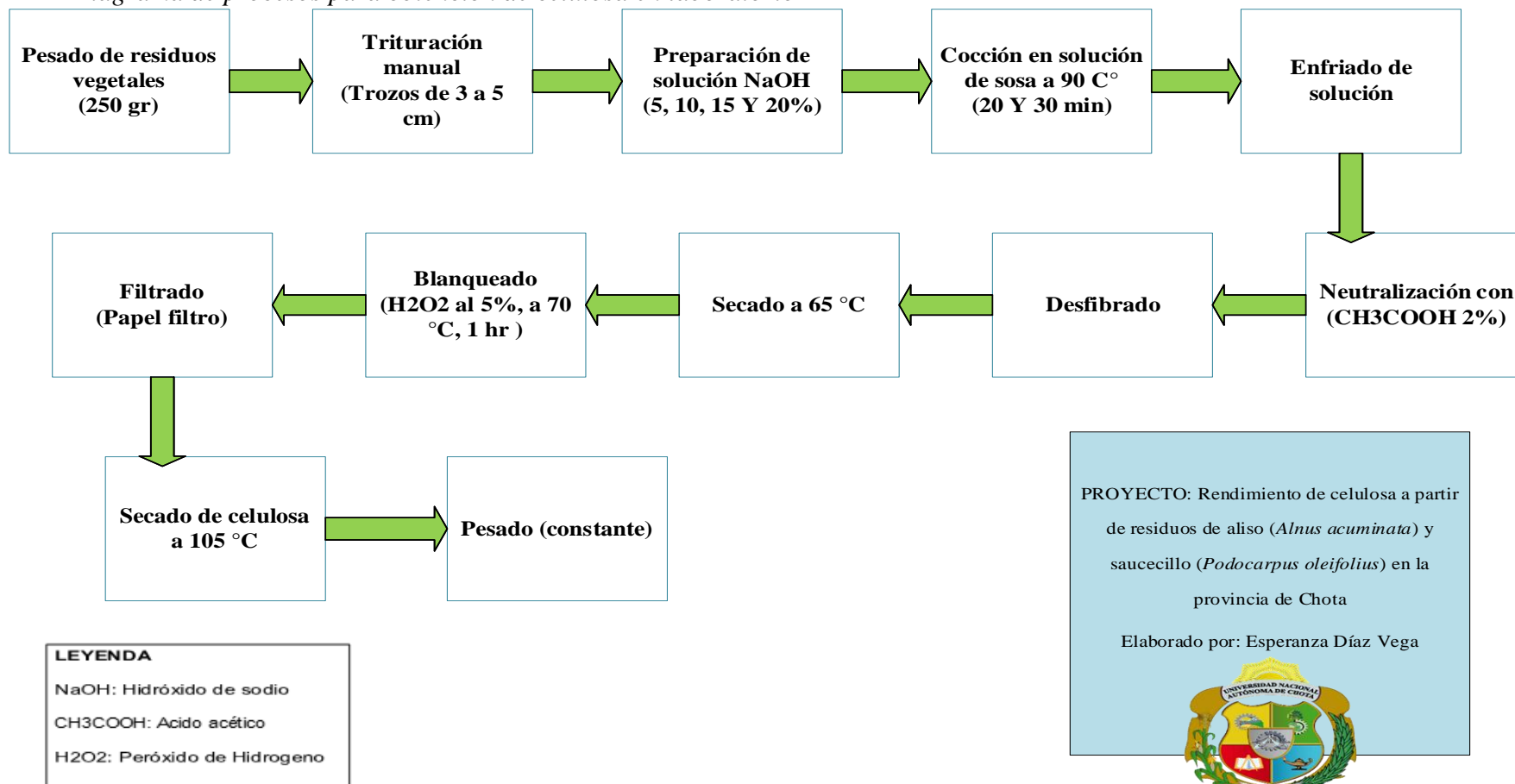
Nota: International Tropical Timber Organization, (2013).

2.2.3. Método alcalino

El tratamiento alcalino es un proceso utilizado en la producción de pulpa de celulosa que involucra el uso de soluciones alcalinas, principalmente hidróxido de sodio (NaOH), para disolver la lignina y otras impurezas presentes en la materia prima vegetal, este método permite liberar las fibras de celulosa, facilitando su posterior procesamiento. Durante el tratamiento, las astillas de madera o residuos vegetales se mezclan con la solución alcalina y se someten a temperaturas entre 70 a 90 °C, lo que resulta una pulpa de celulosa con bajo contenido de lignina (Sharma et al., 2019).

Figura 1.

Diagrama de procesos para obtención de celulosa en laboratorio



Nota: Técnicas de extracción de celulosa en residuos agroindustriales, García et al. (2017).

2.2.4. Normas forestales

2.2.4.1. Ley N° 29763. En el Perú se rige la gestión de los recursos forestales por la Ley Forestal y de Fauna Silvestre (N° 29763), la cual establece normas para la conservación y uso responsable de los bosques y la fauna silvestre. Esta ley fomenta prácticas forestales sustentables y el cuidado adecuado de los recursos naturales mediante actividades de reforestación, además, garantiza la participación activa de las comunidades locales en el manejo forestal (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2018).

2.2.4.2. D.S. N° 019-2015-MINAGRI. El Reglamento de Zonificación Forestal establece los criterios para clasificar y organizar los suelos forestales según su idoneidad y potencial de uso para facilitar la planificación territorial y la gestión sustentable de los bosques garantizando que las actividades económicas se desarrollan sin comprometer la biodiversidad ni los servicios del ecosistema. Además, delineando directrices para definir áreas de conservación productivas y de recuperación para optimizar el uso de recursos naturales en equilibrio ambiental y en comunión colectiva local (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2015).

2.2.4.3. D.S. N° 020-2015-MINAGRI. La normativa para la gestión de plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Perú regula la establecimiento y cuidado adecuada para promover la producción sustentable tanto en términos forestales como en otros productos derivados del bosque. Este marco legal busca favorecer el uso responsable de especies autóctonas y extranjeras adaptadas al clima local al mismo tiempo que incentiva prácticas agrícolas que ayudan en la recuperación del suelo dañado y en la disminución de la tala indiscriminada. Además de eso regula las normas para obtener autorizaciones y vigilar el medio ambiente y certificar la producción forestal para asegurar la sustentabilidad de la actividad en favor de la economía local y el ecosistema (MINAGRI, 2015).

2.2.5. Impacto ambiental y normativa para el tratamiento de desechos de laboratorio

El uso de residuos vegetales para la producción de pulpa de celulosa tiene el potencial de reducir la deforestación y disminuir la dependencia de fuentes madereras tradicionales, al aprovechar residuos agrícolas y forestales, se puede mitigar el impacto ambiental asociado con la extracción de madera (FAO, 2019).

La correcta gestión de residuos químicos generados durante el procesamiento de biomasa vegetal es esencial para velar por la seguridad del laboratorio y el cuidado del medio ambiente. De acuerdo a lo establecido en la Ley General del Ambiente (N° 28611) y el Reglamento Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (DS N° 005-2012-TR), los desechos peligrosos deben ser categorizados apropiadamente y sometidos a neutralización antes de ser almacenados temporalmente en condiciones seguras para luego ser dispuestos correctamente mediante gestores debidamente autorizados.

En el contexto del tratamiento de la celulosa en laboratorio es importante neutralizar cuidadosamente las soluciones alcalinas como el NaOH usando ácido acético para llegar a un pH neutro y controlar la descomposición de residuos oxidantes como el H₂O₂. Estos pasos son parte fundamental de un protocolo de gestión siguiendo las buenas prácticas de laboratorio (BPL), lo que fomentará una investigación responsable y sustentable según lo indicado (MINAM, 2017).

2.2.5.1. DS N.º 014-2017-MINAM – Reglamento para la Gestión Integral de Residuos Sólidos. El decreto supremo establece las regulaciones legales para el manejo completo de los desechos sólidos en el Perú; esto abarca también los desechos peligrosos producidos en los laboratorios. Esta regla define los criterios fundamentales y las obligaciones para llevar a cabo un manejo adecuado de los desechos desde su creación hasta su disposición final. En sus apartados se resalta la importancia de la segregación en la fuente de origen de los desperdicios; además se hace

hincapié en la necesidad de etiquetarlos siguiendo el sistema GHS, necesidad de almacenamiento temporal seguro, y la obligación esencial de entregarlos únicamente a empresas operadoras autorizadas por el MINAM.

2.2.5.2. RM N.º 226-2010-MINAM – Protocolo de Manejo de Residuos Químicos en Laboratorios. Documento técnico que establece las directrices mínimas para una gestión segura y ambientalmente responsable de los desechos producidos en laboratorios. Este protocolo es de cumplimiento obligatorio en instituciones universitarias y centros de investigación educativa y contempla medidas como la identificación y clasificación adecuada de desechos peligrosos; el uso de hojas de seguridad (MSDS); el etiquetado obligatorio; y el almacenamiento temporal bajo condiciones controladas. Además, fomenta la implementación de medidas de reducción y neutralización anticipada cuando sea apropiado hacerlo. Sube el listón en cuanto a la importancia de que el personal esté formado en Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL) y tenga un protocolo de emergencia en caso de vertidos garantizando la trazabilidad y seguridad durante todo el proceso de gestión de desechos. fichas de seguridad (MSDS).

2.2.6. *Plan de manejo de residuos químicos*

Es importante tener en cuenta que si vamos a obtener pulpa celulósica y vamos a trabajar con productos químicos, debemos considerar los procedimientos para la identificación, almacenamiento, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de estos residuos, con el objetivo de proteger la salud humana y el medio ambiente.

2.2.6.1. Clasificación de los residuos químicos. Clasificación de los residuos químicos. Los residuos químicos peligrosos generados en los centros de investigación se clasifican según sus propiedades físicas y químicas, siguiendo las directrices del Decreto Supremo N° 057-2004-PCM (Ministerio de Salud [MINSA], 2018).

Tabla 5*Clasificación de los residuos químicos según su composición química*

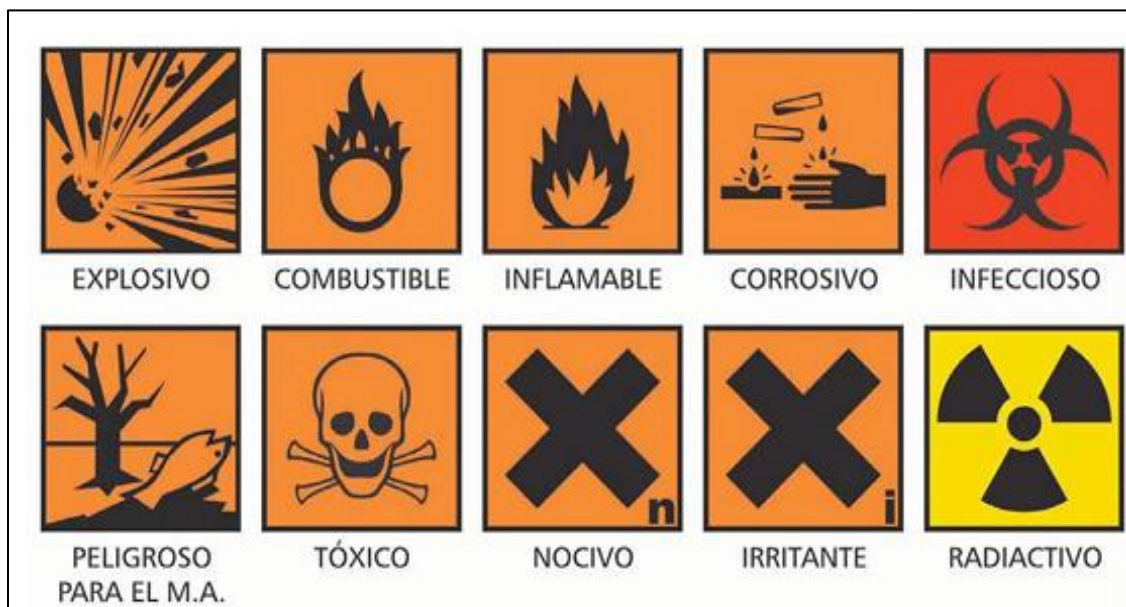
Grupo de sustancias	Composición química de los residuos químicos
Grupo I: Disolventes halogenados	En este grupo se encuentran los productos con características toxicológicas diversas, y efectos específicos sobre la salud. Así tenemos diclorometano, cloroformo, tetracloruro de carbono, tetracloroetilo,
Grupo II: Disolventes no	Esta categoría incluye líquidos orgánicos con menos del 2% de halógenos. Son inflamables y tóxicos, e incluye alcoholes, amidas, y aminas.
Grupo III: Disoluciones Acuosas con Metales Pesados	Se clasifican dos tipos de soluciones acuosas: las libres de metales pesados, que incluyen soluciones básicas (hidróxido sódico), otras soluciones inorgánicas (reveladores, sulfatos, fosfatos, cloruros) y soluciones de colorantes (naranja de metilo, fenolftaleína); y las que contienen metales pesados,
Grupo IV: Ácidos	Este grupo incluye ácidos inorgánicos y sus soluciones acuosas concentradas (más del 10% en volumen). Mezclarlos puede ser peligroso, generando reacciones químicas con gases tóxicos.
Grupo V: Aceites	Este grupo corresponde a los aceites minerales
Grupo VI: Sólidos	Este grupo se divide en dos subgrupos: Los sólidos orgánicos e inorgánicos.
Grupo VII: Especiales	Este grupo incluye productos químicos, ya sean sólidos o líquidos, que son altamente peligrosos y no pueden ser clasificados en otros grupos, así como reactivos puros o caducados. Estos productos no deben mezclarse entre sí ni con residuos de otros grupos. Ejemplos de estos incluyen oxidantes fuertes (como peróxidos),

Nota: D. S. N° 057-2004-PCM

Para evitar fugas y proteger al personal, los residuos químicos deben almacenarse en recipientes herméticos, resistentes, anti-perforaciones y rígidos. Para almacenar los residuos químicos líquidos (ácidos, bases, disolventes, etc.) se debe utilizar envases de vidrio con capacidad 2.5 L y 4 L y para los residuos químicos sólidos envases de plástico con capacidad de 1 Kg. Es obligatorio rotular correctamente todos los recipientes para su identificación. Además, se debe designar un espacio específico para su almacenamiento. Los recipientes se deberán rotular con etiquetas diseñadas, están constan de dos partes. La primera identifica el grupo de residuos, las fechas de recolección, incluyendo pictogramas según el D.S. 0572004/PCM para indicar los peligros. La segunda lista los reactivos que pueden incluirse en ese grupo según sus características químicas. La etiqueta se coloca directamente en el recipiente (Riascos y Tupaz, 2018).

Figura 2.

Símbolos pictóricos usados para nombrar residuos peligrosos



Nota: MINSA (2018).

2.2.6.2. Desactivación de los residuos químicos. Los residuos generados en el laboratorio presentan diversas características y cantidades, lo que influye en el método de eliminación elegido. Los factores a considerar incluyen el volumen de residuos, la frecuencia de generación, la facilidad para su neutralización, la posibilidad de recuperación o reciclaje, el costo del tratamiento y el tiempo disponible (Jhonatan, 2023).

Para eliminar grandes cantidades de hidróxido de sodio o ácido acético, se requiere una neutralización cuidadosa. El hidróxido de sodio se neutraliza con un ácido débil (como el ácido acético), mientras que el ácido acético se neutraliza con una base fuerte (como el hidróxido de sodio o el hidróxido de potasio). En ambos casos, la reacción exotérmica debe controlarse añadiendo lentamente el neutralizante, monitoreando el pH y usando equipo de protección personal. Una vez neutralizada, la solución se diluye con agua antes de su eliminación al desagüe (Riascos y Tupaz, 2018).

La eliminación del peróxido de hidrógeno depende de su concentración y las regulaciones locales. Generalmente, se neutraliza con un agente reductor (como permanganato de potasio o bisulfito de sodio) bajo supervisión experta, y luego se diluye con agua antes de desecharse al desagüe.

Ciertos residuos no peligrosos y biodegradables, como soluciones diluidas de alcoholes y compuestos orgánicos e inorgánicos comunes (acetatos, almidón, aminoácidos, sales, etc.), pueden desecharse por el desagüe en pequeñas cantidades, siempre que se respeten los límites legales de vertido a aguas superficiales y alcantarillado.

2.2.6.3. Segregación de residuos químicos. Consiste en la separación de los residuos en el punto de generación ubicándolos de acuerdo a su composición química. Los residuos químicos

sólidos y líquidos se separan de acuerdo con su peligrosidad en los recipientes respectivos (Luciana, 2018).

En la segregación es importante evitar la mezcla de residuos incompatibles, es decir, los que reaccionan violentamente o exotérmicamente. Así como el Peróxido de hidrógeno que reacciona con ácidos y álcalis concentrados, alcoholes, aldehídos, fenol, hipoclorito de sodio, yodo, soluciones con metales. El hidróxido de sodio reacciona particularmente violenta con ácidos fuertes concentrados, como el ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) o el ácido nítrico concentrado (HNO_3) (Riascos y Tupaz, 2018).

2.2.6.4. El almacenamiento primario. Se realiza en el lugar de generación, siguiendo estas pautas: clasificación según tipo de residuo, manipulación segura (mínimo contacto, especialmente con biocontaminantes), llenado máximo a $\frac{3}{4}$ de capacidad, recipientes exclusivos prohibición de comprimir residuos, recipientes tapados, eliminación de recipientes llenos en menos de 12 horas, y limpieza/desinfección del área (Jhonatan, 2023)

2.2.6.5. Recolección y transporte interno de los residuos químicos. El personal con conocimiento de los materiales y usando equipo de protección personal (EPP), recolecta y transporta los residuos peligrosos a un área de almacenamiento temporal, siguiendo una ruta segura y definida. El traslado se realiza en un carro sobre superficies lisas y sin obstáculos. En el almacén, el coordinador transfiere los residuos a contenedores de mayor capacidad, correctamente etiquetados (Luciana, 2018).

2.2.6.6. Almacenamiento central o temporal. El almacenamiento de residuos químicos debe ser en un área exclusiva, sin permitir el almacenamiento de cilindros de gas, herramientas o materiales de oficina. Debe diseñarse para separar materiales incompatibles y permitir un manejo

seguro. La puerta debe abrirse hacia afuera, ser resistente al fuego y contar con una salida de emergencia. Se requiere mantener el orden y la limpieza (Gonzales et. al , 2019)

2.2.6.7. Recolección y transporte externo. Esta actividad implica el recojo de los residuos sólidos peligrosos por parte de la EO- RS. debidamente registrada ante la autoridad competente, Los residuos luego del proceso de tratamiento, podrán ser dispuestos en rellenos sanitarios debidamente registrados en la DIGESA y autorizados por la municipalidad provincial (Luciana, 2018).

2.2.6.8. Disposición final. Se debe contratar una empresa certificada para gestionar los residuos químicos. Se debe verificar que la empresa cuente con las licencias necesarias para el transporte, almacenamiento y tratamiento de estos residuos, y que se cumplan todos los requisitos de etiquetado, envasado, documentación y seguridad del transporte (MINSA, 2018)

2.2.6.9. Plan de respuesta a emergencia. En los laboratorios de química siempre hay riesgo de accidentes, por lo que es esencial tener un plan de respuesta a emergencias. En caso de un accidente, se debe notificar al coordinador de residuos, identificar la fuente y ubicación del incidente, evacuar a personas no esenciales, usar el equipo de protección personal adecuado, eliminar fuentes de ignición y seguir los procedimientos del manual de bioseguridad (Jhonatan, 2023).

2.2.7. Celulosa mecánica.

La producción de celulosa mecánica se lleva cabo mediante un proceso en el cual la madera triturada se somete a altas presiones y temperaturas alrededor de 140 °C para alcanzar la temperatura de transición vítrea de la lignina. Este método es energéticamente exigente y consume aproximadamente 1600 kw-h por cada tonelada métrica producida. Una de las principales

características de la celulosa mecánica es su elevado rendimiento, que suele oscilar entre un 85% y un 95%, esto significa que entre el 85% y el 95% del material original de la madera se conserva en el producto final, que son las fibras de celulosa, sin embargo, este alto rendimiento conlleva un inconveniente: la lignina que permanece en el producto es propensa a oxidarse, lo que provoca el característico color amarillento en los periódicos antiguos, la celulosa mecánica se utiliza principalmente en la fabricación de papel para periódicos y otros papeles de impresión y escritura de menor calidad, es menos resistente que la celulosa química, no debido a la presencia de lignina residual, sino porque las fibras se cortan durante el proceso de producción.

A nivel mundial, de los 300 millones de toneladas de celulosa producidas, aproximadamente un 76% corresponde a celulosa química, mientras que solo un 24% es celulosa mecánica (Balea, 2017).

2.2.8. Celulosa química.

En la producción de celulosa química, uno de los objetivos principales es la exclusión de la lignina, un compuesto que, si no se retira adecuadamente, provoca que el papel adquiera un tono amarillento con el tiempo debido a su oxidación, para llevar a cabo esta eliminación de lignina, la madera, generalmente convertida en astillas, se somete a un proceso de cocción química que implica altas temperaturas y presiones, este proceso no solo descompone la lignina, sino que también separa las fibras de celulosa, que son el componente principal del papel.

Existen dos métodos principales para la producción de celulosa química, diferenciados por los compuestos químicos o lejías utilizados en el proceso de cocción, el primero es el proceso *kraft* o al sulfato, que utiliza una mezcla de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio, este método es muy eficiente para la eliminación de la lignina y, debido a su mayor versatilidad y resistencia de las fibras resultantes, ha llegado a dominar la producción mundial de celulosa, la celulosa *kraft* es

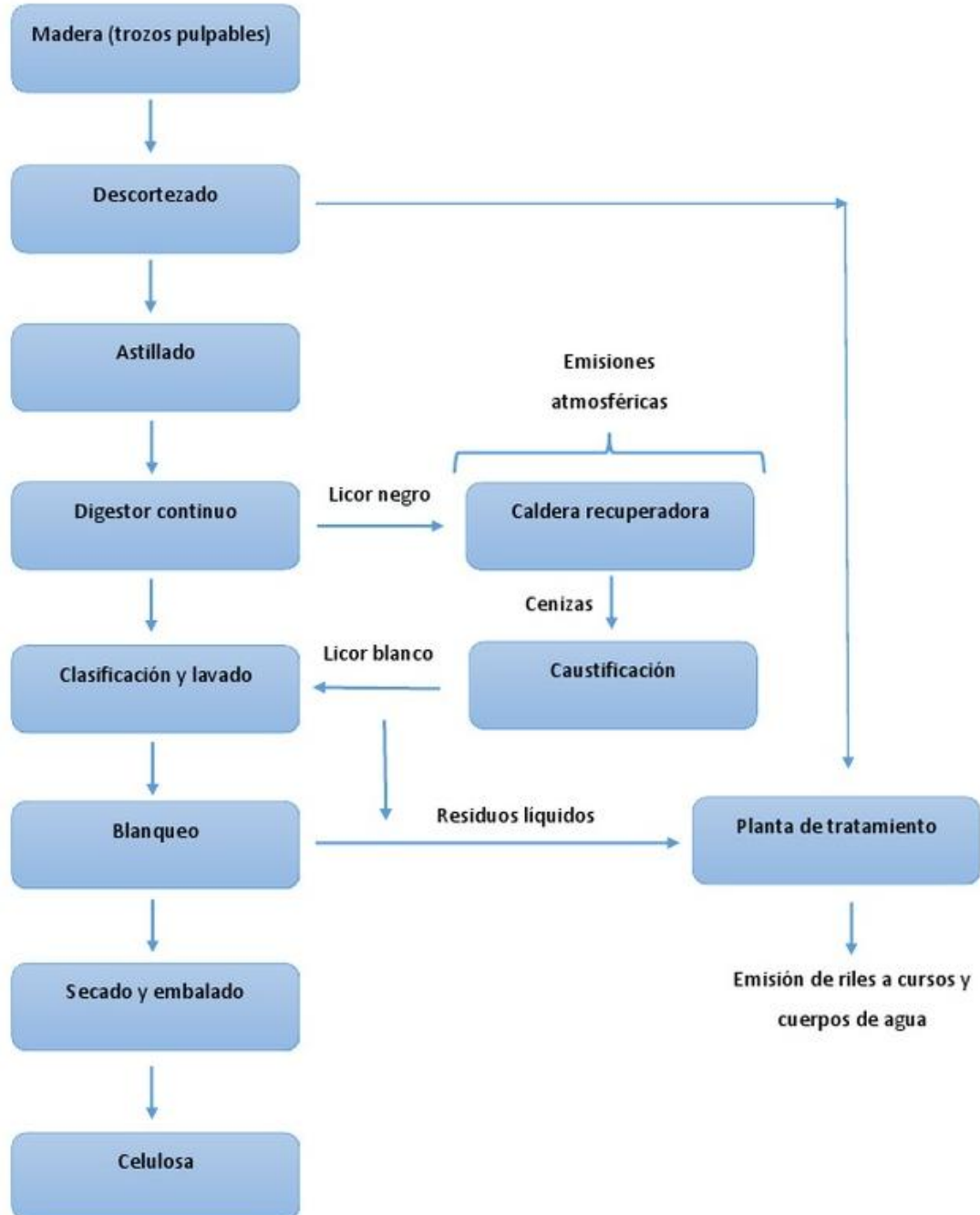
especialmente valorada por su alta resistencia y durabilidad, lo que la hace ideal para la fabricación de papel de alta calidad y otros productos derivados.

El segundo método es el proceso al sulfito, que utiliza un medio ácido para disolver la lignina, aunque fue ampliamente utilizado en el pasado, este método ha disminuido significativamente en popularidad debido a los problemas ambientales asociados con sus residuos altamente contaminantes y la menor resistencia de las fibras producidas, el proceso al sulfito es menos eficiente que el *kraft* en términos de la calidad del producto final y el impacto ambiental, lo que ha llevado a que su uso se haya reducido drásticamente en la industria moderna.

En resumen, mientras que la celulosa *kraft* se ha consolidado como la opción preferida en la producción de papel a nivel global debido a sus ventajas tanto en términos de calidad como de impacto ambiental, el proceso al sulfito ha quedado relegado debido a sus desventajas en estos mismos aspectos, este cambio en la industria refleja una tendencia hacia la adopción de métodos más sostenibles y eficientes en la fabricación de productos de papel (Figuerola, 2022).

Figura 3.

Ciclo de proceso de celulosa Kraft estándar



Nota: Proceso estándar de obtención de celulosa a escala semi industrial

2.2.9. Composición química de la biomasa lignocelulosa

La celulosa es un polisacárido estructural que forma parte de la pared celular de las plantas y constituye uno de los biopolímeros más abundantes en la naturaleza, se encuentra estrechamente asociada a otros compuestos como la hemicelulosa y la lignina, formando una matriz compleja y resistente. En términos químicos, la celulosa está compuesta por unidades de glucosa unidas por enlaces β -1,4-glucosídicos, lo que le confiere una alta resistencia mecánica y estabilidad. La proporción de sus componentes varía según el tipo de biomasa, pero en general, los residuos leñosos contienen entre 40 % y 50 % de celulosa, 20 % a 35 % de hemicelulosa, y 15 % a 30 % de lignina, además de pequeñas cantidades de extractivos, minerales y humedad (Ruiz, 2021).

Esta composición química es clave para determinar el rendimiento y la eficiencia de los procesos de extracción, así como las propiedades del producto final.

Tabla 6

Composición de biomasa lignocelulosa

Componente	Rango porcentual (% en peso seco)
Celulosa	40 – 50
Hemicelulosa	20 – 35
Lignina	15 – 30
Extractivos solubles	1 – 5
Cenizas	0.5 – 2
Humedad	8 – 12

2.2.10. Reología de la Pulpa de Celulosa

El estudio de la viscosidad es esencial para entender cómo se comportan los materiales que fluyen y se deforman como líquidos espesos o suspensiones de partículas en líquido e incluso pastas de origen vegetal. Este tipo de análisis nos ayuda a medir la relación entre la fuerza cortante aplicada (τ en Pascales) y la velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$ punto en segundos elevado a menos uno), lo que nos permite calcular parámetros como la viscosidad aparente (η en Pascales por segundo). En sustancias no newtonianas como la pulpa de celulosa, la viscosidad cambia según la fuerza aplicada, lo que demanda modelos matemáticos particulares. Por ejemplo, el modelo Herschel-Bulkley, muy utilizado en materia vegetal, representa el esfuerzo así:

$$\tau = \tau_0 + K * \dot{\gamma}^n$$

Donde:

τ_0 es el esfuerzo de cedencia (Pa),

K es el índice de consistencia ($\text{Pa} \cdot \text{s}^n$),

n es el índice de flujo (adimensional).

Específicamente la viscosidad de la pulpa de celulosa permite entender cómo influyen elementos como la densidad de partículas, proporción de sólidos y temperatura en el desempeño del material durante su tratamiento. Esta evaluación es fundamental en sectores como el papelerero, biocombustibles y de biomateriales, dado que impacta directamente en el rendimiento de la planificación de procesos y la excelencia del producto final. Medir la viscosidad aparentemente mejora nos proporciona un estudio más detallado de la calidad de los módulos viscoelásticos con esta información podríamos comprender cómo mejorar las operaciones y llevar la calidad al siguiente nivel (Jiménez et al., 2017).

2.2.11. Usos de la celulosa

2.2.11.1. Usos industriales y papeleros. La celulosa se emplea de manera amplia y convencional en la industria del papel como materia prima esencial para la producción de papel y cartón además de productos derivados como pañuelos desechables y envases. Estas aplicaciones se fundamentan en la capacidad de la celulosa para crear fibras entrelazadas que otorgan resistencia y flexibilidad junto a una excelente capacidad de absorción. Además de sus propiedades funcionales destacadas en el mercado masivo debido a su carácter biodegradable que contribuye positivamente al medio ambiente en comparación a los materiales sintéticos (Barriga, 2020).

2.2.11.2. Aplicaciones textiles y alimentarias. En la industria textil se realiza una modificación química de la celulosa para producir fibras semisintéticas como el rayón y el acetato que ofrecen características similares al algodón junto con ventajas extra como mayor suavidad y resistencia. Por otro lado, en la industria alimentaria se utilizan la celulosa y sus derivados como la carboximetilcelulosa (CMC), los cuales actúan como aditivos funcionales para espesar y estabilizar alimentos procesados además de proporcionar fibra dietética en productos como las salsas alimentos sin gluten, helados y postres (Barriga, 2020).

2.2.11.3. Usos farmacéuticos, biomédicos y tecnológicos. En el campo de la industria farmacéutica y biomédica se utiliza la celulosa para fabricar cápsulas y apósitos debido a su compatibilidad biológica y capacidad de crear estructuras porosas de forma segura y efectiva. Gracias al desarrollo de la nanotecnología en los últimos tiempos se ha empezado a emplear las nanofibras de celulosa como material reforzante en productos compuestos innovadores como filtros biodegradables y envases eco amigables en dispositivos médicos avanzados. Estas nuevas aplicaciones demuestran que la celulosa es un recurso esencial en la producción de artículos respetuosos del medio ambiente y sustentables (Barriga, 2020).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Celulosa

La celulosa es un tipo de carbohidrato estructural compuesto por largas cadenas de moléculas de glucosa unidas mediante enlaces β - 1, 4 - glucósidos. Este polisacárido constituye el elemento principal de la pared celular de las plantas y representa alrededor del 40 - 50 % de su masa total. Su estructura fibrosa proporciona firmeza y resistencia a las plantas, permitiéndole mantener su forma. La celulosa no se disuelve en agua ni en la mayoría de los solventes orgánicos, lo que la convierte en un material resistente a la descomposición provocada por productos químicos (Klemm et al., 2018).

2.3.2. Maderable

El término "maderable" se refiere a las especies de árboles que son cultivadas y explotadas por su madera, la cual es utilizada en la construcción, fabricación de muebles y producción de papel. Estas especies son valoradas por la calidad y propiedades de su madera (Pereira & Tomas, 2019).

2.3.3. Plantas nativas

Las plantas nativas son aquellas especies que crecen de forma natural en una región específica, sin intervención humana, estas plantas están adaptadas a las condiciones locales y desempeñan un papel crucial en el mantenimiento de la biodiversidad y los ecosistemas locales (Smith & Jones, 2020).

2.3.4. Tratamiento alcalino

El tratamiento alcalino es un proceso utilizado en la producción de pulpa de celulosa, que consiste en la aplicación de soluciones alcalinas, como hidróxido de sodio, para disolver la lignina

y otras impurezas de la materia prima vegetal, facilitando la obtención de celulosa pura (Sharma et al., 2019).

2.3.5. *Aliso*

El aliso (*Alnus acuminata*) es un árbol nativo que crece principalmente en las regiones andinas del Perú, donde se encuentra desde los 1500 hasta los 3500 msnm. Es una especie clave en los ecosistemas montañosos, adaptada a suelos húmedos y ribereños, en Perú, el aliso es conocido por su capacidad de mejorar la fertilidad del suelo debido a su asociación con bacterias fijadoras de nitrógeno, lo que lo hace valioso en la regeneración de áreas degradadas y en la agroforestería (González & Herrera, 2020).

2.3.6. *Saucecillo*

El saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) es un árbol de la familia Podocarpaceae, presente en regiones montañosas de América del Sur, su madera es utilizada en la construcción y fabricación de muebles, y la especie juega un papel importante en la conservación de los ecosistemas forestales (Rodríguez et al., 2019).

2.3.7. *Residuos vegetales*

Los residuos vegetales son subproductos o materiales descartados provenientes de plantas, tales como hojas, ramas y cortezas, que no tienen un uso inmediato y pueden ser aprovechados para la producción de compost, biocombustibles o pulpa de celulosa (Smith et al., 2020).

2.3.8. *Sostenibilidad*

La sustentabilidad consiste en promover un crecimiento que asegure satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para atender sus

propias demandas, esto implica tener en cuenta los aspectos económicos, sociales y ambientales (World Commission on Environment and Development [WCED], 2019).

2.3.9. Hemicelulosa

La hemicelulosa es un heteropolisacárido estructural presente en la pared celular de las plantas, que forma una matriz amorfa asociada a la celulosa y la lignina, contribuyendo a la organización, estabilidad y funcionalidad del tejido vegetal (Fengel & Wegener, 2020).

2.3.10. Lignina

La lignina es un compuesto orgánico complicado presente en las estructuras celulares de las plantas. Su función es otorgarle firmeza y resistencia, es necesario eliminarla al fabricar pulpa de celulosa para lograr un producto de mayor pureza (Fengel & Wegener, 2020).

2.3.11. Biomasa

La biomasa hace referencia a la materia orgánica de procedencia vegetal o animal que se puede emplear como fuente de energía renovable o como material base para diversas aplicaciones industriales entre las que se incluye la fabricación de celulosa (Demirbas, 2021).

2.3.12. Pulpeo

El pulpeo es el proceso de convertir materia prima vegetal en pulpa de celulosa, involucrando la descomposición de lignina y hemicelulosa para liberar las fibras de celulosa, puede ser realizado mediante métodos mecánicos, químicos o combinados (Gullichsen & Fogelholm, 2020).

2.3.13. Recolección selectiva

La recolección selectiva implica la recogida de residuos de manera separada según su tipo y composición, facilitando su posterior tratamiento y reciclaje, es fundamental para optimizar el aprovechamiento de residuos vegetales en la producción de celulosa (Hidalgo & Ruiz, 2019).

2.3.14. Dureza Janka

La dureza Janka es una propiedad mecánica de la madera que expresa la resistencia a la penetración, determinada por la fuerza necesaria para incrustar hasta la mitad una esfera de acero estándar en su superficie, este parámetro permite evaluar la resistencia al desgaste y a los impactos, siendo clave para usos estructurales y de carpintería (Forest Products Laboratory, 2010).

2.4. Hipótesis

H0: No existe diferencias significativas en el rendimiento de celulosa en cuatro concentraciones de NaOH (5, 10, 15 y 20%) obtenidas a partir de residuos de aliso y saucecillo utilizando el tratamiento alcalino.

H1: Existe diferencias significativas en el rendimiento de celulosa en cuatro concentraciones de NaOH (5, 10, 15 y 20%) obtenidas a partir de residuos de aliso y saucecillo utilizando el tratamiento alcalino.

2.5. Operacionalización de variables

Tabla 7

Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento de recolección	Escala
VI. Residuos vegetales	Los residuos vegetales incluyen material sobrante de cultivos, podas y cosechas, como hojas, ramas, troncos y cáscaras de frutas o verduras, fuente importante de biomasa, utilizada en la producción de compost, biocombustibles, y como materia prima en procesos industriales, como la obtención de celulosa (Martínez et al., 2019).	Fuente de recolección	- Localización geográfica - Tipo de fuente (forestal).	- GPS (Sistema de posicionamiento global) - Ficha de registro	- Coordenadas
		Características físicas	- Longitud de astillas - Densidad de astillas	- Regla milimétrica. - Picnómetro	- Centímetros(cm) - g/ml
VD. Rendimiento	El rendimiento se refiere a la cantidad de producto obtenido en relación con la cantidad de materia prima utilizada, el rendimiento se mide en términos de la masa de pulpa obtenida a partir de una determinada cantidad de residuos procesados (González et al., 2020).	Cantidad	- Peso seco de la pulpa obtenida - Volumen de la pulpa obtenida	- Balanza analítica - Probeta graduada	- Gramos (gr) - Mililitro (ml)
		Calidad	- pH	- potenciómetro	- H ⁺
			- Humedad	- estufa / Balanza analítica	- % /gr
			- Densidad aparente	- probeta graduada	- g/cm ³
	- Longitud de las fibras	- Microscópio Electrónico de barrido (SEM)	- Micrómetro (um)		

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación fue de tipo experimental, ya que se manipularon deliberadamente las variables independientes para observar su efecto en el rendimiento de la pulpa de celulosa (Hernández et al., 2014).

El nivel de la investigación es explicativa porque describe los resultados, explica la relación entre la concentración de NaOH, rendimiento y calidad de la celulosa; además se contrastan las hipótesis y se determina por qué ciertas concentraciones producen mejores resultados (Hernández et al., 2014).

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo, dado que se trabajó con mediciones numéricas que proporcionaron resultados cuantitativos, permitiendo ejecutar un diagnóstico del contexto actual sobre la obtención de pulpa de celulosa a partir de residuos vegetales (Hernández et al., 2014).

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue de diseño completamente al azar donde los residuos vegetales se trataron a 4 concentraciones de NaOH (5,10 15 y 20%), y se trabajó con dos especies, aliso (*Alnus acuminata*) y saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) (Hernández et al., 2014).

Tabla 8

Tratamientos para la obtención de celulosa por cada especie (aliso y saucecillo)

Tratamientos	Especie	Concentración de NaOH (%)	N° de repeticiones	Cantidad de residuos por cada repetición (g)	Cantidad total de residuos por repetición (g)	
T₁	<i>Alnus</i>	5	3	250	750	
T₂	<i>acuminata</i>	10	3	250	750	
T₃		15	3	250	750	
T₄		20	3	250	750	
T₅		<i>Podocarpus</i>	5	3	250	750
T₆	<i>oleifolius</i>		10	3	250	750
T₇			15	3	250	750
T₈			20	3	250	750
TOTAL				24		6000 kg

Nota. Se utilizaron 2 especies a 4 concentraciones de hidróxido de sodio, cada tratamiento 3 repeticiones.

3.3. Métodos de investigación

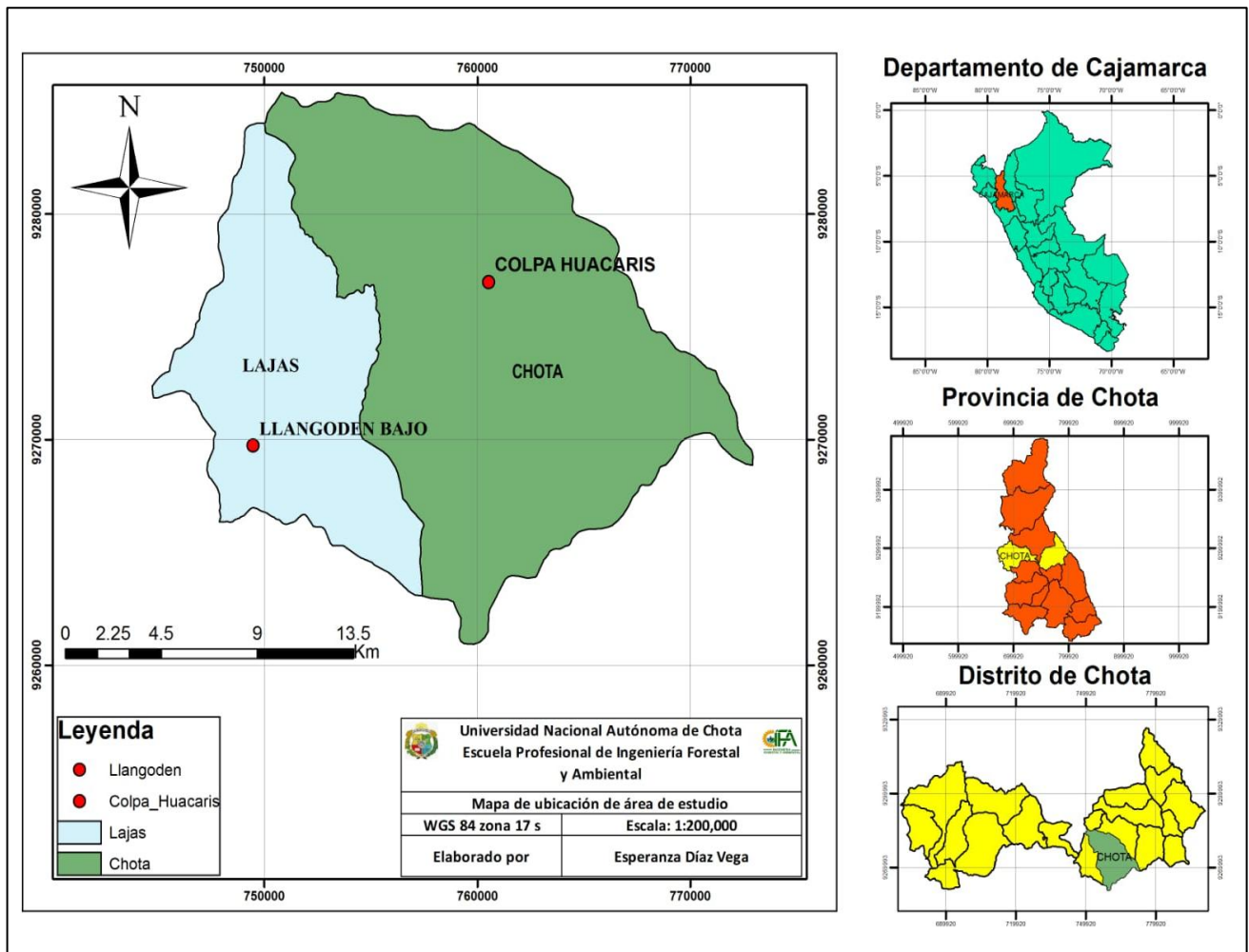
Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron métodos cuantitativos enfocados en la recopilación y análisis de datos numéricos para establecer relaciones entre las variables, los métodos cuantitativos incluyeron mediciones del rendimiento de la pulpa obtenida, análisis estadístico de los datos recolectados y experimentos controlados (Hernández et al., 2014).

3.3.1. Localización y cálculo de la edad de la especie

Se identificó las zonas donde predomina la especie en la provincia de Chota para la recolección de residuos vegetales de aliso y saucecillo, se seleccionaron áreas con abundancia de estas especies en los distritos de Chota y Lajas y se ubicaron los puntos de muestreo en las localidades de Colpa Huacarís y Llangoden bajo en cada distrito respectivamente (ver figura 4).

Figura 4.

Localización del área de estudio



La edad de los árboles se determinó mediante el conteo de anillos de crecimiento en secciones transversales de muestras de árboles representativos, además se complementó con datos históricos de plantación y mediciones del diámetro a la altura del pecho (DAP) para estimar la edad de los árboles de interés.

3.3.2. Recolección, medición de características físicas y almacenamiento

Se recolectaron residuos de árboles que coincidan con los criterios de edad y altura establecidos, cada especie se trabajó a 3 réplicas según Jiménez et al. (2017) de 250 gr de residuos que se recolectaron en bolsas etiquetadas, se midieron las características físicas como la longitud, los residuos y se almacenaron a temperatura y humedad ambiente hasta su procesamiento en el laboratorio.

3.3.3. Síntesis con método alcalino

En laboratorio, se preparó una solución de hidróxido de sodio NaOH al 5, 10, 15 y 20% para eliminar la lignina y hemicelulosa. Los residuos vegetales (250 gr) se sumergieron en 500 ml de esta solución en matraz Erlenmeyer de 1000 ml, se calentó en una estufa eléctrica con agitación magnética, al observar la primera burbuja se dejó calentar por 30 min según el diseño descrito a 90 °C, asegurando una agitación constante de 50 RPM para una reacción uniforme, posteriormente se dejó reposar por 20 minutos para enfriar y lavar con agua destilada, posteriormente se procedió a desfibrar manualmente utilizando EPP en todo momento del proceso de síntesis. Para neutralizar posibles trazas alcalinas, se utilizó 100 ml de una solución diluida de ácido acético (al 2%). Finalmente se secó en una estufa de aire forzado a 65 °C y se dejó reposar 12 h (Cabascango et al.,2021).

Después del tratamiento alcalino y lavado, la pulpa se sometió a un proceso de blanqueo para mejorar su pureza y color, se preparó 500 ml de una solución de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 3%, la pulpa se sumergió en esta solución y se calentó a 70°C durante 1 hora con agitación suave, posteriormente se lavó nuevamente con agua destilada para eliminar cualquier residuo de peróxido, la pulpa blanqueada se secó en un horno a 105°C calculando su peso cada 15 min hasta alcanzar un peso constante (Cabascango et al.,2021).

3.3.4. Cálculo del rendimiento

Una vez obtenida y secada la pulpa de celulosa, se calculó el rendimiento midiendo el peso seco de la pulpa, se utilizó una balanza analítica para obtener el peso exacto, el rendimiento se expresó como porcentaje del peso inicial de los residuos secos utilizados, además, se analizó la estructura de las fibras de celulosa mediante microscopía óptica, midiendo la longitud y grosor de las fibras para evaluar la calidad de la pulpa obtenida.

Formula:

$$\text{Rendimiento de pulpa} = \frac{\text{peso seco de la pulpa obtenida}}{\text{peso de la muestra inicial}} * 100$$

La aplicación de la fórmula se aplicó contando la muestra de 250 g de cada especie, posteriormente se sometió al proceso alcalino a cuatro concentraciones de NaOH y su posterior obtención de pulpa de celulosa seca.

3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

La población de este estudio está constituida por todos los residuos vegetales de aliso (*Alnus acuminata*) y saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) disponibles en la provincia de Chota que

cumplan con la edad y crecimiento determinado en el registro de desarrollo de especies forestales en la provincia de Chota.

3.4.2. Muestra

Dentro de cada estrato se seleccionaron aleatoriamente las unidades muestrales considerándose criterios técnicos previamente definidos, tales como el tamaño, edad y densidad del material vegetal, con el fin de garantizar que los residuos recolectados fueran representativos, reducir sesgos y asegurar la representatividad de la población de estudio.

La muestra estuvo conformada por 24 unidades muestrales distribuidas equitativamente entre las dos especies de estudio, 12 muestras de aliso (*Alnus acuminata*) y 12 muestras de saucecillo (*Podocarpus oleifolius*). Para el aliso, las muestras fueron recolectadas en la comunidad de Colpa Huacariz, mientras que para el saucecillo, la recolección se realizó en la comunidad de Llangodén Bajo.

3.4.3. Muestreo

La provincia de Chota fue dividida en estratos geográficos según la disponibilidad y concentración de las especies forestales en estudio (aliso y saucecillo). Se aplicó un muestreo estratificado aleatorio, seleccionando los estratos con mayor presencia de cada especie. Dentro de cada estrato, las unidades muestrales fueron seleccionadas aleatoriamente considerándose criterios como el DAP, altura, edad y densidad.

Tabla 9*Características de recojo y recolección de muestras en campo*

Especie	DAP (cm)	Altura (m)	Edad (años)	Densidad (g/cm³)	Número de muestras	Cantidad (gr)
Aliso (<i>Alnus acuminata</i>)	15-25	10-14	8-10	0.40-0.60	12	250
Saucecillo (<i>Podocarpus oleifolius</i>)	20-35	7-12	8-10	0.45	12	250

Nota: Instituto Nacional de Innovación Agraria, (2020); Municipalidad de Miraflores, (2018); Ministerio de Ambiente, (2018).

3.4.4. Cálculo del tamaño muestral

Para garantizar la validez estadística de los resultados obtenidos en esta investigación, fue necesario establecer un tamaño muestral adecuado que permitiera detectar diferencias significativas entre tratamientos. En estudios experimentales donde se comparan medias entre grupos, el tamaño de muestra puede determinarse aplicando la fórmula propuesta por Montgomery (2017) para experimentos con comparación de tratamientos. Esta fórmula considera el nivel de significancia, el poder estadístico deseado, la desviación estándar estimada y la diferencia mínima que se desea detectar, lo cual permite optimizar recursos sin comprometer la sensibilidad del diseño.

$$n = \frac{2(Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2 \cdot s^2}{(d)^2}$$

Donde:

n: Tamaño de muestra por grupo o tratamiento

Z α : Valor crítico de la distribución normal estándar para un nivel de confianza 90% (1.64)

Z β : Poder estadístico deseado 0.52 (70%)

d: Diferencia mínima que se desea detectar entre grupos (5g)

s: Desviación estándar (se obtiene de investigaciones como las de Parra (2018) y Jimenez et al. (2017) donde coinciden en in rendimiento de celulosa del 40% aprox después del tratamiento por el método alcalino).

$$n = \frac{2(1.64 + 0.52)^2 * 3^2}{5^2}$$

$$n = \frac{84.4}{25} = 3.38 \text{ repeticiones}$$

Con un nivel de confianza del 90%, un poder estadístico del 70%, una desviación estándar estimada de 3 g, y una diferencia mínima detectable de 5 g, se justificó estadísticamente el uso de 3 repeticiones por tratamiento, totalizando 24 muestras. Esta decisión permite un balance adecuado entre rigurosidad estadística y factibilidad operativa del estudio.

3.5. Técnica e instrumento de recolección de datos

3.5.1. Técnicas

Inventario forestal: Proceso sistemático para recoger datos sobre la estructura, composición y estado de los recursos forestales en un área específica, en la presente investigación se realizarán inventarios forestales para documentar las características físicas y de crecimiento de los árboles de las especies seleccionadas (MINAGRI,2012).

Medición directa: La medición directa implica la utilización de instrumentos y equipos para medir variables físicas, químicas o biológicas, esto puede incluir el uso de balanzas de precisión, microscopios, entre otros dispositivos que permiten obtener datos cuantitativos precisos, en la presente investigación, se plantea obtener celulosa a partir de residuos vegetales, por lo que se utilizaron una serie de procedimientos de medición directa, como el uso de una balanza de precisión para pesar las muestras de celulosa y microscopios para observar la estructura de las fibras de celulosa. Estas técnicas permitieron asegurar la calidad y exactitud de los datos recolectados durante los experimentos de síntesis de celulosa (Osorio, 2020).

Pruebas de rendimiento o eficiencia: Las pruebas de rendimiento o eficiencia consisten en evaluar el rendimiento o eficiencia de un proceso, material o sistema bajo condiciones experimentales controladas. En esta investigación, se evaluó el rendimiento de la extracción de celulosa y la eficiencia de los tratamientos aplicados, esto incluyó medir el rendimiento de la celulosa extraída de los residuos vegetales en términos de cantidad obtenida y pureza, así como evaluar la eficiencia de los métodos de pretratamiento y blanqueo aplicados, estas pruebas permitirán determinar los contextos óptimas para la extracción de celulosa de alta calidad (Osorio, 2020).

Medición de pH: La medición del pH constituye una herramienta fundamental para determinar el nivel de acidez o alcalinidad de una muestra líquida o semisólida. En esta investigación, se empleó un potenciómetro calibrado con soluciones patrón para garantizar la precisión de las lecturas. (Añadir las soluciones patrón. Esta medición resulta esencial en el proceso de obtención de celulosa, ya que permite controlar las condiciones químicas del medio, especialmente durante la etapa de tratamiento con soluciones alcalinas como el hidróxido de sodio.

Un pH inadecuado podría afectar la descomposición de lignina y hemicelulosa, alterando la pureza y rendimiento de la celulosa extraída (Osorio, 2020).

Medición de humedad: La determinación del contenido de humedad es vital para caracterizar adecuadamente la pulpa de celulosa obtenida, esta medición se llevó a cabo mediante el método de secado en estufa a 105 °C hasta peso constante, utilizando una balanza analítica de alta precisión. El porcentaje de humedad permite conocer el estado higroscópico del material, lo que es relevante para su almacenamiento, procesamiento y análisis posterior. Un alto contenido de humedad puede favorecer la degradación microbiológica y reducir la vida útil del producto celulósico (Osorio, 2020).

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

Balanza analítica: Este instrumento fue utilizado para medir la masa de residuos de las dos especies con las que se trabajó, son esenciales en laboratorios donde se requiere la medición precisa de pequeñas cantidades de materiales se utilizó para pesar las muestras de celulosa unidad de medida gramos (Buelvas y Zambrano, 2016).

Microscopio: El microscopio es un aparato ópticamente creado para agrandar las imágenes de objetos minúsculos inobservables a simple vista, utiliza una serie de lentes para mejorar la resolución y el tamaño de las muestras, esto facilita un estudio detallado y es esencial en diversos campos científicos como la biología o la medicina. Se empleó para observar y estudiar la estructura de la celulosa obtenida (Buelvas y Zambrano, 2016).

Hojas de campo: Las hojas de campo son formularios utilizados para registrar observaciones detalladas y sistemáticas durante los experimentos o estudios de campo, en el

presente trabajo se utilizó para registrar las características de las especies estudiadas descritas en la tabla 5 (Hernández et al, 2014).

Software de análisis estadístico: El software de análisis estadístico se utilizó para elaborar una base de datos y su posterior análisis estadístico de las 24 combinaciones con sus respectivas repeticiones, permite la visualización de datos en tablas y gráficos, así como la aplicación de pruebas estadísticas, se utilizó programa SPSS statistics 27 y Microsoft Excel 2017.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para evaluar los efectos del tratamiento alcalino sobre el rendimiento de celulosa, se aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA) dispuesto en un diseño unifactorial completos al azar. En este diseño, los factores principales fueron la concentración de hidróxido de sodio (4 niveles: 5%, 10%, 15% y 20%), y las especies vegetales (*Alnus acuminata* y *Podocarpus oleifolius*).

Previo a la ejecución del ANOVA, se procedió con la validación de los supuestos paramétricos para asegurar la confiabilidad del análisis inferencial, estos supuestos se evaluarán de la siguiente manera (Reverter, 2018).

- **Normalidad de los residuos:** Para evaluar esta variable si tiene o no una distribución normal se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk, la cual es adecuada para conjuntos de datos pequeños a moderados, en el caso de esta investigación tendremos 24 datos. Esta prueba permitió confirmar si los residuos del modelo siguen una distribución normal, condición esencial para la validez del ANOVA.
- **Homogeneidad de varianzas:** Se comprobó utilizando la prueba de Levene, que permite identificar si las varianzas entre los diferentes grupos de tratamiento son estadísticamente

iguales, la igualdad de varianzas es necesaria para evitar sesgos en la comparación de medias.

- **Independencia de las observaciones:** Está garantizada por el diseño experimental, en el que cada unidad experimental es tratada de forma separada y aleatorizada dentro de cada bloque (especie).

En caso de que alguno de estos supuestos no se cumpla, se considera la aplicación de transformaciones estadísticas (logarítmica, raíz cuadrada, Box-Cox) o la adopción de pruebas no paramétricas (como Kruskal-Wallis) como alternativa analítica (Reverter, 2018).

3.7. Aspectos éticos

La recolección de muestras en terrenos privados requiero obtener el permiso y consentimiento informado de los propietarios, explicando el propósito de la investigación, las actividades de recolección y garantizando que no se causará daño a la propiedad. La investigación debe minimizar el impacto ambiental, evitando la deforestación y promoviendo la recolección sostenible de residuos vegetales, el manejo adecuado de reactivos químicos y residuos generados durante la extracción de celulosa es crucial para evitar la contaminación ambiental, utilizando métodos seguros y siguiendo las regulaciones vigentes, los datos recolectados y los resultados deben ser reportados con precisión y transparencia, manteniendo registros detallados y presentando los resultados de manera honesta en la tesis.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de resultados

4.1.1. Aplicación del método alcalino a cuatro concentraciones de NaOH

4.1.1.1. Preparación de la solución de NaOH. Para la preparación de las soluciones de hidróxido de sodio (NaOH) se emplearon cuatro concentraciones: 5, 10, 15 y 20% (p/v). En cada caso, se pesó la cantidad correspondiente de NaOH (ver Tabla 10) en escamas utilizando una balanza analítica y se disolvió en 500 mL de agua destilada previamente medido con una probeta graduada. La disolución se realizó en matraces Erlenmeyer, con agitación constante de 50 rpm, asegurando una mezcla homogénea en cada solución antes de su aplicación a las muestras de biomasa.

Tabla 10

Cantidad y concentración del NaOH

Concentración NaOH (%)	Volumen de solución (mL)	Masa de NaOH (g)	Replica	Cantidad Total (g)	Total, para las dos especies (g)
5	500	25	3	75	150
10	500	50	3	150	300
15	500	75	3	225	450
20	500	100	3	300	600
Total			12	750	1500

Nota: La concentración del NaOH en escamas es del 94% considerado un hidróxido químico

4.1.1.2. Acondicionamiento de las muestras. Los residuos de aliso (*Alnus acuminata*) y saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) fueron acondicionados mediante un corte en trozos de tamaño menor a 2 cm, utilizando una sierra manual para facilitar la reducción de su dimensión. Posteriormente, las fracciones obtenidas fueron pesadas en una balanza analítica, tomando 250 g de muestra para cada tratamiento y repetición. Este procedimiento aseguró la homogeneidad del material a utilizar en el proceso de extracción y pulpeo.

4.1.1.3. Aplicación del NaOH a las muestras bajo agitación y calentamiento. Una vez preparadas las soluciones de NaOH a diferentes concentraciones y pesadas las muestras vegetales de 250 g por tratamiento y repetición estas fueron colocadas en los matraces Erlenmeyer con la solución de NaOH. Posteriormente, se sometieron a calentamiento a 90 °C durante 30 minutos, con agitación constante de 50 rpm manteniendo las mismas condiciones operativas para todos los tratamientos. Al culminar este periodo, los matraces fueron retirados de la fuente de calor y se dejaron enfriar a temperatura ambiente para continuar con las siguientes etapas del proceso.

La aplicación del NaOH bajo agitación y temperatura controlada tuvo como propósito facilitar la ruptura de enlaces en la matriz lignocelulósica. Este procedimiento permitió la solubilización de la lignina y la eliminación parcial de las hemicelulosas, componentes que interfieren con la obtención de fibras ricas en celulosa. De esta manera, el tratamiento alcalino generó un material más susceptible a la separación de la fracción celulósica, condición indispensable para incrementar el rendimiento y la pureza del producto final.

4.1.1.4. Desfibrado. Una vez culminado el tratamiento alcalino, la biomasa fue dejada en reposo hasta alcanzar una temperatura aproximada de 35 °C y posteriormente se lavó cuidadosamente con agua destilada con el fin de eliminar los residuos de hidróxido de sodio. A continuación, se procedió al desfibrado de forma manual, separando las fibras hasta obtener hebras muy delgadas y homogéneas.

El desfibrado se llevó a cabo con relativa facilidad debido a la eficiente eliminación de lignina durante el pretratamiento, lo que permitió una disgregación más rápida de la matriz vegetal. En el caso particular del saucecillo (*Podocarpus oleifolius*), fue necesario complementar el proceso con el uso de tijeras para facilitar la separación de las fibras ya que estas presentaban mayor dureza en la muestra tratada con 5% y 10% de NaOH, mientras que de la especie aliso (*Alnus acuminata*) en los tratamientos a 10% y 15% presentaron una textura ideal para el desfibrado manual

4.1.1.5. Secado en estufa de aire a 65 °C por 12 h

Después del desfibrado la pulpa se secó en una estufa de aire forzado a 65 °C y se dejó reposar 12 h para luego ser pesado en una balanza analítica.

Tabla 11

Medición del peso (g) después del tratamiento alcalino para el aliso

Especie	Concentración NaOH (%)	R1	R2	R3	Media
Aliso (<i>Alnus acuminata</i>)	5	210.23	211.58	209.32	210.38
	10	190.75	190.88	193.21	191.61
	15	171.05	169.98	174.13	173.24
	20	160.10	162.16	159.92	160.73

Tras el tratamiento alcalino y el secado inicial a 65 °C por 12 horas, en el caso del aliso (*Alnus acuminata*) se observó que los tratamientos a bajas concentraciones de NaOH (5 % y 10 %) conservaron un peso mayor a 190.00 g, lo cual indica que aún quedaban fracciones significativas de lignina y hemicelulosa en la pulpa. Sin embargo, el tratamiento al 10 % resultó ser el más adecuado, ya que la pulpa obtenida fue más fácil de desfibrar y mostró una separación de fibras más eficiente. En contraste, a mayor concentración (15 % y 20 %), el peso disminuyó notoriamente, reflejando una eliminación más intensa de componentes no celulósicos; especialmente al 20 %, la pulpa presentó un aspecto quemado y quebradizo, evidenciando un sobretratamiento y posible degradación de las fibras.

Tabla 12

Medición del peso (g) después del tratamiento alcalino para el saucecillo

Especie	Concentración NaOH (%)	R1	R2	R3	Media
Saucecillo (<i>Podocarpus oleifolius</i>)	5	232.41	229.77	233.18	231.79
	10	201.57	204.14	201.88	202.53
	15	160.45	165.71	161.22	162.46
	20	143.43	147.22	144.12	144.92

En el caso del saucecillo (*Podocarpus oleifolius*), los resultados mostraron una tendencia similar. Los tratamientos a 5 % y 10 % conservaron mayor peso, pero la pulpa presentaba fibras duras y compactas, lo que confirma la presencia de lignina residual que dificulta el proceso de desfibrado. El tratamiento al 15 % destacó como el más adecuado, ya que produjo una pulpa con fibras más flexibles, delgadas y homogéneas, indicando una delignificación más eficiente. En

cambio, al 20 %, aunque se redujo más la masa final, la pulpa se tornó seca y oscura, lo que señala un exceso de extracción que afecta negativamente la calidad de las fibras.

4.1.1.6. Blanqueo de la pulpa de celulosa en solución de agua oxigenada. Después del tratamiento alcalino y el secado correspondiente, los residuos desfibrados fueron sometidos a un proceso de blanqueo con el fin de mejorar su pureza y color. Para ello, las fibras secas se colocaron en un matraz Erlenmeyer y se les añadió una solución de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 5 %, preparada en un volumen de 500 mL.

El matraz se mantuvo a 70 °C durante 1 hora, bajo agitación suave de 20 rpm, asegurando el contacto homogéneo del oxidante con la biomasa. Finalizado el tiempo de reacción, las fibras fueron retiradas de la solución y lavadas cuidadosamente con agua destilada, a fin de eliminar los residuos de peróxido y preparar la pulpa para las etapas posteriores de caracterización.

4.1.1.7. Secado de la pulpa blanqueada a 105 °C.

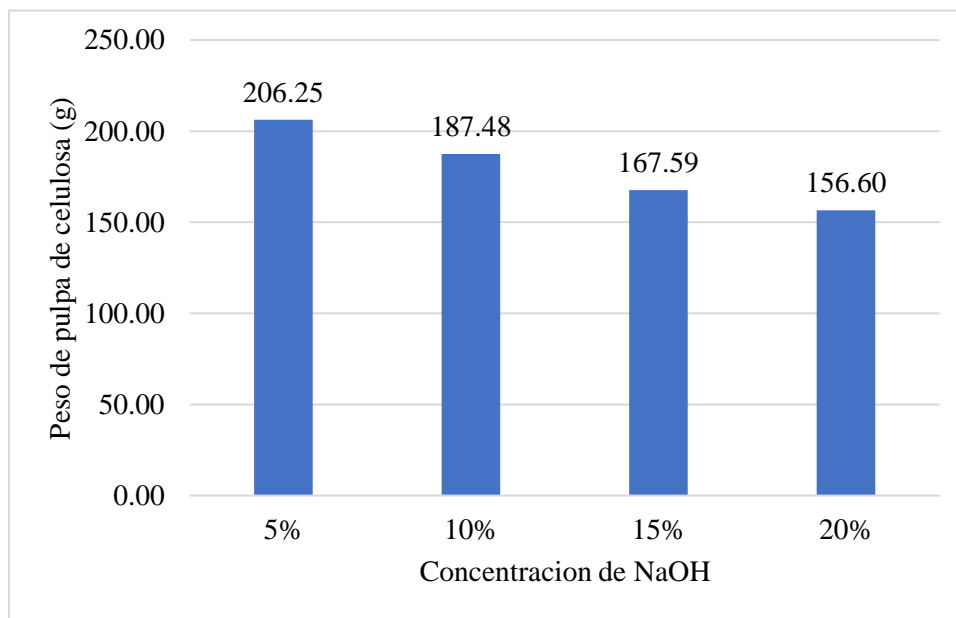
La pulpa de celulosa blanqueada fue colocada en una bandeja de aluminio y llevada a una estufa a 105 °C, donde se mantuvo hasta alcanzar peso constante, con monitoreo cada 15 minutos. Finalizado el secado, la muestra fue enfriada en un desecador a temperatura ambiente y posteriormente pesada en una balanza analítica. El peso final correspondió a la masa seca de la pulpa, utilizada para el cálculo del contenido de humedad y del rendimiento del proceso.

Tabla 13*Secado de los tratamientos y sus réplicas de aliso*

NaOH (%)	Réplica (Peso inicial, g)	Tiempo (min)				Peso constante (g)
		15	30	45	60	
5	R1: 210.23	209.45	207.23	206.87	206.12	206.10
	R2: 211.58	210.80	208.58	208.22	207.47	207.45
	R3: 209.32	208.54	206.32	205.96	205.21	205.19
10	R1: 190.75	189.97	187.75	187.39	186.64	186.62
	R2: 190.88	190.10	187.88	187.52	186.77	186.75
	R3: 193.21	192.43	190.21	189.85	189.10	189.08
15	R1: 171.05	170.27	168.05	167.69	166.94	166.92
	R2: 169.98	169.20	166.98	166.62	165.87	165.85
	R3: 174.13	173.35	171.13	170.77	170.02	170.00
20	R1: 160.10	159.32	157.10	156.74	155.99	155.97
	R2: 162.16	161.38	159.16	158.80	158.05	158.03
	R3: 159.92	159.14	156.92	156.56	155.81	155.79

Figura 5.

Promedio de los pesos de pulpa celulosa de aliso



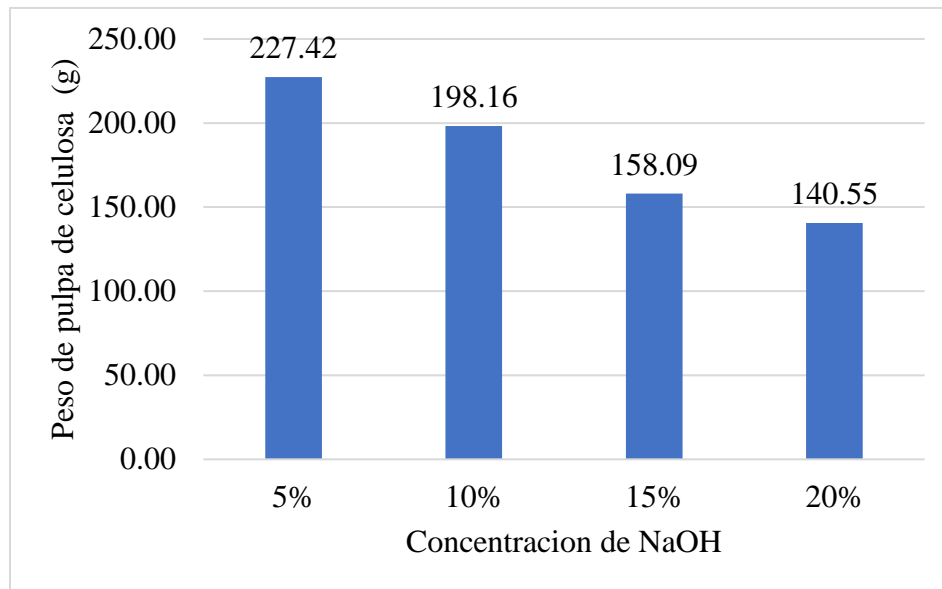
Los promedios de los pesos de la pulpa de celulosa de aliso (*Alnus acuminata*) obtenidos a partir de las tres réplicas en cada concentración de NaOH. Se aprecia una tendencia descendente conforme aumenta la concentración del hidróxido, a 5 % se obtuvo el mayor peso promedio (206.25 g), lo que indica una menor eliminación de lignina y hemicelulosa; mientras que a 20 % el peso promedio disminuyó hasta 156.60 g, reflejando un proceso más intenso de delignificación. Los tratamientos intermedios de 10 % (187.48 g) y 15 % (167.59 g) muestran una reducción progresiva del peso, evidenciando una extracción más controlada de compuestos no celulósicos, donde el 15 % se perfila como un punto de equilibrio entre rendimiento y calidad de fibras.

Tabla 14*Secado de los tratamientos y sus réplicas de saucecillo*

NaOH (%)	Réplica (Peso inicial, g)	Tiempo (min)				Peso constante (g)
		15	30	45	60	
5	R1: 232.41	231.56	229.31	228.81	228.06	228.04
	R2: 229.77	228.92	226.67	226.17	225.42	225.40
	R3: 233.18	232.33	230.08	229.58	228.83	228.81
10	R1: 201.57	200.72	198.47	197.97	197.22	197.20
	R2: 204.14	203.29	201.04	200.54	199.79	199.77
	R3: 201.88	201.03	198.78	198.28	197.53	197.51
15	R1: 160.45	159.60	157.35	156.85	156.10	156.08
	R2: 165.71	164.86	162.61	162.11	161.36	161.34
	R3: 161.22	160.37	158.12	157.62	156.87	156.85
20	R1: 143.43	142.58	140.33	139.83	139.08	139.06
	R2: 147.22	146.37	144.12	143.62	142.87	142.85
	R3: 144.12	143.27	141.02	140.52	139.77	139.75

Figura 6.

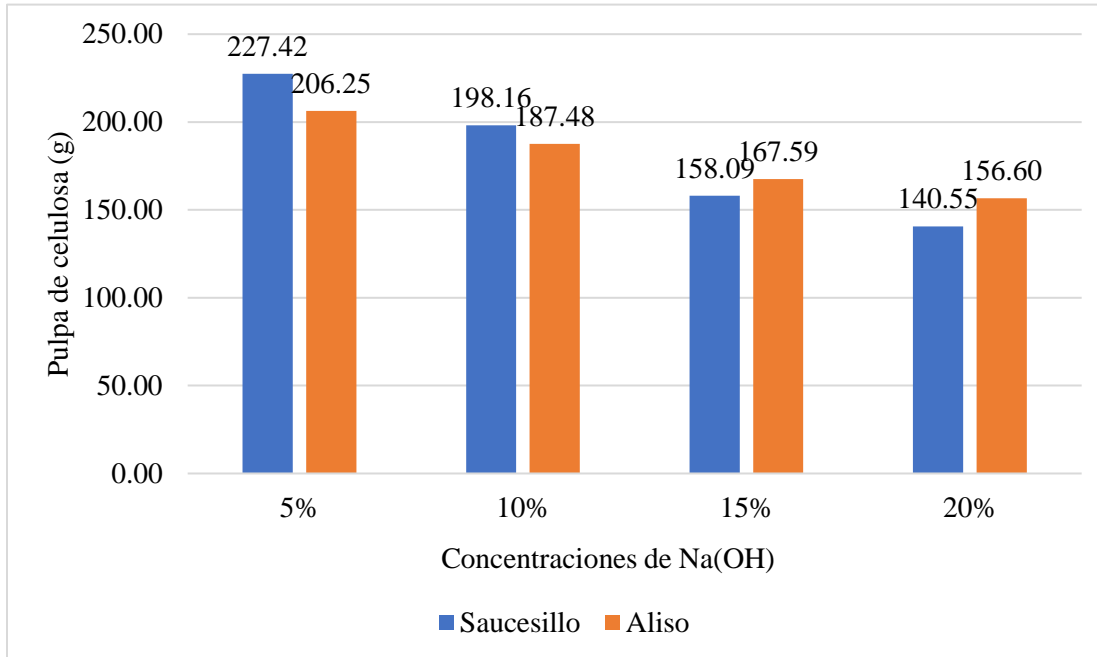
Promedio de los pesos de pulpa celulosa del saucecillo



El gráfico de barras presenta los promedios de peso de la pulpa de saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) en función de la concentración de NaOH utilizada. A una concentración del 5 % se obtuvo el mayor peso promedio (227.42 g), lo cual refleja que aún permanecía una alta proporción de lignina y hemicelulosa en la pulpa, dificultando la desfibración. Conforme aumentó la concentración, el peso descendió progresivamente: 198.16 g a 10 % y 158.09 g a 15 %, este último considerado el más adecuado por generar fibras más flexibles y delgadas. A 20 %, el peso promedio se redujo hasta 140.55 g, lo que, si bien muestra una intensa eliminación de compuestos no celulósicos, también produjo una pulpa más seca y oscura, característica de un sobretratamiento.

Figura 7.

Promedio de los pesos de aliso y saucecillo



El gráfico comparativo muestra los promedios de peso de la pulpa de celulosa de saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) y aliso (*Alnus acuminata*) en función de las concentraciones de NaOH utilizadas. Se observa que en los tratamientos de 5 % y 10 %, el saucecillo conservó mayores pesos que el Aliso, lo que evidencia una menor eliminación de lignina y hemicelulosa, resultando en fibras más duras y compactas. Sin embargo, al 15 %, el aliso presentó un peso promedio ligeramente superior al saucecillo, reflejando una pulpa más flexible y con un grado de delignificación eficiente. Finalmente, al 20 %, ambos materiales mostraron una reducción marcada del peso, pero en el saucecillo el descenso fue más notorio, indicando un sobretratamiento que afectó la calidad de las fibras; en el aliso, aunque también hubo pérdida de masa, las fibras conservaron una estructura más uniforme.

4.1.2. Propiedades físico-morfológicas de la pulpa de celulosa obtenida

4.1.2.1. Cantidad. La determinación del peso seco de la pulpa es un parámetro fundamental para evaluar el rendimiento real del proceso de obtención de celulosa. Este cálculo se realizó comparando la biomasa inicial empleada en cada tratamiento (250 g) con el peso final de la pulpa tras la aplicación de las soluciones alcalinas, el secado y posterior estabilización del material. El análisis permite identificar no solo la cantidad de materia sólida recuperada, sino también la eficiencia en la eliminación de lignina y hemicelulosa, lo que influye directamente en la pureza y calidad de la celulosa. A continuación, se presentan los resultados de rendimiento para aliso (*Alnus acuminata*) y saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) en función de las concentraciones de NaOH aplicadas.

Tabla 15

Cantidad de pulpa obtenida aliso (Alnus acuminata)

Conc. NaOH (%)	Réplica (Peso inicial, g)	Peso constante (g)	Peso Promedio	Rendimiento (%)	Rendimiento promedio (%)
5	R1: 210.23	206.10		82.44	82.50
	R2: 211.58	207.45	206.25	82.98	
	R3: 209.32	205.19		82.08	
10	R1: 190.75	186.62		74.65	74.99
	R2: 190.88	186.75	187.48	74.70	
	R3: 193.21	189.08		75.63	
15	R1: 171.05	166.92		66.77	67.04
	R2: 169.98	165.85	167.59	66.34	
	R3: 174.13	170.00		68.00	
20	R1: 160.10	155.97		62.39	62.64

R2: 162.16	158.03	156.60	63.21
R3: 159.92	155.79		62.32

En el caso del aliso (*Alnus acuminata*), los resultados muestran que el tratamiento al 5 % de NaOH alcanzó un rendimiento promedio elevado (82.50 %), lo cual, si bien refleja una mayor conservación de masa, corresponde a una pulpa con presencia significativa de lignina y hemicelulosa, lo que explica que las fibras resultaran más duras y difíciles de desfibrar. Al aumentar la concentración a 10 % y 15 %, el rendimiento disminuyó a 74.99 % y 67.04 % respectivamente, pero la calidad de la pulpa mejoró notablemente: se obtuvo una estructura más flexible y homogénea, con menor contenido de lignina, lo que se asocia a una celulosa más pura. Finalmente, en el tratamiento al 20 %, el rendimiento fue el más bajo (62.64 %), y aunque se eliminó una cantidad considerable de compuestos no celulósicos, la pulpa presentó un aspecto oscuro después del blanqueado, indicativo de que la alta concentración de hidróxido.

Tabla 16

Cantidad obtenida de pulpa saucecillo (Podocarpus oleifolius)

Na(OH)	Réplica (Peso inicial, g)	Peso constante (g)	Peso Promedio	Rendimiento	Rendimiento promedio
5%	R1: 232.41	228.04		91.22%	90.97%
	R2: 229.77	225.4	227.42	90.16%	
	R3: 233.18	228.81		91.52%	
10%	R1: 201.57	197.2		78.88%	79.26%
	R2: 204.14	199.77	198.16	79.91%	
	R3: 201.88	197.51		79.00%	
15%	R1: 160.45	156.08		62.43%	63.24%
	R2: 165.71	161.34	158.09	64.54%	
	R3: 161.22	156.85		62.74%	
20%	R1: 143.43	139.06		55.62%	56.22%

R2: 147.22	142.85	140.55	57.14%
R3: 144.12	139.75		55.90%

En el caso del sauceillo (*Podocarpus oleifolius*), el tratamiento al 5 % de NaOH mostró un rendimiento promedio elevado (90.97 %), reflejando que gran parte de la biomasa inicial permaneció en la pulpa; sin embargo, este alto valor corresponde a una pulpa con alto contenido de lignina y hemicelulosa, lo que la hacía dura y poco adecuada para la obtención de celulosa pura. Al aumentar la concentración a 10 %, el rendimiento descendió a 79.26 %, y aunque mejoró la delignificación, aún se mantenía una proporción importante de lignina. El mejor resultado se obtuvo al 15 %, con un rendimiento de 63.24 %, ya que la pulpa resultante presentó fibras más flexibles y homogéneas, lo que evidencia una extracción más eficiente de lignina y una celulosa de mayor calidad. En el tratamiento al 20 %, el rendimiento fue el más bajo (56.22 %), y la pulpa adquirió un color oscuro después del blanqueado, lo que indica que el exceso de hidróxido dañó la celulosa y provocó un sobretratamiento.

4.1.2.2. pH: Se determinó en suspensiones acuosas de la pulpa blanqueada, con tres réplicas por cada tratamiento y especie. Los valores se registraron con un decimal y se calcularon promedios y desviación estándar (DE).

Tabla 17*Valores del ph de la pulpa de aliso saucecillo*

Especie	Concentración NaOH (%)	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio
Aliso	5	7.1	7.0	7.2	7.10
	10	6.9	7.0	6.8	6.90
	15	7.0	7.1	7.0	7.03
	20	6.8	6.9	6.8	6.83
Saucecillo	5	7.2	7.1	7.2	7.17
	10	6.9	6.8	6.9	6.87
	15	7.0	7.0	7.1	7.03
	20	6.7	6.8	6.7	6.73

Los resultados de pH obtenidos para la pulpa de aliso (*Alnus acuminata*) y saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) después de los tratamientos alcalinos muestran valores que se mantienen cercanos a la neutralidad, lo que indica que los lavados posteriores fueron efectivos en la eliminación de residuos químicos. En el aliso, los promedios oscilaron entre 6.83 y 7.10, mientras que en el saucecillo variaron entre 6.73 y 7.17, evidenciando que ambas especies presentan un comportamiento estable en cuanto a la neutralización. Se observa una ligera tendencia a valores más bajos en las concentraciones de 20 %, lo que sugiere que un mayor uso de hidróxido deja trazas más difíciles de eliminar, aunque aún dentro del rango aceptable (6.5–7.5). En conjunto, estos resultados confirman que la pulpa obtenida cumple con la condición de pH neutro, requisito fundamental para garantizar estabilidad de las fibras y evitar degradación durante su almacenamiento o procesamiento industrial posterior

4.1.2.3. % Humedad: El porcentaje de humedad de la pulpa se calculó a partir del peso húmedo registrado tras el secado a 65 °C y el peso seco constante alcanzado a 105 °C.

Tabla 18

Porcentaje de humedad aliso (Alnus acuminata)

Conc. NaOH (%)	Réplica (Peso inicial, g)	P. constante	% humedad	% Promedio
5	R1: 210.23	206.1	1.96	1.96
	R2: 211.58	207.45	1.95	
	R3: 209.32	205.19	1.97	
10	R1: 190.75	186.62	2.17	2.1
	R2: 190.88	186.75	2.16	
	R3: 193.21	189.08	2.14	
15	R1: 171.05	166.92	2.41	2.41
	R2: 169.98	165.85	2.43	
	R3: 174.13	170.00	2.37	
20	R1: 160.10	155.97	2.58	2.57
	R2: 162.16	158.03	2.55	
	R3: 159.92	155.79	2.58	

La humedad de la pulpa de celulosa de aliso (*Alnus acuminata*) muestran que, tras el secado en estufa, los valores residuales fueron bajos y consistentes entre las réplicas, con promedios que oscilaron entre 1.96 % y 2.57 % según la concentración de NaOH aplicada. Se observa un incremento progresivo de la humedad conforme aumenta la concentración alcalina, lo que sugiere que las fibras tratadas con mayores porcentajes de hidróxido presentan una estructura más porosa y con mayor capacidad de retener agua residual. Estos valores, cercanos al 2 %, indican que la

pulpa alcanzó un nivel adecuado de secado y estabilidad, garantizando que los pesos empleados en el cálculo de rendimientos corresponden a condiciones de pulpa.

Tabla 19

Porcentaje de humedad saucecillo (Podocarpus oleifolius)

NaOH (%)	Réplica (Peso inicial, g)	Peso constante (g)	% humedad	% Promedio
5	R1: 232.41	228.04	1.88	1.89
	R2: 229.77	225.4	1.90	
	R3: 233.18	228.81	1.87	
10	R1: 201.57	197.2	2.17	2.16
	R2: 204.14	199.77	2.14	
	R3: 201.88	197.51	2.16	
15	R1: 160.45	156.08	2.72	2.69
	R2: 165.71	161.34	2.64	
	R3: 161.22	156.85	2.71	
20	R1: 143.43	139.06	3.05	3.02
	R2: 147.22	142.85	2.97	
	R3: 144.12	139.75	3.03	

La humedad obtenida para la pulpa de celulosa de saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) mostraron un comportamiento muy similar al observado en el Aliso, manteniéndose bajos y dentro de un rango estrecho, con promedios entre 1.9 % y 3.0 % según la concentración de NaOH empleada. Estos resultados indican que el secado en estufa fue eficiente y permitió estabilizar la pulpa hasta alcanzar peso constante. Cabe destacar que los tratamientos con mayores concentraciones alcalinas (15 % y 20 %) presentaron una ligera tendencia a retener más humedad residual, lo cual sugiere que la estructura de las fibras quedó más porosa, permitiendo una mayor

retención de agua. En conjunto, estos valores confirman que la pulpa de saucecillo alcanzó condiciones adecuadas de secado y está en un estado apto para la posterior evaluación de propiedades físico-mecánicas.

4.1.2.4. Densidad aparente (g/cm³): Se calcula a partir de la masa seca y el volumen ocupado sin compactación. El volumen se midió en una probeta graduada, registrando el nivel alcanzado por la pulpa seca

Tabla 20

Densidad aparente de la pulpa de aliso

Conc. NaOH (%)	Réplica	Masa (g)	Volumen (mL)	Densidad (g/mL)	Media ± DE (g/mL)
5	R1	10.00	15.2	0.66	0.65 ± 0.00
	R2	10.00	15.4	0.65	
	R3	10.00	15.3	0.65	
10	R1	10.00	15.9	0.63	0.63 ± 0.00
	R2	10.00	16.1	0.62	
	R3	10.00	15.9	0.63	
15	R1	10.00	16.7	0.60	0.59 ± 0.01
	R2	10.00	17.0	0.59	
	R3	10.00	16.8	0.60	
20	R1	10.00	16.1	0.62	0.62 ± 0.01
	R2	10.00	16.4	0.61	
	R3	10.00	16.1	0.62	

Tendencia esperada a menor deslignificación (5–10 %), la pulpa presenta mayor densidad aparente por menor hinchamiento; a 15 % la densidad disminuye (mayor porosidad y mejor

desfibrado); a 20 % puede observarse un ligero aumento por colapso/rigidización de fibras debido al sobretratamiento.

Tabla 21

Densidad aparente de la pulpa de Saucesillo

Conc. NaOH (%)	Réplica	Masa (g)	Volumen (mL)	Densidad (g/mL)	Media ± DE (g/mL)
5	R1	10.00	15.1	0.66	0.66 ± 0.00
	R2	10.00	15.3	0.65	
	R3	10.00	15.2	0.66	
10	R1	10.00	15.8	0.63	0.63 ± 0.01
	R2	10.00	16.1	0.62	
	R3	10.00	15.9	0.63	
15	R1	10.00	16.9	0.59	0.59 ± 0.00
	R2	10.00	17.1	0.58	
	R3	10.00	17.0	0.59	
20	R1	10.00	16.3	0.61	0.61 ± 0.01
	R2	10.00	16.5	0.61	
	R3	10.00	16.2	0.62	

Se observa que las concentraciones más bajas de NaOH (5 % y 10 %) generaron pulpas de mayor densidad, atribuible a la menor eliminación de lignina que mantiene las fibras más compactas. A 15 %, la densidad disminuye debido a la mayor delignificación, que incrementa la porosidad y capacidad de hinchamiento de las fibras; mientras que a 20 %, el ligero aumento sugiere cierto colapso estructural producto del sobretratamiento alcalino. En conjunto, estos valores confirman una estructura fibrosa estable y comparable con otras fuentes industriales de celulosa.

4.1.2.5. Longitud de las fibras (mm). La determinación de la longitud de las fibras de celulosa se realizó mediante microscopía óptica, utilizando un microscopio trinocular marca Olympus®, calibrado previamente con una lámina micrométrica de 0.01 mm de precisión. Las muestras fueron tomadas de la pulpa celulósica previamente lavada y secada a temperatura ambiente. Para cada concentración de hidróxido de sodio (5 %, 10 %, 15 % y 20 %), se analizó una réplica representativa, seleccionando aleatoriamente fibras individuales del material procesado. El procedimiento consistió en colocar una pequeña porción de fibra dispersa en portaobjetos con una gota de agua destilada, cubriéndola con un cubreobjetos para evitar desplazamientos. Posteriormente, las observaciones se realizaron con aumentos de 40x y 100x, enfocando las fibras longitudinales hasta obtener una visión nítida de sus extremos. Las imágenes fueron capturadas mediante la cámara acoplada al microscopio y medidas utilizando la escala calibrada en milímetros.

Tabla 22

Tamaño de fibra

Especies	Concentración de NaOH (%)	Longitud de fibra (mm)
Aliso (<i>Alnus acuminata</i>)	5	0.90
	10	1.20
	15	1.40
	20	1.02
Saucecillo (<i>Podocarpus oleifolius</i>)	5	2.20
	10	2.73
	15	3.34
	20	2.48

La longitud de las fibras mostró un incremento progresivo hasta el tratamiento con 15 % de NaOH, tanto en *Alnus acuminata* (1.40 mm) como en *Podocarpus oleifolius* (3.34 mm), indicando una deslignificación eficiente y mayor integridad estructural. En contraste, el tratamiento con 5 % de NaOH generó fibras cortas y con residuos de lignina, mientras que el 20 % produjo daño estructural por sobreexposición química. Estos valores son comparables con especies papeleras como el pino y eucalipto, lo que sugiere la viabilidad de ambas especies como fuentes alternativas de celulosa.

4.1.2.6. Color. Se evalúa visualmente, pues la blancura o el oscurecimiento indican el grado de eliminación de lignina y la eficiencia del blanqueo

Figura 8.

Pulpa de celulosa de sauceillo obtenida al 20% de NaOH



En esta imagen se observa una pulpa con tonalidad oscura e irregular, característica del sobretratamiento alcalino. El uso de NaOH al 20 % provocó una degradación parcial de la celulosa, evidenciada por el color marrón-negruzco y la textura quebradiza de las partículas. Este efecto se

asocia a la oxidación y carbonización superficial de las fibras, generando una pérdida de uniformidad y una disminución del rendimiento útil. La presencia de zonas endurecidas indica que, aunque se eliminó buena parte de la lignina, el exceso de concentración alcalina deterioró la estructura celulósica, afectando la blancura y flexibilidad de la pulpa final.

Figura 9.

Pulpa de celulosa de aliso obtenida al 15 % de NaOH



En esta imagen se aprecia una pulpa de color marrón claro a beige, con una textura uniforme y mayor desintegración de las fibras, evidenciando una deslignificación más eficiente que en los tratamientos a 5 % y 10 %. La estructura presenta fragmentos finos, lo que indica que la eliminación de lignina fue adecuada sin llegar a degradar significativamente la celulosa.

Figura 10.

Pulpa de celulosa de saucecillo obtenida al 10 % de NaOH



La pulpa tratada con una concentración del 10 % de NaOH muestra una textura más homogénea y coloración marrón clara, indicativa de una deslignificación moderada y eficiente. En esta etapa, la remoción parcial de lignina y hemicelulosa favorece la separación de las fibras sin causar daño estructural significativo. La muestra presenta un aspecto más fibroso y maleable, lo que evidencia una celulosa con buena integridad molecular

4.1.3. Comparación de las propiedades físico- morfológicas de pulpa de celulosa

En la tabla 21 se presenta la comparación de las propiedades físico–morfológicas de las pulpas obtenidas a partir de aliso (*Alnus acuminata*) y saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) frente a tres especies ampliamente utilizadas en la industria papelera y textil: *Pino radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Bambusa vulgaris*. Los parámetros considerados incluyen rendimiento, pH, humedad, densidad aparente, longitud de fibra y color, los cuales permiten evaluar el potencial de las especies locales como fuentes alternativas de celulosa.

Tabla 23

Comparación de los parámetros evaluados con las 3 especies más comerciales

Parámetro	Aliso (<i>Alnus acuminata</i>)	Saucecillo (<i>Podocarpus oleifolius</i>)	Pino (<i>radiata</i>)	<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Bambusa vulgaris</i>	Observaciones
Rendimiento (%)	63–83	56–91	45–55	48–52	50–60	Valores comparables; saucecillo más eficiente en 15% NaOH.
pH	6.8–7.1	6.7–7.2	6.8–7.2	6.5–7.0	6.2–6.8	Todas neutras; adecuada eliminación de álcalis.
Humedad (%)	1.9–2.6	1.9–3.0	2.0–2.5	2.0–2.8	2.5–3.5	Pulpa seca y estable; baja retención de agua.
Densidad aparente (g/mL)	0.59–0.66	0.58–0.66	0.55–0.70	0.60–0.68	0.50–0.62	Similares a especies comerciales.
Longitud de fibra (mm)	0.9–1.4	2.2–3.1	2.5–3.5	0.9–1.5	1.6–2.4	saucecillo con fibras más largas; Aliso más fino.
Color de la pulpa	Amarillo pálido (10%) Beige claro (15%)	Amarillo clara (15%) Oscuro (20%)	Blanco brillante	Blanco claro	Beige claro	Blanqueo efectivo a 15% NaOH.

Nota: Los valores de referencia para las especies comerciales (*Pino radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Bambusa vulgaris*), Martínez (2019), Jimenes (2017).

La comparación de las propiedades físico-morfológicas de las pulpas de aliso (*Alnus acuminata*) y saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) frente a especies forestales comerciales revela diferencias notables que sustentan su potencial como materias primas alternativas. En primer lugar, el rendimiento de pulpa fue comparable en ambas especies locales (63% y 56 %, respectivamente), superando los rangos industriales del *Pinus radiata* (45–55 %) y del *Eucalyptus globulus* (48–52 %), lo que indica una mayor recuperación de sólidos lignocelulósicos, aunque con un posible contenido residual de lignina. En cuanto al pH, los valores neutros (6.7–7.2) en aliso y saucecillo evidencian un lavado eficaz tras el tratamiento alcalino y el blanqueado, lo cual asegura la estabilidad química de la pulpa y evita la degradación de las fibras durante su almacenamiento o procesamiento posterior.

En el aspecto físico, la humedad residual (1.9–3.0 %) y la densidad aparente (0.58–0.66 g/mL) se encuentran dentro de los límites óptimos para pulpas secas y estables, comparables con las obtenidas en especies industriales. Destaca la longitud de fibra, donde el saucecillo presentó valores entre 2.2 y 3.1 mm, similares a los del *Pinus radiata* (2.5–3.5 mm), lo que confiere a esta pulpa una mayor resistencia mecánica y flexibilidad. En contraste, el aliso mostró fibras más cortas (0.9–1.4 mm), semejantes a las del *Eucalyptus globulus* (0.9–1.5 mm), ideales para mejorar la suavidad y uniformidad en papeles finos. El color final de la pulpa, predominantemente crema claro tras el blanqueado a 15 % NaOH, confirma una buena eliminación de lignina sin daño significativo a la celulosa.

4.2. Contrastación de Hipótesis

H0: No existe diferencias significativas en el rendimiento de celulosa a cuatro concentraciones de NaOH (5, 10, 15 y 20%) obtenida a partir de residuos de aliso y sauceillo utilizando el tratamiento alcalino.

H1: Existe diferencias significativas en el rendimiento de celulosa a cuatro concentraciones de NaOH (5, 10, 15 y 20%) obtenida a partir de residuos de aliso y sauceillo utilizando el tratamiento alcalino.

Tabla 24

Análisis descriptivo del rendimiento del aliso

Concentración de NaOH	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
5,00	3	82.5000	0.45299	0.26153	81.3747	83.6253	82.08	82.98
10.00	3	74.9933	0.55194	0.31866	73.6222	76.3644	74.65	75.63
15.00	3	67.0367	0.86153	0.49740	64.8965	69.1768	66.34	68.00
20.00	3	62.6400	0.49487	0.28572	61.4107	63.8693	62.32	63.21
Total	12	71.7925	7.95922	2.29763	66.7355	76.8495	62.32	82.98

A medida que la concentración de NaOH aumentó a 10 % y 15 %. se observó una disminución en el rendimiento. pero una mejora significativa en la calidad de la pulpa. A estas concentraciones. las fibras se tornaron más claras. maleables y fácilmente desfibrables. lo que refleja una deslignificación más eficiente y una estructura fibrosa más limpia. Particularmente. el

tratamiento al 15 % se consideró el más adecuado. ya que permitió obtener una pulpa con un equilibrio favorable entre rendimiento y pureza. sin signos de degradación.

Tabla 25

Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Rendimiento	Se basa en la media	0.994	3	8	0.443
Aliso	Se basa en la mediana	0.194	3	8	0.898
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.194	3	6.499	0.897
	Se basa en la media recortada	0.890	3	8	0.487

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para el rendimiento del Aliso mostró valores de significancia mayores a 0.05 en todos los métodos de cálculo (Sig. = 0.443; 0.898; 0.897; 0.487). lo que indica que no existen diferencias significativas entre las varianzas de los grupos. Esto significa que los datos cumplen con el supuesto de homogeneidad necesario para aplicar el ANOVA de un factor.

Tabla 26

Anova Aliso

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F calculado	F tabular	Sig.
Entre grupos	693.846	3	231.282	618.002	4.07	<0.001***
Dentro de grupos	2.994	8	0.374			
Total	696.840	11				

Nota: *** $p < 0.001$ (altamente significativo). * F tabular ($\alpha = 0.05$; $gl_1 = 3$; $gl_2 = 8$)

La prueba ANOVA de un factor aplicada al rendimiento de celulosa del aliso (*Alnus acuminata*) evidenció la existencia de diferencias altamente significativas entre las concentraciones de NaOH evaluadas. El valor obtenido de $F(3,8) = 618.002$, con un nivel de significancia $p < 0.001$, indica que la concentración del hidróxido de sodio ejerce un efecto directo y estadísticamente significativo sobre el rendimiento de la pulpa de celulosa obtenida.

Asimismo, al comparar el valor de F calculado (618.002) con el F tabular (4.07), se observa que el primero es ampliamente superior, lo que conduce al rechazo de la hipótesis nula (H_0) y a la aceptación de la hipótesis alternativa (H_1). En consecuencia, se concluye que las variaciones en la concentración alcalina modifican significativamente la cantidad de celulosa recuperada tras el tratamiento alcalino aplicado al aliso.

Este resultado confirma que concentraciones moderadas, entre 10 % y 15 % de NaOH, ofrecen un rendimiento más equilibrado y una celulosa de mejor calidad, mientras que las concentraciones extremas (5 % y 20 %) generan materiales con impurezas o degradación estructural.

Tabla 27

HSD Tukey para la celulosa de aliso

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
5.00	10.00	7.50667*	0.49949	0.000	5.9071	9.1062
	15.00	15.46333*	0.49949	0.000	13.8638	17.0629
	20.00	19.86000*	0.49949	0.000	18.2604	21.4596
10.00	5.00	-7.50667*	0.49949	0.000	-9.1062	-5.9071

	15.00	7.95667*	0.49949	0.000	6.3571	9.5562
	20.00	12.35333*	0.49949	0.000	10.7538	13.9529
15.00	5.00	-15.46333*	0.49949	0.000	-17.0629	-13.8638
	10.00	-7.95667*	0.49949	0.000	-9.5562	-6.3571
	20.00	4.39667*	0.49949	0.000	2.7971	5.9962
20.00	5.00	-19.86000*	0.49949	0.000	-21.4596	-18.2604
	10.00	-12.35333*	0.49949	0.000	-13.9529	-10.7538
	15.00	-4.39667*	0.49949	0.000	-5.9962	-2.7971

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

La prueba post hoc de Tukey HSD aplicada al rendimiento del aliso (*Alnus acuminata*) confirma que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$) entre todas las concentraciones evaluadas de NaOH (5 %, 10 %, 15 % y 20 %). Las diferencias de medias positivas y negativas observadas en los pares comparativos evidencian que cada tratamiento generó un rendimiento distinto y no pertenecen al mismo grupo homogéneo. En particular, la mayor diferencia se presenta entre los tratamientos al 5 % y 20 % (19.86 puntos), lo que demuestra el fuerte efecto del incremento de la concentración sobre la reducción del rendimiento.

Tabla 28

Análisis descriptivo rendimiento del sauceillo

Concentración NaOH	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
5.00	3	90.9667	0.71452	0.41253	89.1917	92.7416	90.16	91.52
10.00	3	79.2633	0.56323	0.32518	77.8642	80.6625	78.88	79.91
15.00	3	63.2367	1.13931	0.65778	60.4065	66.0669	62.43	64.54
20.00	3	56.2200	0.80895	0.46705	54.2105	58.2295	55.62	57.14

Total	12	72.4217	14.20087	4.09944	63.3989	81.4445	55.62	91.52
-------	----	---------	----------	---------	---------	---------	-------	-------

Los resultados descriptivos del rendimiento de celulosa del saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) muestran una tendencia decreciente a medida que aumenta la concentración de NaOH. con promedios de 90.97 % a 5 %. 79.26 % a 10 %. 63.23 % a 15 % y 56.22 % a 20 %. Este comportamiento refleja que las concentraciones más bajas conservan una mayor masa. aunque no corresponden necesariamente a una celulosa pura. ya que en el tratamiento al 5 % la acción alcalina fue insuficiente para eliminar completamente la lignina. lo que dio como resultado una pulpa con aspecto más oscuro y menos flexible. En contraste. los tratamientos al 10 % y 15 % mostraron un balance óptimo entre rendimiento y calidad. evidenciando una deslignificación más eficiente y fibras más limpias y maleables.

Tabla 29

Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de	gl1	gl2	Sig.
		Levene			
Rendimiento de	Se basa en la media	1.124	3	8	0.395
Saucecillo	Se basa en la mediana	0.144	3	8	0.931
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.144	3	6.04	0.930
	Se basa en la media recortada	0.968	3	8	0.454

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene aplicada al rendimiento del saucecillo (*Podocarpus leifolius*) muestra valores de significancia superiores a 0.05 en todos los métodos de cálculo ($p = 0.395; 0.931; 0.930; 0.454$). lo que indica que no existen diferencias significativas

entre las varianzas de los grupos. Esto significa que los datos cumplen con el supuesto de homogeneidad requerido para aplicar el ANOVA de un factor, garantizando que las comparaciones entre los tratamientos de NaOH (5 %, 10 %, 15 % y 20 %) sean válidas y confiables. En consecuencia, se confirma que la variabilidad en los rendimientos entre concentraciones es estadísticamente similar, lo que respalda la validez del análisis comparativo posterior.

Tabla 30

Anova para la celulosa de saucecillo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F calculado	F tabular	Sig.
Entre grupos	2212.751	3	737.584	1061.195	4.07	<0.001***
Dentro de grupos	5.560	8	0.695			
Total	2218.311	11				

Nota: *** $p < 0.001$ (altamente significativo). * F tabular ($\alpha = 0.05$; $g_1 = 3$; $g_2 = 8$)

La prueba ANOVA de un factor aplicada al rendimiento de celulosa del **saucillo** (*Podocarpus oleifolius*) evidenció la existencia de diferencias altamente significativas entre los tratamientos de NaOH evaluados. El valor obtenido de $F(3,8) = 1061.195$, con un nivel de significancia $p < 0.001$, demuestra que la concentración del hidróxido de sodio ejerce un efecto directo y estadísticamente significativo sobre el rendimiento de celulosa obtenida.

Asimismo, al comparar el F calculado (1061.195) con el F tabulado (4.07), correspondiente a un nivel de significancia < 0.001 y con 3 y 8 grados de libertad, se observa que el estadístico calculado supera ampliamente al valor crítico. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), concluyéndose que las variaciones en la concentración

alcalina generan diferencias reales y altamente significativas en la cantidad de celulosa recuperada del saucecillo.

Tabla 31

HSD Tukey saucecillo

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
5.00	10.00	11.70333*	0.68071	0.000	9.5235	13.8832
	15.00	27.73000*	0.68071	0.000	25.5501	29.9099
	20.00	34.74667*	0.68071	0.000	32.5668	36.9265
10.00	5.00	-11.70333*	0.68071	0.000	-13.8832	-9.5235
	15.00	16.02667*	0.68071	0.000	13.8468	18.2065
	20.00	23.04333*	0.68071	0.000	20.8635	25.2232
15.00	5.00	-27.73000*	0.68071	0.000	-29.9099	-25.5501
	10.00	-16.02667*	0.68071	0.000	-18.2065	-13.8468
	20.00	7.01667*	0.68071	0.000	4.8368	9.1965
20.00	5.00	-34.74667*	0.68071	0.000	-36.9265	-32.5668
	10.00	-23.04333*	0.68071	0.000	-25.2232	-20.8635
	15.00	-7.01667*	0.68071	0.000	-9.1965	-4.8368

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

La prueba post hoc de Tukey HSD aplicada al rendimiento de celulosa del saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) confirma que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$) entre todos los tratamientos evaluados con NaOH (5 %, 10 %, 15 % y 20 %). Las diferencias de medias positivas y negativas, todas con significancia al nivel de 0.05, evidencian que cada concentración generó un rendimiento distinto, por lo que no pertenecen al mismo grupo

homogéneo. Las mayores diferencias se observaron entre los tratamientos 5 % y 20 % (34.75 puntos). lo que demuestra la fuerte influencia del incremento de la concentración alcalina sobre la reducción del rendimiento final.

Estos resultados reflejan que el rendimiento más alto (5 %) no representa una celulosa pura, sino una pulpa con alta presencia de lignina y hemicelulosa. mientras que las concentraciones 10 % y 15 % lograron un balance óptimo entre rendimiento y calidad. con fibras más limpias, suaves y maleables. En contraste, el tratamiento al 20 % mostró un rendimiento muy bajo y una pulpa oscura y quebradiza, asociada a una degradación parcial de la celulosa por exceso de álcali. En conjunto, la prueba de Tukey respalda los resultados del ANOVA y confirma que la concentración de NaOH afecta significativamente el rendimiento y la pureza de la celulosa del saucecillo, siendo

Las concentraciones intermedias las más adecuadas para obtener un producto de calidad y con estabilidad estructural.

4.3. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidenciaron que las concentraciones de NaOH al 10 % y 15 % fueron las más adecuadas para la obtención de una pulpa de celulosa más pura y con buena flexibilidad tanto en *Alnus acuminata* (aliso) como en *Podocarpus oleifolius* (saucillo). En estas concentraciones se logró eliminar gran parte de la lignina y hemicelulosa, obteniéndose rendimientos promedio de 74.9 % y 67.0 % en aliso, y de 79.2 % y 63.2 % en Saucillo, respectivamente. Estos valores concuerdan con los reportados por Mayta et al. (2023), quienes alcanzaron un rendimiento de 79.4 % de celulosa a partir de hojas de maíz tratadas químicamente, señalando también una pureza del 72.3 %. Dichos autores destacan que los procesos alcalinos controlados favorecen la separación eficiente de las fibras y el incremento de la cristalinidad de la celulosa, resultados que coinciden con los observados en los tratamientos

intermedios de esta investigación. donde las fibras presentaron una morfología fibrilada y un color blanquecino tras el blanqueo.

Por otro lado. los tratamientos con NaOH al 5 % en ambas especies mostraron altos rendimientos aparentes (82.5 % en aliso y 90.9 % en saucecillo). pero estos valores no representan celulosa pura. sino una pulpa con elevado contenido de lignina residual. Esta situación coincide con los hallazgos de Herrera y Hoyos (2021). quienes evidenciaron que el exceso de compuestos lignocelulósicos afecta las propiedades ópticas del papel y su calidad final. De igual modo. el tratamiento al 20 % de NaOH generó un bajo rendimiento y un color oscuro característico de una degradación térmica y química de la celulosa. tal como también describen Ramos (2023) y Parra (2018). quienes concluyeron que condiciones excesivas de tratamiento químico pueden causar daños estructurales y pérdida de masa celulósica. reduciendo el rendimiento útil.

En comparación con los resultados de Parra (2018). quien reportó un rendimiento del 47.1 % para *Alnus acuminata* en un proceso de pulpeo tipo Kraft. los valores alcanzados en este estudio fueron más altos debido a que se aplicaron condiciones menos severas y con una menor degradación térmica. Sin embargo. el rendimiento del aliso en este trabajo se encuentra dentro del rango esperado para materiales lignocelulósicos de baja densidad. lo que refuerza su potencial como fuente alternativa de fibras celulósicas para aplicaciones en biocompuestos. papel o biofilm. Asimismo. los valores de pH neutro (6.8–7.2) obtenidos después de los lavados y blanqueos sugieren una buena neutralización del medio alcalino. similar a las condiciones controladas observadas en los estudios de Mayta et al. (2023) y Jiménez et al. (2017).

La ligera tendencia al incremento del contenido de humedad observada en los tratamientos con concentraciones intermedias y altas de NaOH (15 % y 20 %) puede atribuirse a las modificaciones estructurales de las fibras generadas durante el tratamiento alcalino. La mayor

remoción de lignina y hemicelulosa favorece el hinchamiento de las fibras y el aumento de la porosidad. lo que incrementa la capacidad de retención de agua en la estructura celulósica. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Fengel y Wegener (2014). quienes señalan que una mayor accesibilidad de los grupos hidroxilo de la celulosa incrementa su afinidad por el agua

Asimismo. Smook (2016) indica que pulpas con mayor grado de deslignificación presentan una estructura más abierta. lo que facilita la absorción y retención de humedad. aun después de procesos de secado controlados. No obstante. los valores obtenidos en este estudio permanecen dentro de los límites aceptables para pulpas destinadas a procesos posteriores de caracterización y uso industrial. lo que sugiere una adecuada estabilidad higroscópica del material.

Martínez (2019) indica que los contenidos de humedad elevados tienden a incrementar el volumen aparente de la pulpa. reduciendo su densidad. En este estudio. los valores de humedad obtenidos se mantuvieron dentro de rangos aceptables comparado con los valores de las especies comerciales. lo que contribuyó a una densidad estable y coherente con una pulpa de buena calidad.

La densidad aparente de la pulpa de celulosa está influenciada por la concentración de hidróxido de sodio utilizada en el tratamiento alcalino. En este estudio. la reducción de la densidad observada al 15 % de NaOH se asocia a una mayor eliminación de lignina y hemicelulosa. lo que provoca el hinchamiento de las fibras y el aumento de la porosidad de la pulpa. En contraste. el leve incremento de la densidad registrado al 20 % de NaOH se relaciona con un sobretreatmento alcalino. que puede generar colapso o rigidización de las fibras.

Este comportamiento concuerda con lo señalado por Smook (2016) quien indica que la eliminación progresiva de lignina durante el pulpeo alcalino reduce la rigidez de la pared celular.

permitiendo una mayor separación entre fibras y, en consecuencia, una menor compactación del material.

De igual manera Sharma et al. (2019) destacan que bajo condiciones alcalinas controladas, el NaOH rompe los enlaces éter y éster de la lignina, facilitando la expansión estructural de la celulosa sin afectar significativamente su integridad.

Asimismo, Casey (2018) menciona que pulpas con mayor grado de delignificación presentan una densidad aparente menor debido al aumento de la porosidad y a la capacidad de absorción de agua de las fibras, características que mejoran la flexibilidad y las propiedades físico-mecánicas del producto final.

La longitud de la fibra constituye un parámetro determinante en la calidad y comportamiento estructural de la pulpa de celulosa. Casey (2018) señala que las fibras cortas favorecen la formación de hojas más uniformes y suaves, aunque presentan menor resistencia mecánica, lo que demuestra que la longitud de la fibra influye directamente en la estructura de la red fibrosa y en las propiedades finales del producto.

En la presente investigación, los resultados evidencian diferencias en la longitud de fibra entre las especies evaluadas. *Podocarpus oleifolius* (saucecillo) presentó fibras con una longitud promedio cercana a 3.34 mm mientras que *Alnus acuminata* (aliso) mostró fibras más cortas con valores cercanos a 1.4 mm. No obstante, ambos rangos se consideran adecuados para la obtención de pulpa de celulosa, ya que permiten una correcta formación de la red fibrosa y un desempeño aceptable del material final.

Finalmente. la comparación global con los antecedentes confirma que tanto el aliso como el saucecillo son materias primas viables para la obtención de celulosa de calidad. siempre que se controle la concentración del tratamiento alcalino y la etapa de blanqueo.

Mientras que Mayta et al. (2023) y Ramos (2023) demostraron la efectividad de pretratamientos químicos y térmicos en residuos agrícolas e industriales. esta investigación aporta evidencia experimental sobre especies forestales nativas del Perú. destacando su potencial para aplicaciones sostenibles.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

➤ La aplicación del método alcalino con NaOH en concentraciones de 5 %, 10 %, 15% y 20% permitió determinar que las concentraciones al 10 % y 15 % fueron las más eficientes para la obtención de pulpa de celulosa de alta calidad a partir de los residuos de aliso y saucecillo. En el caso del aliso, los tratamientos al 10 % y 15 % mostraron rendimientos del 74.9 % y 67.0 %, respectivamente, mientras que en el saucecillo los valores fueron de 79.2 % y 63.2 %. Las concentraciones al 5 % conservaron impurezas lignocelulósicas y al 20 % se degradó parcialmente.

➤ Se determinaron las propiedades físico-morfológicas del aliso (*Alnus acuminata*) y saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) con valores de pH entre 6.7 y 7.2, lo que indicó una neutralización adecuada de las fibras dentro de la solución, posterior al tratamiento alcalino. El contenido de humedad fue bajo (1.9–2.6 %), reflejando una buena estabilidad de las fibras; la densidad aparente varió entre 0.52 y 0.63 g/cm³.

➤ La comparación de las propiedades físico-morfológicas de las pulpas de *Alnus acuminata* y *Podocarpus oleifolius* con una celulosa comercial mostró similitudes notables en cuanto a pH, densidad y comportamiento estructural. Aunque los valores de rendimiento fueron ligeramente superiores en el saucecillo, el aliso presentó una textura más blanda y mayor facilidad de desfibrado.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda que en futuras investigaciones se realicen análisis complementarios de composición química, especialmente la cuantificación de celulosa, hemicelulosa y lignina antes y después del tratamiento alcalino, mediante técnicas como espectroscopía FTIR, difracción de rayos X (DRX) o análisis termogravimétrico (TGA). Estos estudios permitirían establecer con mayor precisión la eficiencia del proceso de deslignificación y el grado de pureza de la pulpa obtenida, así como validar los resultados de rendimiento y correlacionarlos con la estructura cristalina y amorfa de la celulosa.

Asimismo, se sugiere optimizar las condiciones del tratamiento alcalino, evaluando tiempos de cocción, temperatura y agitación controlada, para minimizar la degradación de las fibras a concentraciones altas de NaOH. De igual forma, sería conveniente incorporar una etapa de blanqueo secuencial con peróxido de hidrógeno o hipoclorito de sodio, a fin de mejorar la blancura y homogeneidad de la pulpa sin comprometer su integridad. La aplicación de análisis morfológicos por microscopía electrónica de barrido (SEM) contribuiría a visualizar la eliminación de lignina y la exposición de las microfibrillas, permitiendo correlacionar la estructura superficial con las propiedades físico-mecánicas de la celulosa obtenida.

Se recomienda que futuras investigaciones incorporen un enfoque comparativo regional, evaluando residuos lignocelulósicos de otras especies forestales representativas de la región Cajamarca, tales como *Eucalyptus globulus*, *Pinus radiata* o *Salix humboldtiana*, bajo condiciones controladas de tratamiento alcalino similares a las empleadas en el presente estudio. Esta ampliación permitiría analizar el comportamiento diferencial de cada especie frente a la deslignificación alcalina, considerando su composición estructural, contenido de lignina y respuesta al NaOH, con el fin de identificar materias primas locales con mayor potencial para la

obtención de celulosa. estos estudios contribuirían a fortalecer el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales regionales. promoviendo alternativas tecnológicas adaptadas a las condiciones productivas y ambientales de Cajamarca.

Finalmente. se recomienda ampliar el estudio hacia la evaluación industrial y ambiental del proceso. considerando un análisis de costos y de impacto ecológico. La implementación de un balance de materia y energía permitiría valorar la eficiencia del proceso y el aprovechamiento integral de los residuos lignocelulósicos. Además. el uso de técnicas de revalorización de subproductos como la obtención de lignina técnica o hemicelulosas fermentables favorecería un modelo de biorrefinería sostenible. contribuyendo al desarrollo local. la reducción de residuos forestales y la sustitución progresiva de materias primas importadas por fuentes renovables locales.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Angiosperm Phylogeny Group. (2021). *Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants*. <https://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>
- Alvarado J. J.. & Rutiaga Quiñones. J. G. (2018). Estudio de cinética en procesos termogravimétricos de materiales lignocelulósicos. *Maderas: Ciencia y Tecnología*. 20(2). 221–238. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2018005002201>
- Atúncar-Vilela. W. B.. González-Mora. H. E.. Arango-Pérez. S. A.. & Cárdenas-Oscanoa. A. J. (2025). Elaboración de papel con fibra virgen y reciclada reforzada con celulosa nanofibrilada de *Guadua angustifolia*. *Colombia Forestal*. 27(2). 1 -20. <https://doi.org/10.14483/2256201X.20917>
- Balea. A. (2017). *Celulosa nanofibrilada y su aplicación en la industria papelera para la mejora de productos reciclados* [Tesis de pregrado. Universidad Complutense de Madrid]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=230053>
- Barriga Díaz. C. E. (2020). *Obtención de celulosa a partir de residuos agroindustriales de paja de arroz para su aplicación en la elaboración de bioplásticos* [Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3812>
- Benavidez Tantaleán. D. I.. & Rojas Díaz. W. (2024). *Variación radial de las características anatómicas de la madera de aliso (Alnus acuminata Kunth) procedentes de la provincia de Chota. Cajamarca* [Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de Chota]. Universidad Nacional Autónoma de Chota. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/493>

- Benites. R.. Ruiz. D.. Obando. M.. Miranda. C.. & Gil. J. (2013). Gestión integral de residuos químicos generados en los laboratorios de docencia en química de la Universidad del Cauca. *Ciencia en Desarrollo*.<http://www.scielo.org.co/pdf/cide/v4n2/v4n2a08.pdf>
- Buelvas. M.. & Zambrano. W. (2016). *Procedimiento para la calibración de balanzas analíticas en el laboratorio de química de la sede San Pablo de la Universidad de Cartagena* [Tesis de pregrado. Universidad de Cartagena].
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstreams/c2c2181f-d6a2-4bb2-9517-38f47403d31f/download>
- Cabascango. E.. Arteaga. A.. Sánchez. R.. Navarro. B.. & Jácome. C. (2021). Técnicas de extracción de celulosa en residuos agroindustriales. *Revista Pertinencia Académica*. 6 (1). 1-12 <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/rpa/article/view/2603>
- Casey. J.(2018). *Pulp and paper: Chemistry and chemical technology* (4th ed.). Wiley-Interscience.
- Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI - Reglamento para la Gestión Forestal. (2015). Diario Oficial El Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/4773055-018-2015-minagri>.
- Demirbas. A. (2021). *Biomass resources for energy and industry*. Academic Press.
<https://www.sciencedirect.com/book/9780128118489/biomass-resources-for-energy-and-industry>
- Fengel. D.. & Wegener. G. (2014). *Wood: Chemistry. ultrastructure. reactions*. Walter de Gruyter.
- Fengel. D.. & Wegener. G. (2020). *Wood: Chemistry. ultrastructure. reactions*. Walter de Gruyter.
<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9783110839654/html>

- Figueroa. H. (2022). *Diseño de proceso para producción de cubos de fibras de celulosa a partir de papel para reciclar en Perú* [Tesis de pregrado. Universidad de Ingeniería y Tecnología]. <https://repositorio.utec.edu.pe/handle/20.500.12815/293>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). *State of the World's Forests 2019*. <https://www.fao.org/state-of-forests/en/>
- González. E.. & Herrera. M. (2020). Traditional uses and applications. *South American Journal of Ethnobotany*. 12(3). 123-132. <https://ethnobotanyjournal.org/index.php/era/article/view/1274>
- González. J.. López. H.. & Torres. P. (2020). Evaluación del rendimiento en la producción de pulpa de celulosa. *Ciencia y Tecnología Forestal*. 22(1). 123-135. <https://www.cienciaytecnologiaforestal.mx/articulo.php?2020/1/123>
- Gullichsen. J.. & Fogelholm. C. J. (2020). *Chemical pulping*. Fapet Oy. <https://www.fapet.fi/chemical-pulping/>
- Hernández. R.. Fernández. C.. & Baptista. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill. <https://www.mheducation.com.mx/bcv/guide/capitulo/607f3c4696cb7.pdf>
- Herrera. T.. & Hoyos. E. (2021). *Elaboración de papel ecológico usando bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) y bagazo de beterraga (Beta vulgaris)*. Chiclayo [Tesis de grado. Universidad César Vallejo] https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/72173/Herrera_VTL-Hoyos_HES-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Hidalgo, D.. & Ruiz, M. (2019). La recolección selectiva como estrategia de gestión de residuos. *Revista de Gestión Ambiental*. 14(3). 123-138.
<https://www.gestionambientaljournal.org/article/view/1453>
- Jhonatan, Q. T. (2023). *Importancia del plan de manejo de residuos peligrosos en la implementación del SGA en laboratorio químico de un centro minero. Junín 2023*. [Tesis de Postgrado. Universidad Nacional del Centro del Peru]
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/10563>
- International Tropical Timber Organization. (2013). *Especies vegetales del altiplano del oriente: Características botánicas y usos*.
<https://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD%20240%2003/pd240-03-2%20rev1%28F%29%20s.pdf>
- Jiménez, M., García, A., Prieto, G., Prieto, M., & Acevedo, S. (2017). Obtención de pulpa de celulosa a partir de residuos de *Agave salmiana* B. Otto ex Salm. Optimización. *DYNA*. 84 (200). 253-260. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49650910031.pdf>
- Jiménez Muñoz, E. (2017). Obtención de pulpa de celulosa a partir de residuos de agaváceas: Potencial elaboración de papel tipo artesanal. [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo].
https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/doctorado/documentos/tesis_edith.pdf
- Jirón García, E., & Rodríguez Mora, K. (2022). Funcionalización de nanocelulosa de raquis de palma como adsorbente de iones de arsénico del agua. *InterSedes*. 23(48). 208–227.
<https://doi.org/10.15517/isucr.v23i48.49746>

- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Bohn, A. (2018). Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(22), 3358-3393. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/anie.200460587>
- Martínez, J., & López, A. (2021). Innovaciones en la producción de pulpa de celulosa a partir de residuos agrícolas en Perú. *Revista de Ingeniería Ambiental*. <https://revistaingenieriaambiental.org/2021/innovaciones-pulpa-celulosa.pdf>
- Martínez, L., Pérez, R., & Sánchez, M. (2019). Aprovechamiento de residuos vegetales en la industria. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(3), 45-56. <https://www.rmquimica.mx/revista/articulo.php?2019/3/456>
- Martínez, R., Gómez, L., & Sánchez, M. (2021). The walnut tree (*Juglans neotropica*): Uses and applications. *Forestry Studies*, 56(1), 45-60. https://www.researchgate.net/publication/351625065_The_Walnut_Tree_Juglans_neotropica_Uses_and_Applications
- Mayta-Paucara, S., Norabuena-Meza, E., Tello-Sánchez, A., & Quintana-Cáceda, M. E. (2023). *Extracción y caracterización de celulosa a partir de residuos de hojas de maíz*. *Tecnia*, 33(2), 53-61. <https://doi.org/10.21754/tecnica.v33i2.1676>
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2018). *Ley Forestal y de Fauna Silvestre*. <https://www.minam.gob.pe/ley-forestal/>
- Ministerio de Salud [MINSA]. (2018). *Norma Técnica de Salud: "Gestión Integral y Manejo de Residuos Sólidos en Establecimientos de Salud. Servicios Médicos de Apoyo y Centros de Investigación"*. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/223593-1295-2018-minsa>

Luciana. C. V. (2018). Manual de manejo de residuos peligrosos en los laboratorios de química básica. Universidad veracruzana

<https://www.uv.mx/coatza/cq/files/2020/09/manual-de-manejo-de-residuos-peligrosos.pdf>

Osalde. V. de J.. & Pedraza. C. G. (2021). *Obtención de nanofibras de celulosa de residuos de cáscara de naranja y de Hibiscus sabdariffa por electrospinning* [Tesis de pregrado.

Universidad Autónoma de Querétaro]. <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/7902/1/RI007229.pdf>

Osorio. V. R. (2020). *Influencia de laboratorio de biología y química en el desarrollo de competencias de ciencia, tecnología y ambiente en los estudiantes del 3er grado de secundaria de la I.E. Pedro Portillo Silva – 2020* [Tesis de maestría. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <http://hdl.handle.net/20.500.14067/7011>

Parra. R. (2018). *Obtención de pulpa kraft de Alnus acuminata h.b.k. comparada con pulpa kraft obtenida de Pinus pseudostrobus l., Quercus laurina humb & bonpl y Eucalyptus camaldulensis dehn.* [Tesis de Pregrado. Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/18434/1/1080289178.pdf>

Pereira. H.. & Tomás. J. L. (2019). Wood and cork: Characterization, properties and applications (1st ed., pp. 1–336). Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/wood-and-cork/9780128192007>

Ramos. J. J.. & Torres Acuña. K. L. (2023). *Extracción de celulosa de pulpa de café de la cooperativa Coop Sol & Café mediante el método de pulpeo. Jaén 2023* [Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Trujillo]. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/21128>

- Ramos. V. (2023). *Diseño de un proceso para la obtención de nanofibras de celulosa a partir de Stipa ichu* [Tesis de pregrado. Universidad de Ingeniería y Tecnología].
https://repositorio.utec.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12815/327/Ramos%20Nazario_Tesis.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Reverter. F. (2018). *Análisis de la varianza (ANOVA)*. Universitat Oberta de Catalunya.
<https://openaccess.uoc.edu/server/api/core/bitstreams/bdcd9dbd-16b4-4830-a314-abde3a91a37d/content>
- Riascos Forero . L.. & Tupaz Enríquez . M. (2015). *Propuesta para el Manejo de Residuos Químicos en los Laboratorios de Química de la Universidad de Nariño* . [Tesis postgrado. Universidad de Manizales]
[/https://ridum.umanizales.edu.co/server/api/core/bitstreams/96e5efe0-c981-49d4-85f4-7f6ab39f26e4/content](https://ridum.umanizales.edu.co/server/api/core/bitstreams/96e5efe0-c981-49d4-85f4-7f6ab39f26e4/content)
- Rodríguez. A.. Pérez. C.. & Fernández. P. (2019). *Podocarpus oleifolius*: Ecological and economic importance. *Andean Forest Journal*. 15(2). 89-98.
<https://www.andeanforestjournal.org/article/view/15>
- Rosales. M. D. (2025). *Relación entre las propiedades químicas del suelo, la composición química y las propiedades físicas de la madera de Alnus acuminata Kunth, en la ciudad de Loja* [Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Loja].
https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/30027/1/M%C3%B3nicaDaniela_RosalesTorres.pdf
- Ruiz Culty. K. (2021). *Optimización del proceso etanosolv para la obtención de celulosa biomásica y valoración de diferentes rutas de acetilación del material* [Tesis doctoral.

- Centro de Investigación en Materiales Avanzados. S.C.]. CIMAV.
<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2243/1/Tesis%20Karla%20Ruiz%20Culity.pdf>
- Sánchez. C. P. (2017). *Optimización del nivel de inventarios de pulpa de celulosa en el proceso productivo* [Tesis de pregrado. Universidad de Chile].
URI: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/148342>
- Sharma. S.. Kumar. R.. & Gupta. R. (2019). Alkaline treatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*. 282 (1). 201-210.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852419302612>
- Sharma. R.. Kumar. R.. & Goyal. M. (2019). Alkaline treatment of lignocellulosic biomass for cellulose extraction. *Journal of Natural Fibers*. 16(4). 1–12.
<https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1548096>
- Smith. P.. & Jones. A. (2020). Native plants and their role in ecosystem conservation. *Journal of Environmental Management*. 250. 109452.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147972030693X>
- Smook. G. A. (2016). *Handbook for pulp & paper technologists* (4th ed.). TAPPI Press.
- Villota. E. L.. Rosero. E. G.. Farias. E. A.. Valencia. X. G.. Carvajal. J. G.. & Benalcázar. S. M. (2025). *Propiedades tecnológicas de la madera de Juglans neotropica* Diels. en la provincia Carchi. Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 8(1). 1543-1572. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9549

World Commission on Environment and Development. (2019). *Our common future*. Oxford University Press.

<https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/oi/authority.20110803100501707>

Zhu. J. Y., Scott. C. T., & Kuang. Y. (2021). Emerging technologies for sustainable pulp production. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 9(1). 1-13.

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.0c07648>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo 1.

Matriz de consiste

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	Ho: NULA	VARIABLES Y DIMENSIONES
¿Cuál es el rendimiento de celulosa obtenida a partir de residuos de aliso y saucecillo en la provincia de Chota?	Determinar el rendimiento de celulosa obtenida a partir de residuos de aliso (<i>Alnus acuminata</i>) y saucecillo (<i>Podocarpus oleifolius</i>) en la provincia de Chota.	No existe diferencias significativas en el rendimiento de celulosa a cuatro concentraciones de NaOH (5. 10. 15 y 20%) obtenida a partir de residuos de aliso y saucecillo utilizando el tratamiento alcalino.	VI. Residuos vegetales - Fuente de recolección - Características físicas VD. Rendimiento - Cantidad - Calidad
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	Ha: ALTERNATIVA	
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo influye el método alcalino a cuatro concentraciones de NaOH (5. 10. 15 y 20%) en la obtención de celulosa a partir de los residuos de aliso y saucecillo? • ¿Cuáles son las propiedades físico-morfológicas que presenta la pulpa de celulosa obtenida del aliso y saucecillo? • ¿Qué diferencias existen en las propiedades físico-morfológicas entre la pulpa de celulosa obtenida del aliso. saucecillo y la celulosa estándar comercial? 	<ul style="list-style-type: none"> • Emplear el método alcalino a cuatro concentraciones de NaOH (5. 10. 15 y 20%) para la obtención de celulosa a partir de los residuos de aliso y saucecillo. • Determinar las propiedades físico-morfológicas de la pulpa de celulosa obtenida de los residuos de aliso y saucecillo. • Comparar las propiedades físico-mecánicas de pulpa de celulosa de aliso y saucecillo con celulosa comercial. 	Existe diferencias significativas en el rendimiento de celulosa a cuatro concentraciones de NaOH (5. 10. 15 y 20%) obtenida a partir de residuos de aliso y saucecillo utilizando el tratamiento alcalino.	

Anexo 2.

Especies predominante en la región Cajamarca

Nombre común	Familia	Uso predominante
Ajunjuli	<i>Ocotea sp.</i>	Maderable y construcción
Chicher	<i>Caliceraceas</i>	Maderable y construcción
Chuspa	<i>Lafoensia acuminata</i>	Maderable y construcción
Faique	<i>Acacia macrantha</i>	Maderable y construcción
Lanche	<i>Eugenia sp.</i>	Medicinal y alimentaria
Negrilo	<i>n.e.</i>	
Roble blanco	<i>Lauraceae</i>	Maderable y construcción
Roble cuno	<i>Lauraceae</i>	Maderable y construcción
Sauce	<i>Salix humboldtiana</i>	Construcción y ornamental
Saucecillo	<i>Podocarpus oleifolius</i>	Maderable y construcción
Faique-guarango	<i>Acacia macrantha</i>	Ornamental. leña
Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Construcción
Chirimoyo	<i>Annona cherimola</i>	Medicinal y alimentaria
Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Reforestación
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	Reforestación
Guaba	<i>Inga edulis</i>	Medicinal y alimentaria
Limos	<i>Rutácea</i>	Medicinal y alimentaria
Naranjillo	<i>Rutácea</i>	Medicinal y alimentaria
Níspero	<i>Melastomatácea</i>	Medicinal y alimentaria
Palto	<i>Laurácea</i>	Medicinal y alimentaria

Anexo 6

Panel fotográfico FIGURA 11

Figura 11. Recolección de muestra para conteo de anillos en aliso



Figura 12. Uso del barreno Pressler



Figura 13. *Recolección de 250 g. de muestra de aliso*



Figura 14. *Muestras de aliso y saucecillo*



Figura 15. *Acondicionamiento de muestras*



Figura 16. *Materiales e insumos del tratamiento con hidróxido de sodio*



Figura 17. *Muestras de aliso en hidróxido de sodio*



Figura 18. *Cocción a temperatura y agitación constante*



Figura 19. *Enfriamiento después del tratamiento alcalino*



Figura 20. *Muestras de saucillo obtenidas después del tratamiento con H₂O₂ al 15%*



Figura 21. *Desfibrado manual del aliso al 15%*



Figura 22. *Secado a 65°C del saucecillo al 5 % de H₂O₂*



Figura 23. Pesado de celulosa del aliso al 15 % de NaOH antes del blanqueado



Figura 24. *Materiales y reactivos para el tratamiento de blanqueo*



Figura 25. *secado de la pulpa blanqueado al 105°C*



Figura 26. *Obtención final de pulpa celulosa de aliso al 10 y 15 %*



Figura 27. *Obtención final de pulpa celulosa de saucecillo al 10% y 15%*

