

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

APROVECHAMIENTO DE FIBRA DE CELULOSA DE
RESIDUOS DE TALLOS DE FLORES PARA LA
ELABORACIÓN DE PAPEL EN TACNA

TESIS

Presentada por:

Bach. Fernanda Isabel Zapata Bobadilla

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

TESIS

**APROVECHAMIENTO DE FIBRA DE CELULOSA DE
RESIDUOS DE TALLOS DE FLORES PARA LA
ELABORACIÓN DE PAPEL EN TACNA**

SUSTENTADA Y APROBADA EL 24 DE MARZO DEL 2026, SIENDO EL
JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE:



Dr. Edgar Chaparro Aguilar

SECRETARIO:



Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

VOCAL:



Msc. Gelvi Peall-Maró Canales Manchuria

ASESOR:



Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **Dr. Efren Eugenio Chaparro Montoya**, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 9881-2025-FCAG de la tesis titulada: **"APROVECHAMIENTO DE FIBRA DE CELULOSA DE RESIDUOS DE TALLOS DE FLORES PARA LA ELABORACIÓN DE PAPEL EN TACNA"**, presentado por la Bach. **Fernanda Isabel Zapata Bobadilla** para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual Turnitin cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es del 7 %. Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual esta expedita para continuar con los trámites para la obtención del Título Profesional, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.

Dr. Efren Eugenio Chaparro Montoya
DNI: 00450486



Bach. Fernanda Isabel Zapata Bobadilla
DNI: 70482273



DEDICATORIA

Para mis padres, porque esto también es un logro de ellos. Representa parte de la dedicación y arduo trabajo realizado en todos estos años.

Para mi hermanita Vannia, porque quiero que sea una inspiración para ella y vea que puede conseguir todo lo que se proponga con esfuerzo y dedicación.

Para mí, que por fin logré terminar esta etapa. Tomó su tiempo y mucho aprendizaje en el camino. Disfrútalo y prepárate para el siguiente reto, Fer.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor, Dr. Efren Chaparro Montoya, por su apoyo y asesoramiento para la presentación de este informe.

Al Ing. Guillermo Salazar por toda su ayuda y apoyo, que fueron indispensables para la ejecución de esta investigación.

A la Ing. Keila Muñante, por su apoyo con los equipos y brindarme su paciencia al resolver mis dudas.

A todos los docentes de la ESAM que fueron parte de mi camino universitario, gracias por sus consejos y enseñanzas los cuales permitieron que llegara hasta este punto.

A mis padres, por todo su amor, apoyo y paciencia en este largo proceso de ejecución.

A mi hermanita Vannia, por su constante ayuda, curiosidad y entusiasmo al acompañarme durante las pruebas de mis experimentos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	Planteamiento del problema	4
1.2	Formulación y sistematización del problema	7
1.2.1	Problema general.....	7
1.2.2	Problemas específicos	7
1.3	Delimitación de la investigación	8
1.4	Justificación	8
1.4.1	Justificación social	8

1.4.2	Justificación económica	9
1.4.3	Justificación ambiental	10
1.5	Limitaciones	10

CAPÍTULO II: OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1	Objetivos	12
2.1.1	Objetivo general	12
2.1.2	Objetivos específicos	12
2.2	Hipótesis	12
2.2.1	Hipótesis general	12
2.2.2	Hipótesis específicas	13
2.3	Variables	13
2.3.1	Variables independientes	13
2.3.2	Variables dependientes	13
2.3.3	Operacionalización de variables	13

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1	Antecedentes	15
-----	--------------------	----

3.1.1	Nivel internacional.....	15
3.1.2	Nivel nacional.....	20
3.2	Bases teóricas	23
3.2.1	Fibras vegetales.....	23
3.2.1.1	Composición de fibras vegetales	24
3.2.1.2	Fuentes de obtención de fibra de celulosa.....	25
3.2.1.3	Procesos de obtención de fibra de celulosa.....	27
3.2.1.4	Caracterización de fibras de celulosa	31
3.2.2	Elaboración de papel	32
3.2.2.1	Composición del papel.....	33
3.2.2.2	Tipos de papel	34
3.2.2.3	Propiedades del papel	36
3.3	Definición de términos.....	38
3.3.1	Aprovechamiento	38
3.3.2	Fibra de celulosa.....	38
3.3.3	Residuos de tallos de flores	39
3.3.4	Elaboración	39
3.3.5	Papel	39

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1	Tipo de investigación	40
4.1.1	Tipo de investigación	40
4.1.2	Nivel de investigación	40
4.1.3	Diseño de investigación	40
4.2	Población y Muestra	42
4.2.1	Población	42
4.2.2	Muestra	42
4.3	Técnicas aplicadas en la recolección de la información	43
4.4.1	Procedimiento para la obtención de fibra de celulosa.....	46
4.4.2	Determinación de humedad	51
4.4.3	Determinación del número Kappa.....	52
4.4.4	Procedimiento para la elaboración de papel con fibra de celulosa y papel bond reciclado	54
4.4.5	Determinación del gramaje	57
4.4.6	Determinación del espesor	58
4.4.7	Determinar la resistencia a la tensión	58
4.4	Materiales, equipos y reactivos.....	59

4.5.1	Materiales	59
4.5.2	Equipos	60
4.5.3	Reactivos	60
4.5	Análisis estadísticos	61

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	Resultados	62
5.2.1	Determinación del efecto de la concentración de NaOH y tiempo de cocción en la obtención de fibra de celulosa a partir de residuos de tallos de flores	62
5.1.1.1	Humedad	62
5.1.1.2	Número Kappa.....	64
5.2.2	Evaluación del efecto de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores sobre las propiedades físicas y mecánicas del papel elaborado.....	69
5.1.2.1	Gramaje	69
5.1.2.2	Espesor	71
5.1.2.3	Resistencia a la tensión	73
5.2	Discusión de los resultados	76

5.2.1	Discusión de la determinación del efecto de la concentración de NaOH y tiempo de cocción en la obtención de fibra de celulosa a partir de residuos de tallos de flores	76
5.2.2	Discusión de la evaluación del efecto de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores sobre las propiedades físicas y mecánicas del papel elaborado.....	78
CONCLUSIONES		81
RECOMENDACIONES.....		83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		84
ANEXOS.....		95

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables	14
Tabla 2. Diseño experimental del objetivo específico 01	41
Tabla 3. Diseño experimental del objetivo específico 02	41
Tabla 4. Análisis de varianza del contenido de humedad	63
Tabla 5. Análisis de varianza del número Kappa	65
Tabla 6. Análisis de varianza del gramaje	70
Tabla 7. Análisis de varianza del espesor.....	72
Tabla 8. Análisis de varianza de la resistencia a la tensión	74

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Establecimientos comerciales ubicados en el frontis del Cementerio General de Tacna.....	42
Figura 2. Flujograma de trabajo del objetivo específico 01	43
Figura 3. Flujograma de trabajo del objetivo específico 02	45
Figura 4. Limpieza de residuos de flores	47
Figura 5. Condicionamiento de los residuos de tallos de flores	48
Figura 6. Cocción alcalina de residuos de tallos de flores	49
Figura 7. Filtrado y lavado de fibra de celulosa obtenida.....	50
Figura 8. Secado de fibra de celulosa obtenida.....	51
Figura 9. Condicionamiento del papel bond reciclado	55
Figura 10. Elaboración de hojas de fibra de celulosa	56
Figura 11. Resultados de hojas de fibra de celulosa	57
Figura 12. Valores promedio del contenido de humedad por tratamiento.....	64
Figura 13. Prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$) para la concentración de NaOH en el número Kappa	66
Figura 14. Prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$) para el tiempo de cocción en el número Kappa.....	67

Figura 15.	Prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$) para la interacción AB en el número Kappa	68
Figura 16.	Prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$) para los tratamientos con respecto al gramaje	70
Figura 17.	Prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$) para los tratamientos con respecto al espesor	72
Figura 18.	Prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$) para los tratamientos con respecto a la resistencia a la tensión.....	74

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue aprovechar la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores para la elaboración de papel. Para ello se aplicó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 3x2 con factores de concentración de NaOH y tiempo de cocción para evaluar el proceso de deslignificación de los residuos; y con el resultado de mejor desempeño se realizó la elaboración de hojas de papel con sustituciones del 25 %, 50 %, 75 % y 100 % en fibra de celulosa, completándolos con papel bond reciclado. Los resultados mostraron contenidos de humedad y número Kappa adecuados después del proceso de deslignificación, en el cual se determinó que la fibra obtenida del proceso de cocción al 20 % de NaOH durante 120 min obtuvo el mejor desempeño. Asimismo, la incorporación de fibra de celulosa evidenció resultados de gramaje, espesor y resistencia a la tensión comparables con estudios realizados con otros tipos de residuos.

Palabras clave: Aprovechamiento, fibra de celulosa, residuos, tallos de flores, papel

ABSTRACT

The principal objective of this research was to utilize cellulose fiber from flower stem waste for paper production. To this end, a completely randomized design with a 3x2 factorial arrangement was applied, with factors of NaOH concentration and cooking time to evaluate the delignification process of the waste; and with the best performance results, paper sheets were produced with 25%, 50%, 75%, and 100% substitutions in cellulose fiber, completing them with recycled bond paper. The results showed adequate moisture content and Kappa number after the delignification process, in which it was determined that the fiber obtained from the cooking process at 20% NaOH for 120 min performed best. Likewise, the incorporation of cellulose fiber evidenced results in basis weight, thickness, and tensile strength comparable to studies conducted with other types of waste.

Keywords: Utilization, cellulose fiber, waste, flower stems, paper

INTRODUCCIÓN

El papel es uno de los materiales más importantes en las actividades cotidianas, debido a su amplio uso en la escritura e impresión. No obstante, el consumo mundial de este recurso excede los cientos de millones de toneladas anuales, lo que ha llevado a la industria papelera a un uso indiscriminado de los recursos forestales. Esta demanda ha impulsado el reemplazo de especies autóctonas por millones de hectáreas de plantaciones de mayor rendimiento (Ordoñez & Sepúlveda, 2020), provocando la progresiva desaparición de bosques nativos y graves impactos sobre los ecosistemas, tales como la pérdida de biodiversidad (Escalante et al., 2020).

Ante este escenario, el uso de fibras vegetales no maderables que contienen celulosa surge como una alternativa para minimizar el impacto que genera la industria papelera (Andy, 2020). Entre estas opciones destacan los residuos orgánicos provenientes de diversas actividades económicas que cuentan con un gran potencial como materia prima. Sin embargo, el país enfrenta deficiencias críticas en el manejo de residuos sólidos, desde las etapas de limpieza y recolección (Pinedo, 2020), hasta un escaso aprovechamiento y una inadecuada disposición final. Esto último

conlleva a que los desechos sean incinerados sin control o arrojados en botaderos a cielo abierto (López & Purihuamán, 2018). En Tacna, esta problemática se refleja en los residuos generados a nivel municipal (domiciliarios, mercados, limpieza pública y áreas verdes), los cuales cuentan con un tratamiento limitado; la mayor parte no se gestiona adecuadamente y se dispone finalmente en el botadero municipal Alto Intiorko (Torres, 2019).

Por lo tanto, es necesario plantear soluciones que mejoren la gestión de los residuos urbanos considerando su potencial de aprovechamiento. Este es el caso de los residuos con alto contenido de celulosa, que pueden emplearse en la fabricación de papel para reducir la presión sobre los recursos forestales. Bajo esta premisa, la presente investigación establece como objetivo principal el aprovechamiento de la fibra de celulosa obtenida de residuos de tallos de flores para la elaboración de papel.

La investigación se encuentra dividida en cinco capítulos: el capítulo I comprende el planteamiento y formulación del problema, justificación y limitaciones. El capítulo II presenta los objetivos, hipótesis y variables del estudio. El capítulo III contiene los antecedentes, bases teóricas y definiciones. El capítulo IV describe la metodología empleada en la

investigación, desde el diseño experimental, muestra y procedimientos desarrollados para el análisis de los datos. Y el capítulo V presenta los resultados obtenidos y discusión de los mismos. Finalizando con las conclusiones de la investigación, recomendaciones, referencias citadas y los anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La demanda y fabricación de productos de papel sigue experimentando un crecimiento considerable en diversos sectores, alcanzando un consumo aparente en todo el mundo de 415 millones de toneladas en el año 2021, repartidos en papel Kraft y otros tipos para su uso en cajas y empaques (44 %), papeles especiales o multicapas (23 %), papel bond para impresión y escritura (19 %), papel tissue (11 %) y papel para periódico (3 %) (Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana [CANIEM], 2022). Esta situación ha derivado en un incremento de la demanda de materia prima, la cual, en nuestra actualidad conlleva a una mayor presión sobre el uso de recursos forestales por la excesiva dependencia de la madera para la obtención de material celulósico con la que se elabora todos los productos de papel (Chura & Sánchez, 2020).

Todo esto ha generado que exista una mayor incidencia en la tala de árboles logrando que, para el año 2019, cerca del 60 % de la madera recolectada en el mundo se destinara a la producción de papel, dando lugar a la prevalencia de la deforestación de bosques y la pérdida de

biodiversidad por la conversión de hábitats naturales a monocultivos para plantaciones forestales (Satian & Urriago, 2024). Además de diferentes niveles de contaminación a componentes ambientales como el aire y el agua que origina la propia industria papelera durante sus procesos productivos (Márquez, 2025).

En este contexto, surge la necesidad de encontrar nuevas fuentes de materias primas para la obtención de celulosa con características similares a la madera. Se conoce que a nivel mundial se utiliza paja de arroz y trigo, bagazo de caña de azúcar, cáñamo y algodón para la fabricación de papel como fuentes no madereras (Greenpeace, 2004); sin embargo, es necesario seguir explorando otras alternativas innovadoras para la sustitución de la madera.

Por otro lado, la problemática de la deficiente gestión y manejo de residuos sólidos en el país es preocupante. Cerca de 8 millones de toneladas de residuos sólidos municipales son generados cada año (Chacaltana, 2023), de los cuales alrededor del 60 % son dispuestos en rellenos sanitarios y el resto termina en botaderos a cielo abierto con ningún tipo de tratamiento (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico [CEPLAN], 2024). La inadecuada disposición y acumulación de residuos

sólidos representa un riesgo significativo sobre la salud de la población: de forma directa, al ser focos de proliferación para vectores infecciosos como insectos y roedores; e indirecta, por el impacto negativo sobre el ambiente al provocar la degradación de los suelos y contaminación de acuíferos a través de la liberación de lixiviados tóxicos, así como emisión de gases de efecto invernadero (Carrillo, 2024). En la actualidad, se viene trabajando para mejorar los sistemas de manejo de residuos sólidos, por ello se ejecutan proyectos que buscan nuevas opciones para dar un mejor aprovechamiento de los residuos sólidos, generando métodos y tratamientos innovadores.

Es aquí que, ante estas dos problemáticas ambientales, se presentan a los residuos sólidos orgánicos producidos de diferentes actividades y sectores como una alternativa para reducir significativamente la presión sobre la madera en la industria papelera, ya que todo tipo de partes vegetativas tienen potencial para extraer celulosa, y generar una nueva cadena de valor sobre los residuos como insumo base para un sector posibilitando su reinserción al mercado. Existen estudios que refuerzan la viabilidad de diversos residuos sólidos orgánicos para la elaboración de papel, principalmente agroindustriales (Cabascango et al., 2021; Espinoza & León, 2017; Moreno & García, 2018); sin embargo, un sector poco

estudiado es la industria de la floricultura, que genera residuos específicos como los tallos de flores que presentan elevados porcentajes de celulosa (González et al., 2016) y que no son empleados para producción de abonos ni forrajes, por lo cual comúnmente son desechados.

Es por ello que, el aprovechamiento de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores para la elaboración de papel se estableció como objetivo de la presente investigación.

1.2 Formulación y sistematización del problema

1.2.1 Problema general

- ¿La fibra de celulosa de residuos de tallos de flores puede ser aprovechada para la elaboración de papel en Tacna?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto de la concentración de NaOH y tiempo de cocción en la obtención de fibra de celulosa a partir de residuos de tallos de flores?

- ¿Cuál es el efecto de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores sobre las propiedades físicas y mecánicas del papel elaborado?

1.3 Delimitación de la investigación

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, en la ciudad de Tacna

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación social

Actualmente, la fracción de residuos sólidos valorizados en la ciudad es reducida, lo que provoca que la mayor parte de estos terminen en el botadero municipal ubicado en el cerro Intiorko. Esta situación representa un riesgo sanitario para la población que habita los alrededores de la zona por la presencia de vectores infecciosos potenciales de transmitir enfermedades, además de la generación de malos olores y gases contaminantes. Una forma de mejorar la gestión de los residuos sólidos es buscar alternativas innovadoras para su uso como materia prima en otros

productos comerciales y permitir así su reinserción en el mercado. Bajo este enfoque, la presente investigación plantea el aprovechamiento de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores para la elaboración de papel como alternativa potencial para la reducción de la cantidad de residuos sólidos orgánicos que sean dispuestos en el botadero Alto Intiorko y así contribuir a una mejora en la calidad de vida de la población aledaña al disminuir el riesgo de exposición a agentes patógenos.

1.4.2 Justificación económica

En el marco de la promoción de la economía circular, crear una cadena de valor nueva mediante el uso de residuos sólidos representa una importante oportunidad económica para la población como modelo de negocio innovador en un mercado creciente en tecnologías limpias, abriendo las puertas a la generación de más puestos de trabajo y diversificación de fuentes de ingresos. Bajo este enfoque, la presente investigación propone el aprovechamiento de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores como materia prima para la elaboración de papel, que puede ser tomada como opción de emprendimiento e impulsar el desarrollo sostenible de la región.

1.4.3 Justificación ambiental

La presente investigación exploró una alternativa de materia prima para la elaboración de papel como sustituto de la madera y así minimizar la presión sobre el uso de recursos forestales que provoca la tala indiscriminada de bosques, cambios de uso de suelos y pérdida de la biodiversidad. Asimismo, propone valorizar los residuos de tallos de flores generados en la ciudad para reducir la cantidad de residuos sólidos que son dispuestos en el botadero municipal Alto Intiorko y los impactos asociados a la inadecuada disposición final en esta zona.

1.5 Limitaciones

La ejecución del presente estudio transcurrió sin presentar limitaciones operativas, logrando satisfactoriamente el cumplimiento de los objetivos planteados. Sin embargo, debe destacarse que, durante la fase de proyecto, se identificó una escasez significativa en investigaciones previas que registraran información sobre las características químicas de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores o su uso como materia prima para la elaboración de papel. Esta condición demandó un esfuerzo añadido en el establecimiento de la metodología para la obtención de la fibra de celulosa dado que no se dispone de un protocolo específico para

este tipo de residuo. Es así que, se llevó a cabo una adaptación de procedimientos empleados en otros tipos de residuos lignocelulósicos, buscando asegurar la viabilidad del proceso y la calidad del producto final que se requería de acuerdo a las necesidades de la investigación. Por consiguiente, el estudio no solo superó la limitación identificada, sino que estableció un precedente metodológico y empírico fundamental para futuras investigaciones.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

- Aprovechar la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores para la elaboración de papel en Tacna.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la concentración de NaOH y tiempo de cocción en la obtención de fibra de celulosa a partir de residuos de tallos de flores.
- Evaluar el efecto de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores sobre las propiedades físicas y mecánicas del papel elaborado.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

- El aprovechamiento de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores permite la elaboración de papel en Tacna.

2.2.2 Hipótesis específicas

- La concentración de NaOH y tiempo de cocción tienen efecto en la obtención de fibra de celulosa a partir de residuos de tallos de flores.
- La fibra de celulosa de residuos de tallos de flores tiene efecto sobre las propiedades físicas y mecánicas del papel elaborado.

2.3 Variables

2.3.1 Variables independientes

- Fibra de celulosa de residuos de tallos de flores

2.3.2 Variables dependientes

- Elaboración de papel

2.3.3 Operacionalización de variables

En la Tabla 1 se presenta la operacionalización de las variables que intervinieron en la investigación.

Tabla 1*Operacionalización de variables*

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Variable independiente	Características físico químicas de la fibra de celulosa	Número Kappa	-
Fibra de celulosa de residuos de tallos de flores		Humedad	%
Variable dependiente	Propiedades físicas del papel elaborado	Gramaje	g/m ²
		Espesor	mm
Elaboración de papel	Propiedades mecánicas del papel elaborado	Resistencia a la tensión	kN/m

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Nivel internacional

Zambrano et al. (2025) en su investigación titulada “Obtención de celulosa de residuos agrícolas de tres variedades de plátano (*Musa acuminata Red dacca*, *Musa acuminata* y *Musa paradisiaca*) para fines agroindustriales”, extrajeron celulosa de hojas, tallos y raquis de tres variedades de plátano empleando una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 0,5 M para una cocción en baño María a 95 – 98 °C por 30 min. Con ello se formaron láminas de papel utilizando un bastidor rectangular y una prensa manual para extraer el sobrante de agua. En sus resultados, las láminas de papel presentaron contenidos de humedad entre el 4,89 y 9,86 %, y espesores entre 1,69 y 3,60 mm, concluyendo que los residuos de plátano cuentan con un potencial para la producción de papel artesanal.

Cevallos (2024) en su investigación titulada “Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del papel Kraft obtenido a partir de la biomasa lignocelulósica de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*) tras

someterse a un proceso de blanqueo con peróxido de hidrógeno”, elaboró papel Kraft con cuatro concentraciones de blanqueador (peróxido de hidrógeno). En los tratamientos se evaluaron propiedades físicas como el índice de blancura y espesor, y propiedades mecánicas como la resistencia a la tensión. De acuerdo con los resultados, el espesor reportó valores entre 0,105 y 0,195 mm, manteniéndose dentro del rango deseado; mientras que la resistencia a la tensión se mantuvo entre 10,71 y 67,86 N/m, lo que muestra que ningún tratamiento estuvo acorde a la norma y considerándolos demasiado susceptible a la fractura. Concluyó que el papel tuvo baja resistencia a la tensión, lo que imposibilita su aplicación para papel bond común.

Moreno & Ramos (2024) en su investigación titulada “Evaluación de la metodología Kurschner y Hoffner en la producción de papel Kraft a partir de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*) utilizando aditivos derivados del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*) y jacaranda (*Jacaranda copaia*)”, elaboraron papel Kraft a diferentes dosis de cada aditivo para evaluar su influencia en el espesor y la resistencia a la tensión del producto obtenido. El estudio concluyó que el papel Kraft obtenido de los dos tipos de aditivo presenta valores entre 0,06 y 1,56 mm de espesor, y de 0,01 kN/m a 0,04 kN/m para la resistencia a la tensión. Ningún tratamiento logró

estar dentro del rango establecido por la norma para su uso a nivel industrial debido a su baja resistencia a la tensión.

Taco et al. (2023) en su investigación titulada “Aprovechamiento del endocarpio del plátano verde (*Musa Paradisiaca*) para la obtención de papel ecológico”, aplicaron un diseño experimental para producir papel a diferentes dosis de celulosa de plátano verde y papel reciclado, realizando un proceso de cocción con NaOH a una temperatura de 90 °C por 60 min. Entre los resultados, el contenido de humedad estuvo entre 7,46 y 14,68 %, el gramaje entre 37,80 y 66,09 g/m², y el espesor entre 0,10 y 0,33 mm. Concluyeron que el endocarpio de plátano verde no es apto para producir papel de acuerdo a la calidad exigida en las normas internacionales; sin embargo, se asemeja a las características de un papel Kraft forro de acuerdo con la Norma INEN 1428.

García et al. (2021) en su investigación titulada “Estudio de especies no leñosas de la provincia de Loja (Ecuador) como potenciales materias primas para la fabricación de papel artesanal”, estudiaron 15 especies no leñosas de fácil cultivo en Ecuador, con las cuales se elaboró papel artesanal utilizando una cocción con NaOH para la extracción de pulpa. En sus resultados, el análisis de humedad del papel obtuvo valores entre el 7

y el 11 %; el número Kappa, entre 12 y 18; el gramaje, entre 61,0 y 146,0 g/m², y el espesor, entre 0,29 y 0,57 mm. Se concluyó que cuentan con propiedades aceptables para la fabricación de papel.

Linares-Castañeda et al. (2021) en su investigación titulada “Elaboración de un envase primario para alimentos a partir de residuos de maíz y piñón mexicano”, fabricaron envases de papel a partir de celulosa de residuos de hojas y tallos de maíz con cáscara de piñón mexicano para probar su funcionalidad en la preservación de la calidad del chile serrano. El procedimiento consistió en una cocción con NaOH al 3 % a una temperatura de 80 °C por 1 hora con agitación constante; posteriormente, la mezcla fue distribuida sobre una malla de nylon para la formación de las hojas de papel. Entre los resultados, se obtuvo un contenido de humedad entre el 1,50 y el 7,86 %; un gramaje de 46,7 a 287,1 g/m², y un espesor entre 0,06 y 1 mm. Concluyeron que estas propiedades dependen de la composición fibrosa de la materia prima, así como de la refinación y compresión durante la fabricación del papel.

Trespalacios & Lara (2021) en su investigación titulada “Control del buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) a partir de la fabricación de papel ecológico”, elaboraron papel ecológico empleando el buchón de agua o

jacinto de agua que crece en el lago I de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. A través de un procedimiento completamente artesanal, se realizó la extracción y secado de la materia prima, pasando por un triturado y cocción a 100 °C por 45 min. Posteriormente, la pasta se vertió en un molde con una prensa manual, esparciéndola uniformemente, y se sometió a un secado a la sombra por 72 horas. Entre los resultados, se señala que el papel obtenido presentó un contenido de humedad entre el 9,70 y el 9,88 %; un gramaje entre 101,5 y 243,9 g/m², y un espesor entre 0,24 y 0,48 mm, lo que permitió determinar que el producto cuenta con una buena calidad.

Andy (2020) en su investigación titulada “Elaboración de papel artesanal a base de los residuos vegetales de los tallos de maíz (*Zea mays* L) y cáscaras de plátano (*Musa Paradisiaca*) utilizando los métodos químicos de Jayme-Wise, Kurschner y Hoffner”, evaluó las propiedades físicas y mecánicas del papel obtenido a partir de ambos métodos e insumos. Entre los resultados, obtuvo un contenido de humedad entre el 5,71 y el 6,42 % en los papeles de ambos materiales; un gramaje entre 45,82 y 53,40 g/m²; un espesor promedio de 0,06 mm, sin diferencias estadísticas entre los tratamientos, y una resistencia a la tensión se mantuvo dentro del rango de 119,21 a 129,38 kN/m. Concluyó que el papel

elaborado con el método Jayme-Wise utilizando los tallos de maíz presenta buenas propiedades físicas y mecánicas.

3.1.2 Nivel nacional

Figueroa & Japay (2023) en su investigación titulada “Elaboración de papel ecológico a base de residuos orgánicos de *Passiflora edulis* y *Persea americana* provenientes de una agroindustria en Chilca”, elaboraron papel con dosificaciones al 25, 50 y 75 % entre los insumos para evaluar las características físicas y mecánicas del producto obtenido. Los resultados indicaron que, en cuanto a las propiedades físicas, se obtuvieron valores de gramaje entre 234,77 y 726,22 g/m² y de espesor entre 0,458 y 0,693 mm en los diferentes tratamientos. Concluyeron que las propiedades del papel elaborado a partir de residuos de cáscaras de maracuyá y de palta se asemejan a las de un papel tipo cartoncillo.

Cieza (2020) en su investigación titulada “Utilización de la corona de piña (*Ananas comosus*) para la elaboración de papel ecológico artesanal, Chiclayo”, extrajo pulpa de la corona de piña por medio de un proceso de cocción con NaOH (15 g/L) a 90 °C por 40 min. Para la elaboración de papel se considerando tratamientos con y sin blanqueo y se evaluaron sus características. Entre los resultados, el papel ecológico artesanal presentó

contenidos de humedad entre el 8,04 y el 9,18 %; un gramaje de 75,47 y 86,18 g/m², y valores de espesor entre 0,114 y 0,116 mm, con un rendimiento de 29 hojas de papel tamaño A4 por cada 5 kg de materia prima.

Jesús (2020) en su investigación titulada “Obtención y evaluación de la pulpa para papel del endocarpio del fruto de *Mauritia flexuosa* (aguaje)”, tuvo como objetivo obtener pulpa a cuatro concentraciones de NaOH y evaluar las propiedades físicas, químicas y ópticas del papel elaborado para determinar su calidad. Entre los resultados, el gramaje registró valores entre 51,19 y 78,93 g/m² y de espesor entre 0,21 y 0,51 mm; además, se observó que, a medida que aumentaba la dosis de NaOH aplicada, el espesor de la muestra disminuía. Más del 50 % de los tratamientos presentaron las características de una cartulina según la NTP 272.128.

Condor (2018) en su investigación titulada “Uso del raquis del plátano de Aucayacu para la elaboración del papel ecológico en el laboratorio”, tuvo como objetivo establecer la dosis óptima de NaOH para la elaboración de papel ecológico, trabajando con dosificaciones al 10, 15 y 20 % de NaOH de acuerdo con la evaluación de las propiedades del papel. Los resultados indicaron un rango de número Kappa entre 87,1 y

100,9; mientras que, con respecto a las propiedades físicas, el gramaje registró valores entre 56,1 y 64,5 g/m² y el espesor entre 0,140 y 0,155 mm en los diferentes tratamientos. Concluyó que el uso de raquis de plátano es eficiente para la elaboración de papel ecológico con la dosis óptima al 20 % de NaOH, lo que permite tener hojas más claras con textura liso–rugosa.

Huapaya (2018) en su investigación titulada “Producción de cartón artesanal mediante el ecoproceso de moldeado con los residuos de seudotallo y hojas de plátano – Cañete”, tuvo como objetivo principal elaborar cartón artesanal aplicando tres tratamientos con dosificaciones de 50/50, 10/90 y 90/10 % (hojas/pseudotallo), a los cuales se les evaluaron las características físicas. De acuerdo con los resultados obtenidos, se registró un contenido de humedad entre el 9,16 y el 10,56 %; mientras que, en cuanto al gramaje, se reportaron valores de 755 a 1664 g/m² y un espesor de 2,58 a 3,99 mm en los diferentes tratamientos. Los valores se ubicaron dentro de lo establecido por NTP 272.128:2010, y se concluyó que es posible producir cartón a partir de los residuos empleados.

Ríos (2017) en su investigación titulada “Producción de papel artesanal a partir de residuos de cáscaras de naranja de las juguerías del Mercado Tahuantinsuyo – Independencia” realizó la extracción de celulosa

del mesocarpio de las cáscaras de naranjas para la producción de papel artesanal por el proceso a la sosa considerando una cocción alcalina con 15 g/L de NaOH a 90 °C por 2 horas. Entre los resultados, obtuvo un máximo de 17 hojas de papel tamaño A4, resultando en un rendimiento de producción de 3.2 hojas/kg. En cuanto al gramaje reportó valores entre 80.17 – 176.37 g/m², entrando en la clasificación de cartulina según la NTP 272.128:2010.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Fibras vegetales

Corresponden a los elementos estructurales que dan soporte a las plantas y constan principalmente de fibrillas de celulosa, lignina, hemicelulosa, y demás compuestos orgánicos. Estos son los que proporcionan propiedades de rigidez, resistencia a la tracción y a la flexión a los organismos vegetales, por ello son ampliamente utilizados en las industrias papeleras, textiles y alimentarias (Deaquiz & Moreno, 2016).

3.2.1.1 Composición de fibras vegetales

a. Celulosa

Es un polímero compuesto exclusivamente por la unión de moléculas de β -glucosa mediante enlaces β -1,4-O-glucosídico. Presenta una estructura lineal capaz de establecer múltiples enlaces de hidrógeno entre grupos hidroxilo de diferentes cadenas, posibilitando sus características fibrillas compactas, rígidas e insoluble al agua. Es el compuesto principal de las fibras vegetales, encontrándose en las paredes celulares junto a otros compuestos orgánicos. El avance de la tecnología ha permitido aislarla empleando diversos procesos físicos, mecánicos y químicos siendo aplicada por sectores industriales como la papelería, textil, alimentario y farmacéutico (Guerrero, 2021).

b. Lignina

Es un hetero polímero complejo que compone la pared celular de las plantas junto a la celulosa y hemicelulosa, encargada de regular la permeabilidad de los tejidos conductores, aglomerar las microfibrillas de celulosa y brindar resistencia mecánica a las paredes de la célula. Estructuralmente se diferencia de la celulosa por estar conformado por diversos monómeros, distinguiendo tres principales fenilpropanoides

(monolignoles): 1) alcohol p-cumarílico (p-hidroxifenilo), 2) coniferílico (guayacilo) y 3) sinapílico (siringilo) (Maceda et al., 2021).

Para la elaboración de papel, es importante separar la mayor porción de celulosa de la lignina, puesto que grandes cantidades de este compuesto hace que el producto resulte rígido y susceptible a roturas ya que no posee características de elasticidad, además que con el pasar el tiempo su coloración se torna más oscura y amarillenta reduciendo la calidad del papel en el mercado (Satian & Urriago, 2024).

3.2.1.2 Fuentes de obtención de fibra de celulosa

En la industria del papel, la materia prima de la que se extrae fibra de celulosa puede clasificarse en dos grandes grupos según su origen botánico y estructural:

a. Fuentes madereras

La fuente más común de celulosa es la madera de árboles. Estas se distinguen entre madera blandas, provenientes de árboles de hoja perenne; y maderas duras, de árboles de hoja caduca. La fibra de celulosa de maderas blandas aporta resistencia mecánica al papel por tener fibras

largas (3 a 5 mm), y son extraídas principalmente del pino. En el caso de las maderas duras, brindan suavidad y opacidad al tener fibras cortas (aprox. 1 mm), y comúnmente se extraen del eucalipto y el abedul (De Souza & Morante, 2020).

b. Fuentes no madereras

Comprende una amplia variedad de plantas y subproductos agrícolas con potencial celulósico. Usualmente presentan una estructura menos densa y más porosa que la madera y, en la mayoría de casos, un menor contenido de lignina. Esto permite que la obtención de la fibra requiera menos químicos y energía en comparación con la madera. Entre ellos se destacan las fibras provenientes de gramíneas (como la paja de cereales, la paja de arroz o el bambú), las fibras de caña (bagazo de caña de azúcar) y las fibras extraídas de hojas o tallos (como el lino, el cáñamo o el algodón) (Dhia, 2021).

Dentro de la variedad de esta categoría, se ha despertado el interés en valorizar diferentes tipos de residuos para obtener fibras celulósicas con bajo impacto ambiental, destacando los residuos de la industria floral.

- **Residuos de flores:** Dichos residuos orgánicos son generados comúnmente por la actividad florícola en mercados, actividades culturales, cementerios, entre otros. Están conformados por residuos vegetales de hojas, tallos y botón de la flor cuya disposición final es destinada a botaderos o dirigido al compostaje para su reaprovechamiento (Velasquez, 2019).

En el caso de los tallos, estos pueden variar en función a la especie que se analice, sin embargo, en reglas generales, presentan un contenido de celulosa superior al 40 %, considerándose una materia potencial para la producción de papel, a diferencia de los pétalos que presentan contenidos de celulosa alrededor del 20 %. En cuanto a su contenido de lignina, algunas variedades obtuvieron un contenido superior al 30 %, que podría reducir la capacidad de adhesión de la fibra y se requiere mayor esfuerzo para su eliminación (González et al., 2016; González & Valencia, 2015).

3.2.1.3 Procesos de obtención de fibra de celulosa

Las técnicas desarrolladas para la extracción buscan retirar la lignina mientras se conserva intacta la celulosa y hemicelulosa. Estas se pueden dividir en dos procesos: mecánico y químico.

a. Proceso mecánico

Es un método que requiere de un elevado consumo de energía. Consiste en triturar la madera serrándola en segmentos pequeños o astillándola con métodos de refinado mecánico, para luego someterla a altas temperaturas y presiones, logrando la separación de la celulosa y la lignina. En la producción mecánica de pulpa, los integrantes químicos originales del material fibroso quedan inalterados, excepto por la eliminación de los solubles en agua, por lo cual este proceso no posibilita la extracción completa de lignina que comprenden las fibras, dejando remanente que se mantienen durante la elaboración de papel (Santos, 2024).

Aunque el proceso es eficaz, el papel obtenido a partir del tratamiento mecánico de la fibra para obtención de pulpa, tiende a ser débil, y a decolorarse fácilmente cuando se expone a la luz, ello se debe a la presencia de residuos de lignina (Quihue, 2014).

b. Proceso químico

Están basados en tratamientos puramente químicos, adicionando al material vegetal reactivos químicos cuyo objetivo es la remoción selectiva de

la lignina que une las fibras, con ataque mínimo a las hemicelulosas y celulosas. Normalmente son llevados a una cocción química a altas temperatura. Estos son los de mayor utilización en la industria papelera por su costo debido a la menor necesidad de maquinaria. Como describe Santos (2024), entre los principales métodos para la producción de pulpa se destacan: el proceso al sulfato, al sulfito, y a la sosa:

- **Proceso Kraft o al sulfato:** Fue descubierta por el sueco Carl Dahl, en 1884, y su nombre deriva una palabra alemana y sueca que significa “fuerza”. Esta técnica es usada para todo tipo de maderas, con mejores resultados en maderas duras por la liberación de mayor cantidad de lignina. Consiste en una cocción alcalina empleando una solución de sulfuro de sodio (Na_2S) e hidróxido de sodio (NaOH) usando recipientes a grandes presiones que posibilitan la disolución de la lignina sin que aumente la degradación de la celulosa. Es importante resaltar que el licor negro separado del proceso posterior a la cocción es concentrado por evaporación y utilizado para generar vapor de alta presión por medio de calderas de recuperación, de esa forma poder utilizar la energía para necesidades de vapor de la planta o generación de electricidad.

- **Proceso al sulfito:** El proceso al sulfito data del año 1870 por B. C. Tilman, que descubrió que era posible producir pulpa de aspecto brillantes si la madera se sometía a altas temperaturas y presiones con ácido sulfuroso (H_2SO_3) y bisulfito cálcico ($\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$), aunque también admite otro tipo de bases. La pulpa de celulosa obtenida de este proceso era más liviana y sencilla de blanquear, sin embargo, su resistencia es considerablemente menor en comparación con la pulpa al sulfato. Era ampliamente utilizado hasta que fue reemplazado por el proceso Kraft debido a la calidad de la pulpa obtenida y los costos de fabricación y blanqueo.
- **Proceso a la sosa:** Es el proceso más antiguo usado industrialmente, consiste en tratar las astillas de madera en una disolución de sosa caustica (NaOH) durante un periodo dependiendo del tipo de madera y la temperatura de cocción, de esta manera se logra ablandar la pulpa y disolver la lignina. El costo del proceso es bajo considerando su consumo energético y se logra obtener papel con características similares a métodos mecánicos. Este método se encuentra casi en desuso debido a las mejores propiedades que se obtienen en otros métodos químicos.

3.2.1.4 Caracterización de fibras de celulosa

La evaluación de los parámetros morfológicos, físicos y químicos de la fibra es fundamental para identificar su potencial en la elaboración de productos papeleros, asegurando la calidad del material final.

a. Humedad

La celulosa es un material intrínsecamente higroscópico, lo que la sitúa en un permanente intercambio de humedad con el entorno hasta alcanzar un equilibrio higrométrico. Este fenómeno provoca cambios dimensionales en la fibra, lo cual altera directamente sus propiedades mecánicas de tracción, flexibilidad y compresión. Es necesario el control de este parámetro dado que altos porcentajes de humedad producen un efecto plastificante en la fibra, volviéndola más blanda y propensa a la deformación. A nivel molecular, el agua interrumpe la formación de puentes de hidrógeno entre las microfibrillas, reduciendo la rigidez y la resistencia a la ruptura (Turrado et al., 2008).

b. Número Kappa

Es un parámetro aplicado en la industria papelera que describe el grado de deslignificación de una pulpa de celulosa a partir del volumen

consumido de una solución 0,1 N de permanganato de potasio (KMnO_4) por cada gramo de pulpa seca bajo condiciones estandarizadas. Este parámetro es ampliamente utilizado como indicador de calidad ya que permite obtener una medida indirecta de la lignina residual en las fibras tras el proceso de extracción (Quihue, 2014). Un valor de número kappa reducido indica que la fibra presenta un mayor grado de pureza, sugiriendo que el tratamiento aplicado logró degradar la lignina de manera efectiva. No obstante, un valor excesivamente bajo podría advertir sobre una degradación colateral de las cadenas de celulosa, afectando el rendimiento final y las propiedades mecánicas de la fibra.

3.2.2 Elaboración de papel

El papel es uno de los materiales más utilizados para escritura. No se sabe con certeza quien lo inventó, pero a partir del siglo II A.C., en China, empezaron a construirlo en base a corteza de árboles y desechos textiles debido a que el emperador ordenó buscar nuevos elementos para la creación del mismo. A medida que el tiempo transcurrió se fueron perfeccionando las máquinas y se dejó de lado la forma artesanal de elaborar el papel, haciéndose conocer de forma masiva y con esto se permitió realizar documentos formales y notariados (Villacís & Escudero, 2015).

El papel es un material constituido principalmente por una delgada lamina de pulpa de celulosa, generalmente blanqueada. Se obtiene a partir de una pasta de fibras vegetales que es sometida a procesos como el refinado, el encolado o la coloración. A menudo se le incorporan otras sustancias para darle propiedades específicas al producto final (Chiluiza & Hernández, 2009).

3.2.2.1 Composición del papel

Según lo descrito por Santos (2024), se puede diferenciar tres tipos de compuestos que integran el papel:

a. Fibras

Es el material vegetal que se extrae de la madera u otros orgánicos vegetales por medio de los procesos mecánicos o químicos. Existen fibras largas y cortas, y como es el elemento integrante principal, influyen directamente en la calidad y propiedades que se quiera dar al papel.

b. Cargas

Son materiales de origen mineral como el carbonato de calcio, caolín, mica, talco, sílice, yeso, baritina, y materiales orgánicos como el

almidón, que se encargan de rellenar los espacios entre las fibras vegetales aportando uniformidad y consistencia al papel. Además, puede influir en otras propiedades como resistencia a la absorción de agua y opacidad, aspectos relevantes para el diseño de papel de escritura. La cantidad y tipo de carga a aplicar varían en función al producto de papel que se pretende fabricar.

c. Aditivos

Comprende la aplicación de aditivos específicos que permitan obtener características determinadas al papel. Entre ellas tenemos agentes de encolado, para ayudar a impermeabilizar el papel; materiales colorantes, para dar color al papel; y blanqueadores ópticos, para mejorar la blancura del papel. En el caso de papeles reciclados, la adición de material recuperado es considerado como aditivo.

3.2.2.2 Tipos de papel

Este material puede clasificarse en diversas categorías: de acuerdo a las características que posee, al uso que se le va a dar, al material de su procedencia, o al tipo de técnica utilizada para su elaboración. De acuerdo

a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2024), se considera la siguiente clasificación:

a. Papeles con fines gráficos

Se constituye de papel para periódicos y papel de escritura e impresión, exceptuando los manufacturados para libros, revistas, entre otros. Estos son ideales para la impresión, la escritura y otros fines gráficos, utilizando diversas mezclas de pulpas pudiendo presentarse con o sin estucado, aprestado, calandrado, satinado y otros procesos de acabado específicos.

b. Papel de uso doméstico y sanitario

Estas incluyen el papel toalla, servilletas, papel tissue o papel higiénico y material limpiador. Son materiales lo suficientemente capaces para evitar la laceración durante su uso, absorber y retener líquidos, con ausencia de pelillos y olores desagradables. Por lo regular tienen una textura suave, fina y se hacen de una o más capas.

c. Papel y cartón para envolver y empaquetar

Son papeles y cartones diseñados para envolver y empaquetar, hecho de pulpas, recortes o mezclas de ambos. Aquí entra principalmente la aplicación del papel Kraft obtenido de pulpa al sulfato, que puede estar blanqueado o no, con procesos de acanalado, con o sin estucado. También abarca papeles empleados como envases para el servicio de alimentos, pergaminos vegetales, papel impermeable a grasas, y papel glaseado.

3.2.2.3 Propiedades del papel

a. Propiedades físicas

Entre las propiedades físicas consideradas para la evaluación de la calidad y tipo de papel están el gramaje, espesor o calibre, densidad, blancura, opacidad, brillo, textura, humedad.

- **Gramaje:** Es la masa del papel por unidad de superficie y se expresa en gramos por metro cuadrado (g/m^2). De acuerdo a la NTP 272.128:2010, se clasifican en papeles hasta un gramaje de 119 g/m^2 , de 120 a 249 g/m^2 se encuentran las cartulinas y desde 250 g/m^2 son los cartones. Por regla general, cuanto mayor es el gramaje

de un papel, mayor será su grosor (Aguilar-Rivera et al., 2014; Chiluíza & Hernández, 2009).

- **Espesor o grosor:** Es denominado también calibre, se define como la distancia perpendicular que existe entre las dos caras de un papel. Por su tamaño muy reducido se expresa en mm y micras. Normalmente se determina el espesor del papel para comprobar su uniformidad en diferentes puntos de una hoja y de una hoja a otra de una misma partida. Si se tiene en cuenta la manera en que se forma la hoja de papel durante su fabricación, se puede comprender que su superficie no es perfectamente plana y que puede presentar irregularidad que afectan directamente el espesor (Aguilar-Rivera et al., 2014; Chiluíza & Hernández, 2009).

b. Propiedades mecánicas

Entre las propiedades mecánicas relevantes para la evaluación de la calidad y tipo de papel están la resistencia a la tensión, a la explosión, al rasgado, al dobléz, al levantamiento, rigidez y encolado.

- **Resistencia a la tensión:** Esta propiedad está relacionada la durabilidad del material a fuerzas de tracción y vida útil, evaluando

el estiramiento que es capaz de soportar el papel hasta su ruptura. Permite seleccionar los productos de papel adecuados para su aplicación en embalajes y procesos industriales que requieren de una buena resistencia para no sufrir interrupciones en el proceso (Moreno & Ramos, 2024). La evaluación se lleva a cabo utilizando muestras rectangulares sometiendo el papel a prueba de fuerzas de tracción, de acuerdo la norma UNE-EN ISO 1924-2 y TAPPI 494.

3.3 Definición de términos

3.3.1 Aprovechamiento

Entiéndase como la acción emplear algún recurso de forma útil sacando el máximo rendimiento del mismo (Real Academia Española [RAE], s/f).

3.3.2 Fibra de celulosa

Conjunto de filamentos de celulosa que fueron obtenidas de madera, corteza u otros materiales de origen vegetal. Estas fibras pueden contener también hemicelulosa y lignina con diferentes porcentajes de estos componentes que alteran las propiedades mecánicas de las fibras (Guerrero, 2021).

3.3.3 Residuos de tallos de flores

Residuos orgánicos generados comúnmente por la actividad florícola, en mercados, actividades culturales, cementerios, entre otros (Velasquez, 2019).

3.3.4 Elaboración

Es la acción de transformar uno o más materiales para obtener un producto final por medio de un procedimiento establecido (RAE, s/f).

3.3.5 Papel

Material que se presenta como una lámina fina hecha con pasta de fibras vegetales u otros materiales molidos y mezclados con agua, secados y endurecidos después, que se utiliza para escribir, dibujar, envolver cosas, etc. (Chiluiza & Hernández, 2009).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

La investigación fue de tipo aplicada, dado que se enfocó en resolver un problema de manera práctica y sencilla.

4.1.2 Nivel de investigación

El nivel de la investigación fue explicativo, puesto que se manipula una o más variables y se demuestra una hipótesis.

4.1.3 Diseño de investigación

Tuvo un enfoque cuantitativo de carácter experimental, en el cual se desarrolló un diseño por cada objetivo específico planteado.

Para el objetivo específico 01 se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 3x2 con dos repeticiones. El factor A consistió en la concentración de NaOH con 3 niveles (10, 15 y 20 %); y el factor B, el tiempo de cocción con 2 niveles (60 y 120 min), tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2*Diseño experimental del objetivo específico 01*

Trat.	Factor A Concentración de NaOH (%)	Factor B Tiempo de cocción (min)
T1	10	60
T2	10	120
T3	15	60
T4	15	120
T5	20	60
T6	20	120

En cuanto al objetivo específico 02, se trabajó con diferentes dosis de fibra de celulosa de residuos de tallos de flores y papel bond reciclado empleando un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones, como se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3*Diseño experimental del objetivo específico 02*

Trat.	Fibra de celulosa (FC) (%)	Papel bond reciclado (PR) (%)
T1	100	0
T2	75	25
T3	50	50
T4	25	75
T5	0	100

4.2 Población y Muestra

4.2.1 Población

La población del presente estudio estuvo conformada por los residuos de tallos de flores generados en puestos comerciales de venta de flores en la ciudad de Tacna.

4.2.2 Muestra

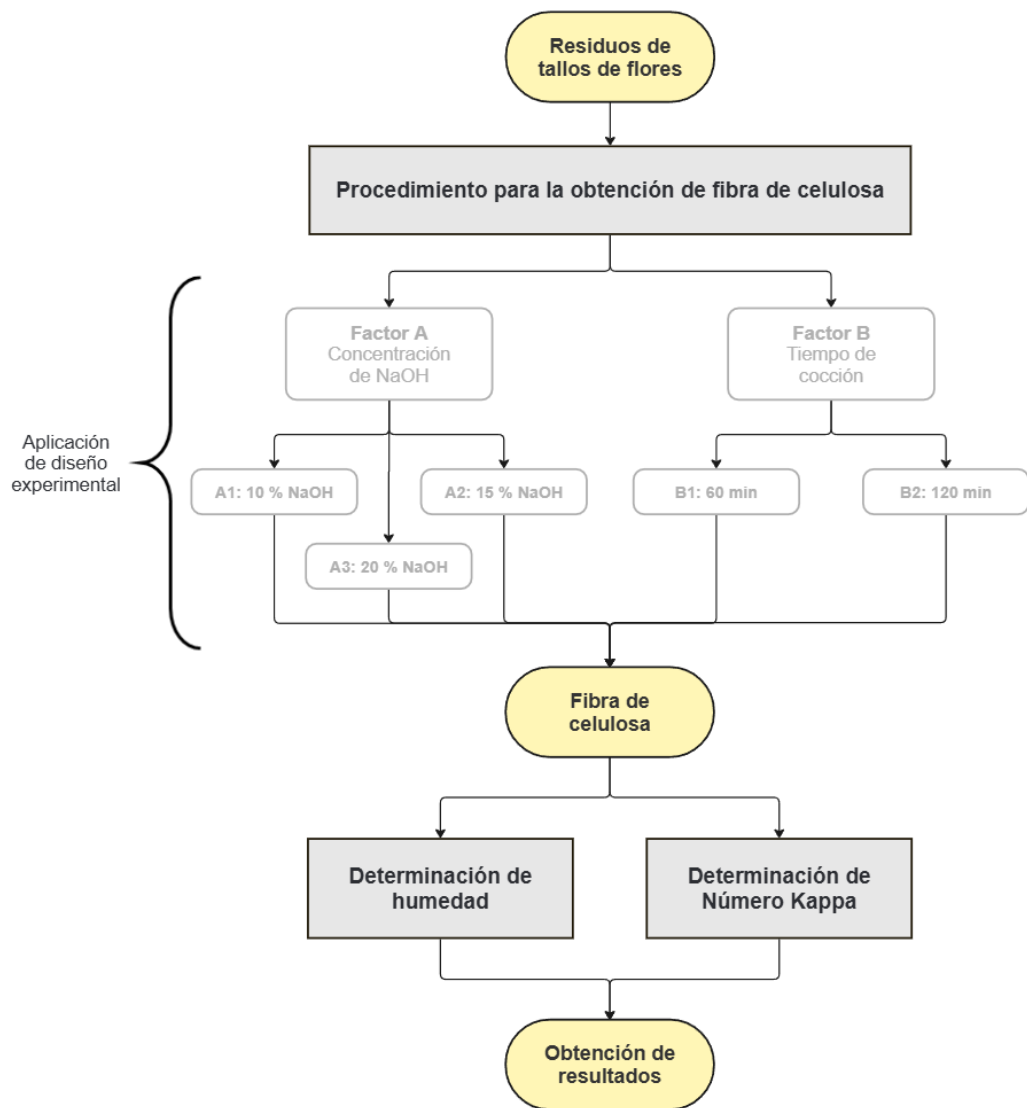
Aplicando un muestreo no probabilístico de tipo por conveniencia, la muestra de residuos de tallos de flores fue recolectada en los puestos comerciales de venta de flores ubicados en el frontis del Cementerio General de Tacna. El muestreo se efectuó tomando en cuenta la disponibilidad inmediata del residuo en dichos establecimientos, recurriendo de manera complementaria a los puntos de acopio y contenedores de residuos sólidos localizados en el interior y exterior del cementerio.



Figura 1. *Establecimientos comerciales ubicados en el frontis del Cementerio General de Tacna*

4.3 Técnicas aplicadas en la recolección de la información

El desarrollo de la investigación se efectuó siguiendo la secuencia de los flujogramas de trabajo presentados en la Figura 2 y Figura 3 de acuerdo a cada objetivo específico.



miro

Figura 2. *Flujograma de trabajo del objetivo específico 01*

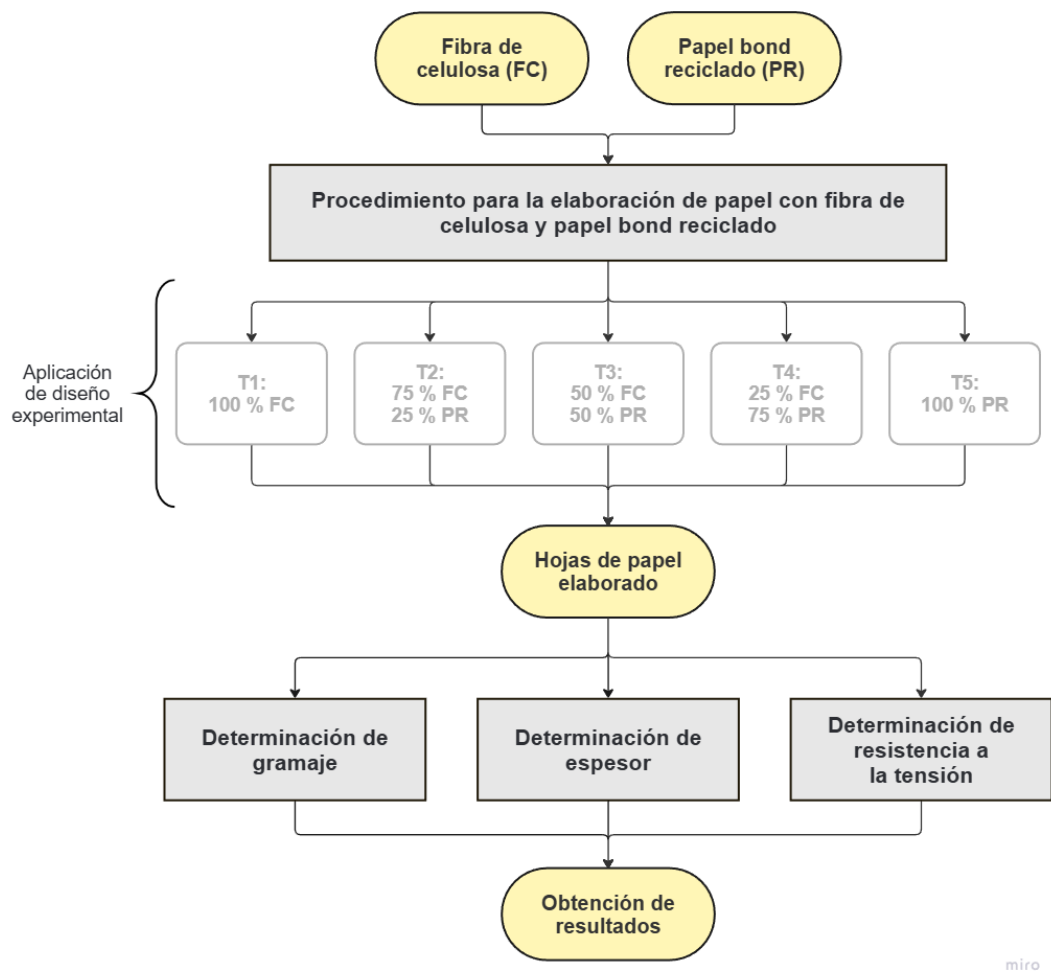


Figura 3. *Flujograma de trabajo del objetivo específico 02*

Con ello, y de acuerdo a cada objetivo específico, los procedimientos empleados en cada etapa de la investigación se detallan a continuación:

Objetivo específico 01: Determinar del efecto de la concentración de NaOH y tiempo de cocción en la obtención de fibra de celulosa a partir de residuos de tallos de flores.

4.4.1 Procedimiento para la obtención de fibra de celulosa

El procedimiento para la obtención de fibra de celulosa a partir de residuos de tallos de flores se fundamenta en una síntesis de las metodologías empleadas por Cieza (2020), Condor (2018), Guerrero (2021), Linares-Castañeda et al. (2021), Moreno & Ramos (2024), Ríos (2017), Saldaña (2022) y Satian & Urriago (2024). Al no disponer de un método específico para el material de estudio, se identificaron y seleccionaron los parámetros técnicos con mayor coincidencia entre dichos estudios para establecer un proceso con alta probabilidad de éxito, asegurando que se ajuste a las propiedades de la materia prima y se alinee con los objetivos de la investigación.

Basado en este marco metodológico, el procedimiento se desarrolló de la siguiente manera:

En primer lugar, una vez recolectada la muestra de residuos de tallos de flores, se verificó que no haya presencia de insectos y que los tallos no estén secos ni en estado de descomposición. Asimismo, se procedió a retirar las hojas, pétalos y cualquier componente excedente que no se iban a utilizar, como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. *Limpieza de residuos de flores*

Nota. a) Residuos de flores recolectados, b) Residuos de tallos de flores limpios

Posteriormente, se cortó los tallos de forma manual a un tamaño de 1 cm o menor y se pusieron a secar al sol hasta alcanzar un peso constante, esto con la finalidad de trabajar con la materia seca del residuo y asegurar un almacenamiento adecuado. Por cada tratamiento se pesó una muestra de 50 g de residuos secos y se puso en remojo previo con 1 litro de agua por 24 horas, para permitir la hidratación y ablandamiento del material.

Terminado el tiempo de remojo, la muestra se trituro con una licuadora y se pasó a filtrar con un colador para separar toda el agua posible, tal como se aprecia en la Figura 5. El agua extraída se reutilizó en otros procesos de remojo.



Figura 5. *Condicionamiento de los residuos de tallos de flores*

Nota. a) Residuos cortados y secado al sol, b) Residuos triturados y filtrado

Para el proceso de cocción, en un vaso precipitado se agregó la muestra triturada y filtrada junto con la solución de licor blanco con la concentración de NaOH del tratamiento hasta cubrir la totalidad del material. Seguidamente, el vaso precipitado se sumergió a baño maría a una temperatura de 90 °C durante el tiempo determinado según el tratamiento, manteniendo una agitación leve constante, como se observa en la Figura 6.

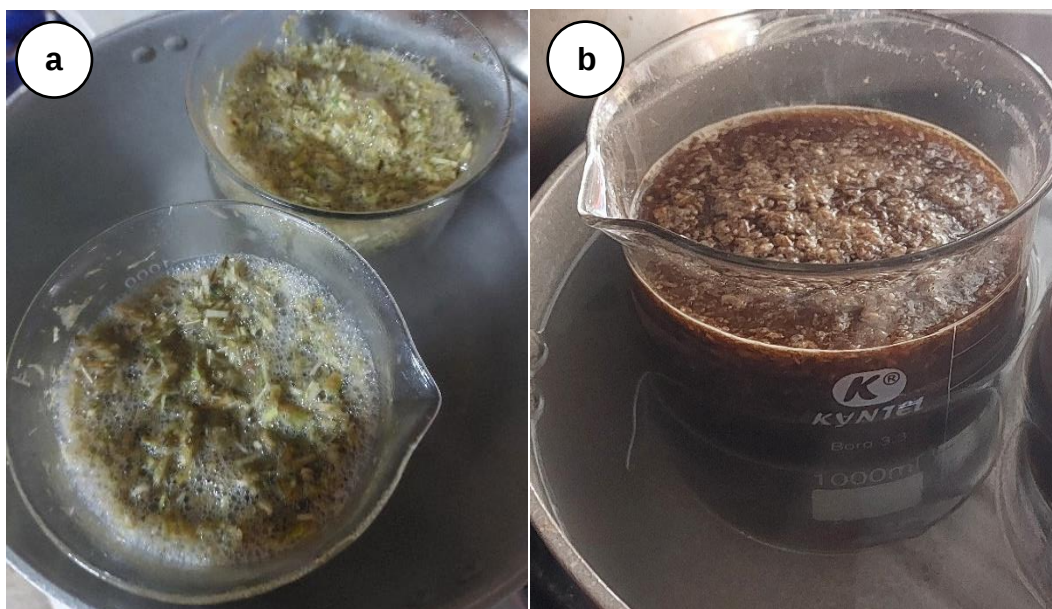


Figura 6. *Cocción alcalina de residuos de tallos de flores*

Nota. a) Residuos antes del proceso de cocción, b) Residuos después del proceso de cocción

Concluido el tiempo de cocción, la fibra de celulosa obtenida de la cocción fue filtrada con un colador para separarla del licor negro resultante y se procedió a un lavado con abundante agua para retirar los excedentes de licor negro hasta alcanzar un pH neutro, tal como se muestra en la Figura 7. Adicionalmente, el residuo líquido fue almacenado en botellas para recibir un tratamiento adecuado posteriormente y ser dispuestos al ambiente sin representar un impacto.

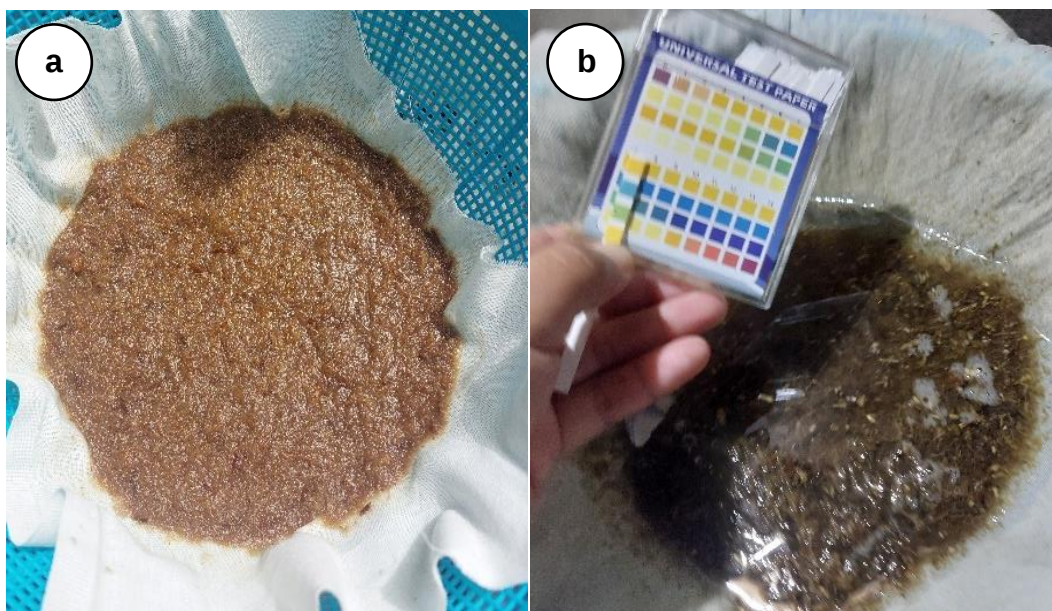


Figura 7. *Filtrado y lavado de fibra de celulosa obtenida*

Nota. a) Filtrado de la fibra de celulosa, b) Lavado de la fibra de celulosa hasta alcanzar un pH neutro

La fibra de celulosa obtenida fue extendida y compactada sobre una pieza de tela, para ser dispuesta a un secado al sol durante uno o dos días, como se aprecia en la Figura 8. Posteriormente, las fibras fueron separadas de la pieza de tela y se reservaron para proceder con los análisis de humedad y número Kappa.

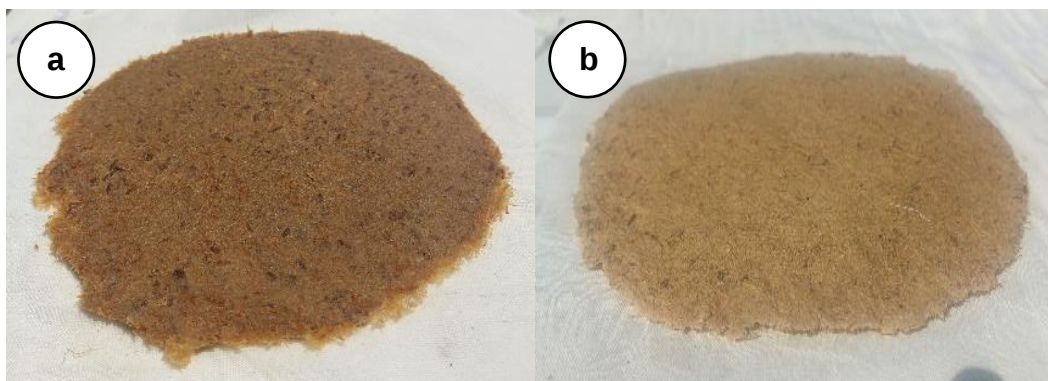


Figura 8. *Secado de fibra de celulosa obtenida*

Nota. a) Fibra de celulosa húmeda, b) Fibra de celulosa seca

4.4.2 Determinación de humedad

Se determinó por método gravimétrico, descrito por Zambrano et al. (2025), de acuerdo al siguiente detalle:

Se inició con el pesaje de una placa Petri limpia y desecada, registrando su peso inicial, luego se taró la balanza y se añadieron 2 g de muestra. Seguidamente, se colocó la placa con la muestra en una estufa a 105 °C durante 60 minutos. Transcurrido este tiempo, se retiró la placa con ayuda de unas pinzas y se dejó enfriar en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. Finalmente, se pesó la placa con la muestra seca y se repitió el procedimiento desde el ingreso a estufa hasta obtener un peso

constante. Por diferencia de masas, el contenido de humedad se calculó por la siguiente ecuación:

$$\text{Húmedad (\%)} = \frac{\text{Peso húmedo}_{(g)} - \text{Peso seco}_{(g)}}{\text{Peso húmedo}_{(g)}} \times 100 \quad (1)$$

4.4.3 Determinación del número Kappa

El método empleado corresponde a la norma TAPPI T236 cm-85, descrito por Quihue (2014) de acuerdo al siguiente detalle:

Se pesó una muestra de 2 g de la fibra de celulosa obtenida, previamente disgregada, y se agregó a un vaso precipitado con una mezcla de permanganato de potasio (KMnO_4 0,1 N) y ácido sulfúrico (H_2SO_4 4 N) manteniendo agitación constante. Se controló el tiempo desde el momento de la adición de la muestra a la mezcla. Al cumplirse 5 min, se midió la temperatura, asumiéndola como la temperatura promedio de la reacción. Transcurridos 10 min, se detuvo la reacción con yoduro de potasio (KI 1 N) adquiriendo una coloración café-cobrizo. Seguidamente, la mezcla se tituló con tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N) hasta tomar un color amarillo tenue; en este punto, se agregaron gotas de almidón como indicador para que la

mezcla adquiriera una tonalidad gris oscuro. Finalmente, se completó la titulación hasta que la solución se tornó incolora.

Con el gasto marcado en la bureta, se aplicó la siguiente ecuación para el cálculo.

$$K = \frac{p \times f}{w} \quad (2)$$

Donde:

K = Número Kappa

w = peso de la fibra de celulosa seca

f = factor de corrección a 50 % del consumo de KMnO_4

p = volumen de KMnO_4 consumido en el ensayo

Objetivo específico 02: Evaluar del efecto de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores sobre las propiedades físicas y mecánicas del papel elaborado

4.4.4 Procedimiento para la elaboración de papel con fibra de celulosa y papel bond reciclado

El procedimiento para la elaboración de papel a partir de residuos de tallos de flores se basó en la metodología empleada en la investigación de Taco et al. (2023), considerando modificaciones para la aplicación del diseño experimental del presente estudio, desarrollándose de la siguiente manera:

En primer lugar, se repitió el procedimiento de limpieza y tratamiento de los residuos de tallos de flores detallado en el objetivo anterior, aplicando la concentración de NaOH y tiempo de cocción que permitieron obtener los mejores resultados de humedad y número Kappa.

Por otra parte, el papel bond reciclado se troceó en pequeños pedazos menores de 3 cm y se reservó. Considerando un peso base de 100 g para cada unidad experimental, se pesó el papel bond reciclado de acuerdo con los porcentajes establecidos para cada tratamiento y se

mantuvo en remojo en un recipiente con 1 litro de agua durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, el papel bond reciclado se licuó con una porción de agua hasta obtener una masa de consistencia pastosa y uniforme, tal como se aprecia en la Figura 9.



Figura 9. *Condicionamiento del papel bond reciclado*

Nota. a) Papel bond reciclado troceado, b) Papel bond reciclado licuado después del remojo

Posteriormente, de acuerdo con la configuración de cada tratamiento, se combinaron las fibras de celulosa de residuos de tallos de flores y la pulpa de papel bond reciclado en un recipiente amplio, hasta obtener una mezcla homogénea y diluida que constituyó la pasta base de la unidad experimental. Para la formación y moldeado de las hojas, se utilizó un molde de madera (bastidor con una pieza de tela y un marco), en el cual se esparció la pasta haciendo que se extendiera de forma uniforme

con el apoyo del agua. Manteniendo el molde en posición horizontal, se dejó drenar el exceso de agua por gravedad, como se muestra en la Figura 10.

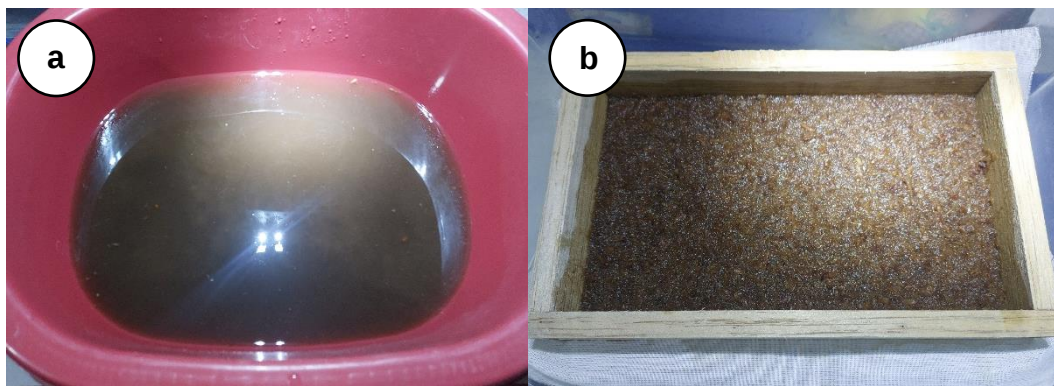


Figura 10. *Elaboración de hojas de fibra de celulosa*

Nota. a) Mezclado de fibras de celulosa y papel bond reciclado, b) Moldeado de hoja de papel

En este punto, se retiró el bastidor y se colocó la pieza de tela con la pasta junto con el marco sobre una superficie plana, procediendo a eliminar el exceso de agua con una esponja y ejerciendo presión para compactar las fibras. Una vez finalizado el prensado manual, se retiró el marco y la pieza de tela con la hoja formada fue sometida a un secado al sol durante uno o dos días, tal como se aprecia en la Figura 11. Posteriormente, la hoja se separó de la pieza de tela y se reservó para la evaluación de sus propiedades físicas y mecánicas.



Figura 11. Resultados de hojas de fibra de celulosa

Nota. a) Secado de hojas de papel, b) Hojas de papel obtenidas de los diferentes tratamientos

4.4.5 Determinación del gramaje

Basándose en la Norma TAPPI T410, la determinación del gramaje se realizó tomando en cuenta el área de la hoja de papel (cm^2) y su peso (g) medido con una balanza analítica (Herrera & Hoyos, 2021). Con ambos datos, se calculó el gramaje con la siguiente fórmula:

$$\text{Gramaje} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right) = \frac{\text{Peso de la hoja de papel}_{(\text{g})} \times 10\,000}{\text{Área de la hoja de papel}_{(\text{cm}^2)}} \quad (3)$$

4.4.6 Determinación del espesor

Mediante el uso de un calibre digital se determinó el espesor del papel permitiendo la medición en una escala milimétrica (mm). Tomando como referencia la Norma TAPPI T411, de cada pliego de papel a evaluar se cortó en cuatro tiras de igual tamaño, los cuales fueron medidas en cinco puntos diferentes y se registró los resultados obtenidos para luego ser procesados (Figueroa & Japay, 2023).

4.4.7 Determinar la resistencia a la tensión

Para la medición de la resistencia a la tensión se consideró el procedimiento de la Norma TAPPI 494 om-01 y UNE-EN ISO 1924-2, el cual consistió en 10 tiras de papel de 15 x 2,5 cm por cada unidad de ensayo y una prensa de madera con un dinamómetro como el equipo de prueba. Sobre una superficie plana y lisa se sujetó un extremo de la tira con la prensa y por el otro se ejerció una fuerza constante empleando el dinamómetro. Se registró el valor de la fuerza usada hasta lograr la rotura de la tira de papel (Cevallos, 2024).

Para el cálculo de la resistencia a la tensión se empleó la siguiente formula:

$$Resistencia\ a\ la\ tensión\left(\frac{kN}{m}\right) = \frac{Fuerza\ de\ tensión\ (kg)}{Ancho\ de\ tira\ de\ papel\ (mm)} \times 9.807 \quad (4)$$

4.4 Materiales, equipos y reactivos

4.5.1 Materiales

- Bastidor de madera de 25 x 15 cm
- Colador de plástico
- Vasos precipitador de 1 000 ml
- Olla de metal
- Papel reciclado
- Piezas de tela
- Pinzas de metal
- Recipiente de plástico
- Residuos vegetales de tallos de flores
- Tijera de metal
- Varillas de vidrio

4.5.2 Equipos

- Calibre pie de rey universal
- Balanza analítica 220 g / Precisión de 0,0001 g
- Cocina de mesa
- Desecador
- Dinamómetro
- Estufa con termostato regulable
- Licuadora
- Termómetro

4.5.3 Reactivos

- Agua destilada
- Hidróxido de sodio comercial, con al menos 85 % de pureza (soda caustica)
- Pergamanato de potasio 0,1 N
- Ácido sulfúrico 4 N
- Yoduro de potasio 0,1 N
- Tiosulfato de sodio 0,2 N

4.5 Análisis estadísticos

Para la evaluación estadística de los resultados, se utilizó el programa estadístico INFOSTAT versión estudiantil para aplicar el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95 % ($p < 0,05$) para validar la hipótesis y determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativa entre los efectos de cada factor sobre las variables a medir. Y se complementó con una prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$).

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

5.2.1 Determinación del efecto de la concentración de NaOH y tiempo de cocción en la obtención de fibra de celulosa a partir de residuos de tallos de flores

En el Anexo 2 se presentan los resultados obtenidos para el contenido de humedad y el número Kappa de las fibras de celulosa extraídas de los residuos de tallos de flores, de acuerdo con los tratamientos del diseño experimental. A partir de estos valores, se realizó el análisis estadístico para determinar el efecto de los factores sobre las variables de respuesta.

5.1.1.1 Humedad

El análisis de varianza realizado para el contenido de humedad, que se muestra en la Tabla 4, indicó que la concentración de NaOH, el tiempo de cocción y su interacción no presentan diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$), con un coeficiente de variación de 8,62 %. Estos resultados sugieren que los efectos individuales y la interacción entre los

factores no ejercen una influencia determinante sobre el contenido de humedad de la fibra.

Tabla 4

Análisis de varianza del contenido de humedad

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
A: NaOH	0,182	2	0,091	1,291	0,3418
B: Tiempo	0,001	1	0,001	0,008	0,9335
AB	0,837	2	0,416	5,942	0,0378
Error	0,423	6	0,070		
Total	1,442	11			

CV = 3,39 %

Dado a lo anterior, los valores promedio de contenido de humedad en los tratamientos se mantuvieron dentro de un rango de 7,40 a 8,30 %, como se observa en la Figura 12.

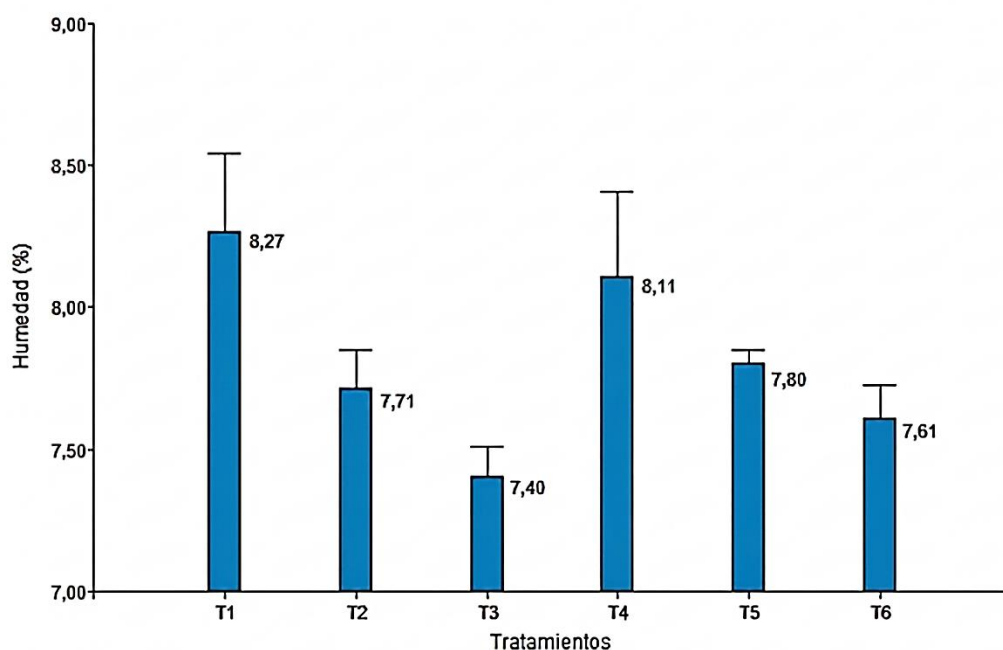


Figura 12. Valores promedio del contenido de humedad por tratamiento

5.1.1.2 Número Kappa

El análisis de varianza realizado para el número Kappa, que se muestra en la Tabla 5, reporta que el efecto de la concentración de NaOH y el tiempo de cocción es significativo ($p < 0,05$) mas no hubo diferencia estadísticamente significativa en la interacción ($p > 0,05$) con un coeficiente de variación de 1,63 %, confirmando la alta precisión y confiabilidad de los datos experimentales obtenidos. Es por ello que se interpretó los efectos de cada factor de manera independiente.

Tabla 5*Análisis de varianza del número Kappa*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
A: NaOH	17,88	2	8,94	45,52	0,0002
B: Tiempo	3,05	1	3,05	15,52	0,0076
AB	0,33	2	0,17	0,84	0,4751
Error	1,18	6	0,20		
Total	22,44	11			

CV = 1,63 %

En primera instancia, se realizó la prueba de contraste múltiple de Tukey para la concentración de NaOH, reportando que los tratamientos realizados al 20 % de NaOH obtuvieron el menor valor de número Kappa, diferenciándose de las demás concentraciones de reactivo, tal como se aprecia en la Figura 13.

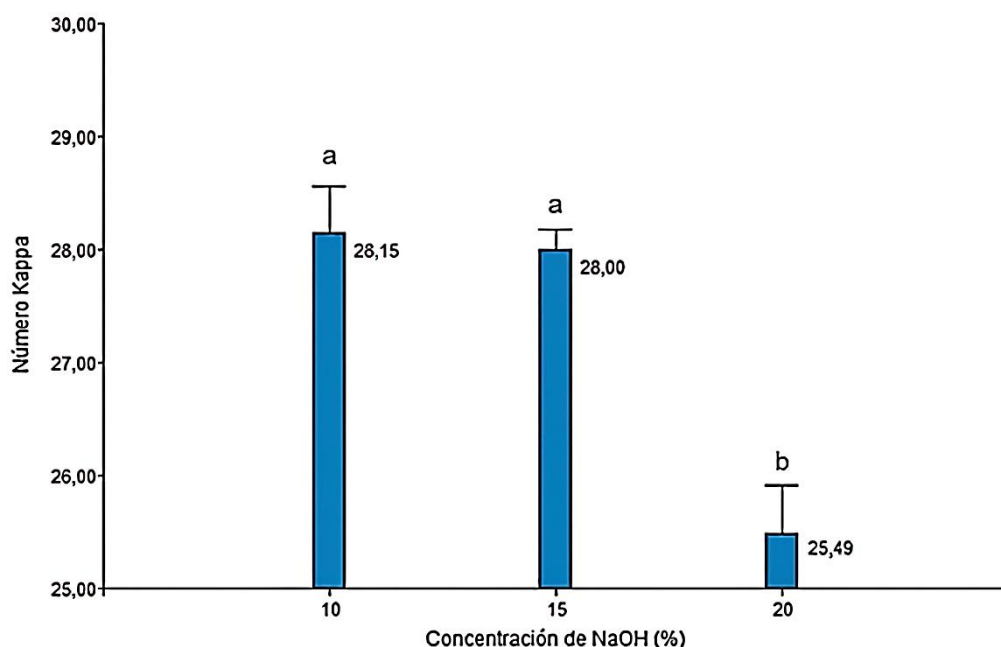


Figura 13. Prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$) para la concentración de NaOH en el número Kappa

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Mientras que, en la prueba de contraste múltiple de Tukey para el tiempo de cocción, se registró el menor número kappa en los tratamientos realizados por 120 min, siendo diferente significativamente de los tratamientos a 60 min. El resultado se muestra en la Figura 14.

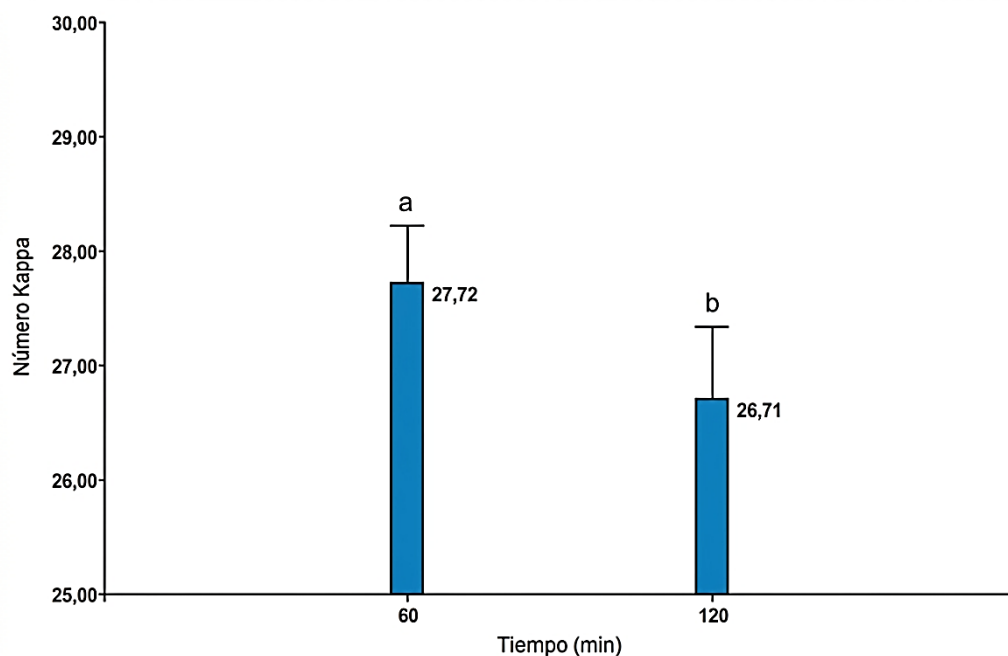


Figura 14. Prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$) para el tiempo de cocción en el número Kappa

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Si bien se reporta que el efecto de la interacción de ambos factores no fue significativo ($p > 0,05$), en la Figura 15 se muestra la prueba de contraste múltiple de Tukey para la interacción AB y se puede observar que el tratamiento T5 (20 % de NaOH y 120 min) obtuvo el menor valor de número Kappa. Este resultado guarda relación con los resultados de los efectos individuales. Por tal motivo, se consideró como el tratamiento con mejores resultados de designificación y fue empleado para la extracción

de celulosa en el procedimiento de elaboración de papel en el siguiente objetivo.

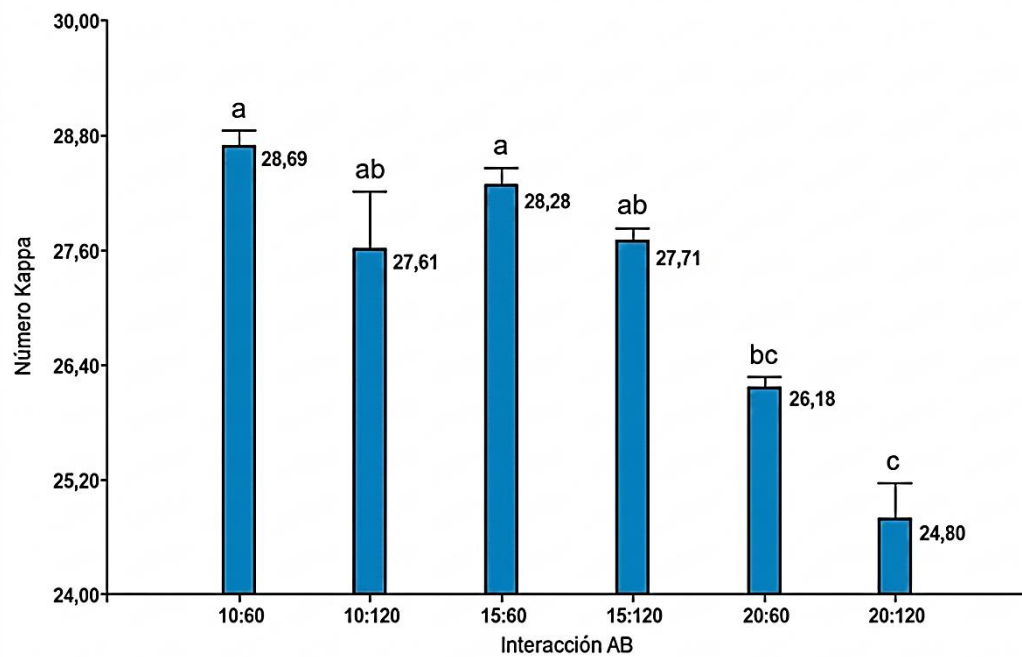


Figura 15. Prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$) para la interacción AB en el número Kappa

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

5.2.2 Evaluación del efecto de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores sobre las propiedades físicas y mecánicas del papel elaborado

Se elaboraron hojas de papel de 25 x 15 cm con fibra de celulosa extraída de los residuos de tallos de flores y papel bond reciclado, de acuerdo a cada tratamiento del diseño experimental, a los cuales se evaluó el gramaje, espesor y resistencia a la tensión. Los resultados obtenidos de cada parámetro se presentan en el Anexo 3.

A partir de estos valores, se realizó el análisis estadístico para determinar el efecto de los factores sobre las variables de respuesta.

5.1.2.1 Gramaje

El análisis de varianza realizado para el gramaje, que se muestra en la Tabla 6, reporta que existe diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre los tratamientos, con un coeficiente de variación de 2,98 %.

Tabla 6*Análisis de varianza del gramaje*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	49 831,22	4	12 457,80	129,11	<0,0001
Error	964,88	10	96,49		
Total	50 796,09	14			

CV = 2,98 %

Es así que se realizó la prueba de contraste múltiple de Tukey para el gramaje, reportando que T1 (100 % FC) registra el valor más alto con un promedio de 407,40 g/m². Mientras que T5 (100 % PR) fue el menor valor con un promedio de 247,65 g/m², tal como se aprecia en la Figura 16.

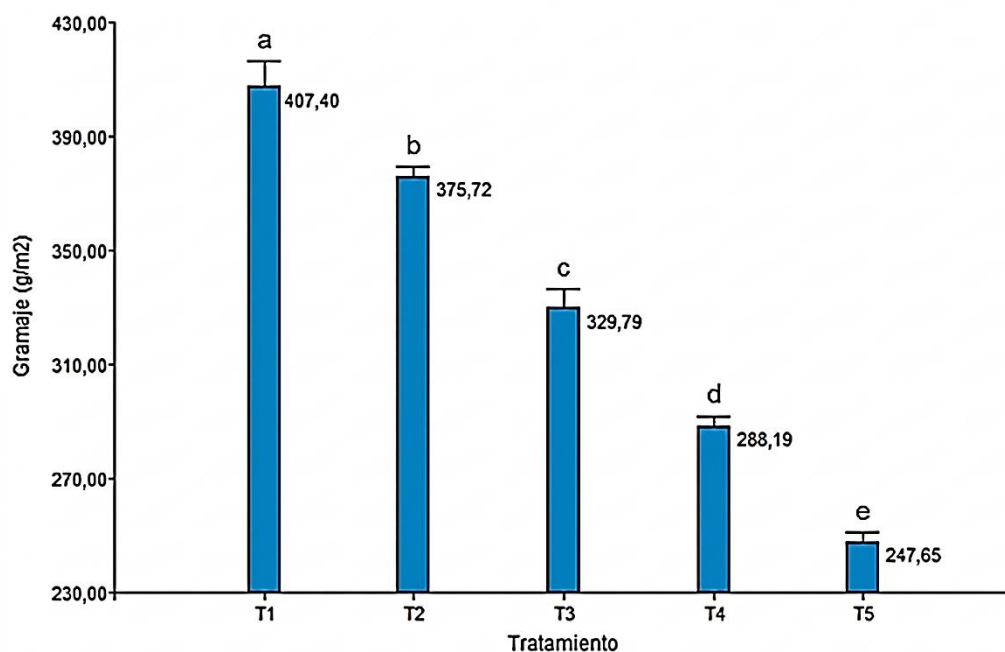


Figura 16. Prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$) para los tratamientos con respecto al gramaje

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

5.1.2.2 Espesor

El análisis de varianza realizado para el espesor, que se muestra en la Tabla 7, reporta que existe diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre los tratamientos, con un coeficiente de variación de 9,93 %.

Tabla 7*Análisis de varianza del espesor*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	1,55	4	0,39	23,29	<0,0001
Error	0,17	10	0,02		
Total	1,72	14			

CV = 9,93 %

Es así que se realizó la prueba de contraste múltiple de Tukey para el espesor, reportando que T1 (100 % FC) registra el valor más alto con un promedio de 1,68 mm. Mientras que T5 (100 % PR) fue el menor valor con un promedio de 0,74 mm, tal como se aprecia en la Figura 17.

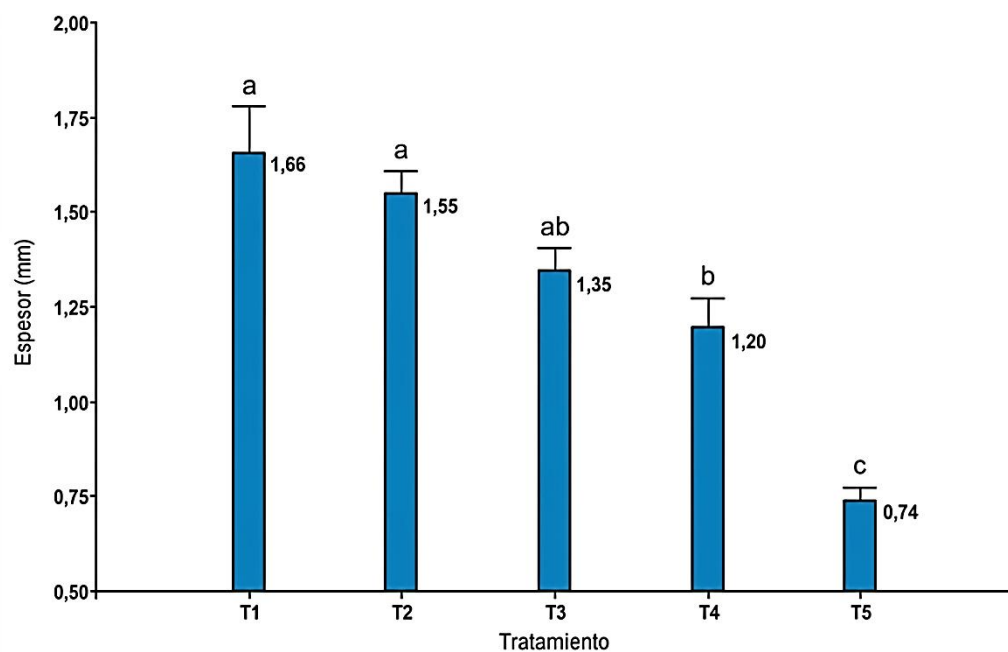


Figura 17. Prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$) para los tratamientos con respecto al espesor

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

5.1.2.3 Resistencia a la tensión

El análisis de varianza realizado para la resistencia a la tensión, que se muestra en la Tabla 8, reporta que existe diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre los tratamientos, con un coeficiente de variación de 9,26 %.

Tabla 8*Análisis de varianza de la resistencia a la tensión*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	7,03	4	1,76	222,65	<0,0001
Error	0,08	10	0,01		
Total	7,11	14			

CV = 9,26 %

Es así que se realizó la prueba de contraste múltiple de Tukey para la resistencia a la tensión, reportando que el T5 (100 % PR) registra el valor más alto con un promedio de 2,19 kN/m, mientras que T1 (100 % FC) obtuvo el menor valor con un promedio de 0,19 kN/m, tal como se aprecia en la Figura 18.

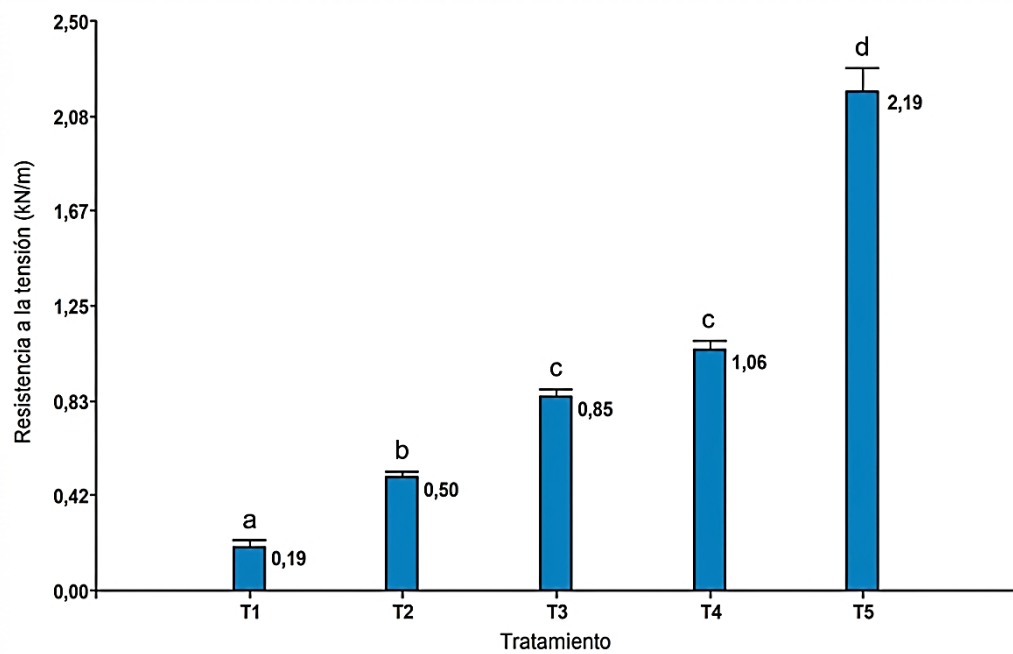


Figura 18. Prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$) para los tratamientos con respecto a la resistencia a la tensión

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

5.2 Discusión de los resultados

5.2.1 Discusión de la determinación del efecto de la concentración de NaOH y tiempo de cocción en la obtención de fibra de celulosa a partir de residuos de tallos de flores

La evaluación del contenido de humedad se sustenta en su efecto sobre propiedades del papel como la impresión, encogimiento, combado y resistencia física. Los resultados de contenido de humedad de la fibra de celulosa concuerda con lo reportado por Zambrano et al. (2025), Huapaya (2018) y Andy (2020), demostrando que el procedimiento realizado para el secado de la fibra de celulosa fue adecuado para alcanzar los valores esperados. Además, su comportamiento no tuvo diferencia entre los niveles de los factores porque esta propiedad física responde principalmente al tipo de procedimiento de secado y las propiedades higroscópicas del material. Al someterse todos los tratamientos al mismo protocolo de secado al sol y prensado manual con esponja, la capacidad de retención de agua alcanzó un equilibrio higroscópico similar en todos los tratamientos. Con ello se puede entender que el procedimiento químico de deslignificación con NaOH no modifica significativamente las características de la fibra dentro de los niveles estudiados.

Por otro lado, con respecto al número kappa, su evaluación se fundamenta en medir de forma indirecta la cantidad de lignina residual sobre la fibra de celulosa y así conocer el grado de pureza obtenido después del proceso de deslignificación. Además, también permite evaluar que el proceso no esté generando una degradación colateral de la celulosa, lo que podría afectar el rendimiento del proceso y las propiedades mecánicas del papel elaborado con dicha fibra.

De acuerdo a los resultados, todos los tratamientos tuvieron valores menores a 30. Ello muestra que las fibras de celulosa obtenidas presentaron un grado de deslignificación medio, lo que permite un fácil blanqueo y ubicándolo dentro del rango utilizado para papeles de impresión y escritura. Los resultados fueron cercanos a lo reportado por García et al. (2021) que obtuvo valores de número Kappa entre 12 y 18 con diferentes especies leñosas; mientras que fueron bastante menores a lo obtenido por Condor (2018), que usando raquis de plátano alcanzó valores de número Kappa altos (entre 87,1 y 100,9). Se evidenció que el proceso de deslignificación fue adecuada para la obtención de la calidad de fibra que se esperaba.

5.2.2 Discusión de la evaluación del efecto de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores sobre las propiedades físicas y mecánicas del papel elaborado

Considerando el papel obtenido, las propiedades evaluadas se sustentan en parámetros de calidad considerados en estándares internacionales como la Norma TAPPI, puesto que estas características son fundamentales para determinar el tipo de papel y usos potenciales.

En cuando al gramaje, la norma TAPPI considera que un papel para oficina tiene un gramaje entre 70 y 119 g/m². Ninguno de los tratamientos logró entrar a esta categoría puesto que excede el rango, incluso para considerarse cartulinas. No obstante, estos resultados eran esperables dada su naturaleza de fabricación artesanal y coinciden con los gramajes obtenidos en las investigaciones Linares-Castañeda et al. (2021), Trespalacios & Lara López (2021) y Ríos (2017) que aplicaron procedimientos similares en fibras de maíz y piñón, buchón de agua y cáscaras de naranja. Es posible optimizar el resultado de gramaje mejorando el proceso de refinado de la fibra de celulosa y el moldeado de las hojas de papel.

En cuanto al espesor, la norma TAPPI 411 considera que un papel para oficina tiene un espesor de 0,75 a 0,99 mm. Solo las hojas elaboradas con 100 % papel bond reciclado cumplieron con dicho límite, dejando por fuera a los demás tratamientos al exceder el rango. Al igual que el gramaje, estos valores eran esperables dada su naturaleza de fabricación artesanal. Los resultados fueron comparables con hojas elaboradas a partir endocarpio de plátano verde (Taco et al., 2023), corona de piña (Cieza, 2020) y raquis de plátano (Condor, 2018); en cambio, fueron notoriamente menor en hojas elaboradas con endocarpio de aguaje (Jesús, 2020) y cáscara de maracuyá y de palta (Figueroa & Japay, 2023). Este parámetro es optimizable con una mayor refinación de la fibra de celulosa y con la inclusión de una prensa que compacte la pulpa.

Sobre la resistencia a la tensión, de acuerdo a la norma TAPPI 243 un papel de calidad para impresión debe alcanzar los 100 kN/m. Ninguno de los tratamientos alcanzó el valor mínimo necesario según la norma para este tipo de papel, pero cuentan con resistencia a la tensión dentro de la categoría de papel tissue y papel periódico. Este resultado se debe al proceso de fabricación artesanal que, al no haber realizado un prensado de las hojas de papel, no permitió un mayor entrelazado de las fibras. Además, la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores son fibras cortas, estas

son utilizadas principalmente para aportar suavidad y flexibilidad al papel; mientras que las fibras largas con las encargadas de aportar resistencia. Comparado con otras investigaciones, se puede mencionar que presenta resultados superiores a lo reportado por Cevallos (2024) y Moreno & Ramos (2024).

En base a lo anterior, los resultados obtenidos fueron comparables con papeles fabricados a partir de fibras extraídas de diferentes residuos, lo cual indica que los residuos de tallos de flores poseen un potencial significativo para ser aprovechado en la elaboración de papel.

CONCLUSIONES

Se aprovechó la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores para la elaboración de papel, la cual presentó resultados de humedad y número Kappa adecuados después del proceso de deslignificación. Asimismo, la incorporación de fibra de celulosa evidenció resultados de gramaje, espesor y resistencia a la tensión comparables con estudios realizados con otros tipos de residuos.

Se determinó el efecto de la concentración de NaOH y tiempo de cocción en la obtención de fibra de celulosa a partir de residuos de tallos de flores. Los resultados mostraron que los factores ejercen una influencia inversa sobre el número Kappa de forma individual y no generan un efecto en su interacción; mientras que no tuvieron efecto sobre el contenido de humedad. De esa manera, se concluyó que la fibra obtenida en un proceso de cocción a 20 % de NaOH durante 120 min obtuvo el mejor desempeño en la deslignificación de los residuos de tallos de flores.

Se evaluó el efecto de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores sobre el gramaje, espesor y resistencia a la tensión de las hojas elaboradas al 25 %, 50 %, 75 % y 100 % de sustitución, completados con

papel bond reciclado. Los resultados evidenciaron que ningún tratamiento con fibra de celulosa cumple con los estándares de la Norma TAPPI para papel de oficina con respecto a los tres parámetros evaluados. En cuanto a gramaje se obtuvo un rango promedio entre 288,19 – 407,40 g/m²; y en espesor, entre 1,20 – 1,66 mm, mostrando características para ser considerado cartulina. No obstante, la resistencia a la tensión no superó los 1,06 kN/m, que lo mantiene en las características de papel tissue y papel periódico.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio comparativo entre tipos de flores para evaluar individualmente el contenido de celulosa de cada uno y el procedimiento idóneo para su extracción basado en las características del tipo de flor.

Se recomienda realizar un estudio para evaluar el efecto de la temperatura en el proceso de cocción de la fibra de celulosa para el nivel ideal que entregue mejores resultados.

Se recomienda utilizar una prensa manual o industrial durante el procedimiento de elaboración de las hojas de papel, que permitirá compactar las fibras y mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Rivera, N., Houbroun, E., Rustrian, E., & Reyes-Alvarado, L. C. (2014). Papel amate de pulpa de café (*Coffea arabica*)(Residuo de beneficio húmedo). *Ra Ximhai*, 10(3), 103–117.
- Andy, L. S. (2020). *Elaboración de papel artesanal a base de los residuos vegetales de los tallos de maíz (Zea mays L) y cáscaras de plátano (Musa Paradisiaca) utilizando los métodos químicos de Jayme-Wise, Kurshner y Hoffner* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio Digital UNACH. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6567>
- Cabascango, E., Chinche, K., Naranjo, A., Merino, B., & Pilco, C. (2021). Técnicas de extracción de celulosa en residuos agroindustriales. *Revista Pertinencia Académica*, 5(3), 93–104.
- Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana [CANIEM]. (2022, julio 4). Situación actual de la Industria Papelera en el mundo, retos y tendencias. *EDITORES Boletín Quincenal*, (1004), 1–3.
- Carrillo, L. C. (2024). *Evaluación del impacto socioambiental por la contaminación del botadero a cielo abierto de Curgua, cantón Guaranda* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana].

Repositorio Institucional UPS. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28814>

Centro Nacional de Planeamiento Estratégico [CEPLAN]. (2024, junio). Crisis en la gestión de residuos. *Observatorio CEPLAN*. https://observatorio.ceplan.gob.pe/ficha/r3_2024

Cevallos, A. G. (2024). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del papel Kraft obtenido a partir de la biomasa lignocelulósica de la cascarilla de cacao (Theobroma cacao) tras someterse a un proceso de blanqueo con peróxido de hidrógeno* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. DSpace ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/22667>

Chacaltana, N. S. (2023). Valorización de residuos sólidos en el Perú. *Revista de Climatología*, 23, 3281–3290. <https://doi.org/10.59427/rcli/2023/v23cs.3281-3290>

Chiluiza, C. I., & Hernández, J. P. (2009). *Elaboración de papel artesanal de caña guadua (Guadua angustifolia K)* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital Institucional EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1901>

Chura, H. Y., & Sánchez, R. U. R. (2020). *El impacto ambiental del ciclo de vida del papel en el Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana

- Unión]. Repositorio UPeU. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4113>
- Cieza, Y. Y. (2020). *Utilización de la corona de piña (Ananas comosus) para la elaboración de papel ecológico artesanal, Chiclayo* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/48463>
- Condor, M. L. (2018). *Uso del raquis del plátano de aucayacu para la elaboración del papel ecológico en el laboratorio* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/98806>
- De Souza, J., & Morante, C. (2020). Género *Corymbia* como alternativa para la producción de pulpa para papel y otros usos. *Revista Agrollania de Ciencia y Tecnología*, 19, 54–61.
- Deaquiz, Y., & Moreno, B. (2016). Producción y biosíntesis de fibras vegetales. Una revisión. *Conexión Agropecuaria JDC*, 6(1), 29–42.
- Dhia, M. (2021). *Estudio de fuentes alternativas a la madera para la obtención de celulosa* [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/175418>
- Escalante, A. K., Tarazona, E., Torres, J. G., & Uscamayta, S. J. (2020). *Estudio de pre-factibilidad para la elaboración de papel bond a base*

- de la cáscara de cacao* [Trabajo de investigación para grado de bachiller, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio Institucional USIL. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/10721>
- Espinoza, J., & León, K. (2017). *Obtención de papel a partir de la cáscara de maní (Arachis hypogaea)* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional UG. <https://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/18245>
- Figuerola, Z. C., & Japay, J. A. (2023). *Elaboración de papel ecológico a base de residuos orgánicos de passiflora edulis y persea americana provenientes de una agroindustria en Chilca* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/132239>
- García, L. V., Armijos, C. P., Aguilar, S. D., López, C. M., Ramírez, J. Y., Calva, M. I., & Pogo, E. M. (2021). Estudio de especies no leñosas de la provincia de Loja (Ecuador) como potenciales materias primas para la fabricación de papel artesanal. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 22(2), 1–13. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.2.011>
- González, K., Daza, D., Caballero, P., & Martínez, C. (2016). Valuación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a

emplearse en la elaboración de papel. *Revista Luna Azul*, (43), 499–517.

González, K., & Valencia, I. (2015). Obtención sostenible de papel y de empaques a partir de residuos. En S. Sarandón & E. Abbona (Eds.), *Memorias del V Congreso Latinoamericano de Agroecología—SOCLA*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/52154>

Greenpeace. (2004). *Guías para un consumo responsable de productos forestales. El papel, cómo reducir el consumo y optimizar el uso y reciclaje de papel*. Greenpeace España. <https://archivos.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/el-papel.pdf>

Guerrero, Y. P. (2021). *Extracción de la celulosa a partir de los residuos de pasto común (Festuca arundinacea) para la elaboración de acetato de celulosa* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21590>

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 pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/72173>

- Huapaya, L. M. (2018). *Producción de cartón artesanal mediante el ecoproceso de moldeado con los residuos de seudotallo y hojas de plátano – Cañete* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/73809>
- Jesús, L. G. (2020). *Obtención y evaluación de la pulpa para papel del endocarpio del fruto de Mauritia flexuosa (aguaje)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Institucional UNU. <https://hdl.handle.net/20.500.14621/4325>
- Linares-Castañeda, A., Corzo-Ríos, L. J., Bautista-Ramírez, E., & Gómez y Gómez, Y. de las M. (2021). Elaboración de un envase primario para alimentos a partir de residuos de maíz y piñón mexicano. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24, 1–15. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.365>
- López, M., & Purihuamán, C. N. (2018). Impacto ambiental generado por el botadero de residuos sólidos en un caserío de la ciudad de Chota. *UCV Hacer*, 7(2). <https://doi.org/10.18050/RevUCVHACER.v7n2a4>
- Maceda, A., Soto-Hernández, M., Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C., & Terrazas, T. (2021). Lignina: Composición, síntesis y evolución. *Madera y Bosques*, 27(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>

- Márquez, R. X. (2025). *Análisis del proceso de fabricación de papel utilizando telas de algodón en desuso* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29440>
- Moreno, C., & García, E. (2018). Determinación de la concentración óptima de hidróxido de sodio para la obtención de papel y sus propiedades fisicomecánicas, a partir del raquis del racimo de plátano (*Musa paradisiaca*). *Investigación Universitaria UNU*, 8(2), 1–10.
- Moreno, L., & Ramos, J. (2024). *Evaluación de la metodología Kurschener y Hoffner en la producción de papel Kraft a partir de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*) utilizando aditivos derivados del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*) y jacaranda (*Jacaranda copaia*)* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. DSpace ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/22674>
- Ordoñez, K. L., & Sepúlveda, C. (2020). *Caracterización físico química de los residuos del plátano y el café para su posible uso como materias primas en la fabricación de papel* [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/24795>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

[FAO]. (2024). *Pulp and paper capacities, survey 2023–2025 / Capacités de la pâte et du papier, enquête 2023–2025 / Capacidades de pulpa y papel, estudio 2023-2025*. FAO.
<https://doi.org/10.4060/cd2190t>

Pinedo, J. J. (2020). *Aprovechamiento de residuos orgánicos y la comercialización de productos perecibles en el Mercado Santa Anita de Rioja, 2020* [Tesis de maestría, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/50370>

Quihue, J. G. (2014). *Obtención de fibras a partir de raquis de plátano para la producción de pulpa de papel* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional UNSCH. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1039>

Real Academia Española [RAE]. (s/f). *Diccionario de la lengua española* (23.^a ed.). Recuperado el 23 de mayo de 2025, de <https://dle.rae.es/>

Ríos, A. D. (2017). *Producción de papel artesanal a partir de residuos de cáscaras de naranja de las juguerías del Mercado Tahuantinsuyo – Independencia* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/12609>

- Saldaña, F. D. (2022). *Aprovechamiento de los residuos de la poda de árboles para la obtención de papel, distrito Los Olivos* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/136479>
- Santos, G. A. (2024). *Propuesta para la elaboración de papel biodegradable a partir de la planta de plátano en Procol S.A.S por medio del método a la sosa* [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América]. Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/9434>
- Satian, N. E., & Urriago, D. M. (2024). *Evaluación de la calidad de papel Kraft elaborado a partir del exocarpio de (Theobroma cacao) con aditivos derivados de bagazo de plátano (Musa paradisiaca) y jacaranda (Jacaranda copaia), mediante la metodología Jayme-Wise* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. DSpace ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/22664>
- Taco, J. C., Pincay, G. E., Quiñonez, M. del P., Arellano, J. A., & Chicaiza, W. V. (2023). Aprovechamiento del endocarpio del plátano Verde (Musa Paradisiaca) para la obtención de papel ecologico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 9980–9994. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.6092

- Torres, C. (2019). *Evaluación del compost a partir de los residuos orgánicos del Centro de Abastos Grau para el mejoramiento de suelos del distrito la Yarada – Los Palos, Tacna – 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional UCSM. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9526>
- Trespacios, A. D., & Lara, C. F. (2021). *Control del buchón de agua (Eichhornia crassipes) a partir de la fabricación de papel ecológico* [Tesis de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander]. Repositorio Institucional UFPS. <https://repositorioinstitucional.ufps.edu.co/xmlui/handle/20.500.14167/4750>
- Turrado, J., Saucedo, A., Ramos, J., & Reynoso, M. (2008). Comportamiento de la fibra de celulosa reciclada en el proceso de hidratación. *Información tecnológica*, 19(5), 129–136. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642008000500014>
- Velasquez, O. A. (2019). *Evaluación del impacto ambiental de los residuos sólidos generados en el cementerio del distrito de Paucarcolla* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional Digital UNAP. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/13513>
- Villacís, F. V., & Escudero, P. A. (2015). *Fabricación de papel orgánico artesanal con fibra de Astrocaryum chambira, aplicación en*

packaging para productos artesanales en la comunidad [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. DSpace ESPOCH. <https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/5546>

Zambrano, R. M., Zambrano, D. M., Revilla, K., Aldas, J., & Avilés, M. A. (2025). Obtención de celulosa de residuos agrícolas de tres variedades de plátano (Musa acuminata Red dacca, Musa acuminata y Musa paradisiaca) para fines agroindustriales. *Revista Amazónica. Ciencia y Tecnología*, 10(1), 20–26. <https://doi.org/10.59410/RACYT-v10n01ep02-0166>

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

Título: Aprovechamiento de fibra de celulosa de residuos de tallos de flores para la elaboración de papel en Tacna

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Metodología
¿La fibra de celulosa de residuos de tallos de flores puede ser aprovechada para la elaboración de papel en Tacna?	Aprovechar la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores para la elaboración de papel en Tacna	El aprovechamiento de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores permite la elaboración de papel en Tacna	Variable independiente Fibra de celulosa de residuos de tallos de flores	Características físico químicas de la fibra de celulosa	Número Kappa	-	Tipo de investigación: Aplicada Nivel de investigación: Explicativa Diseño de la investigación: <u>Primer objetivo:</u> DCA con arreglo factorial 3x2 con dos repeticiones <u>Segundo objetivo:</u> DCA con cinco tratamientos y tres repeticiones Técnicas de recolección de datos: La técnica que se empleará es la observación experimental, siendo el instrumento para la toma de datos: la ficha de registro, sobre la cual se tomará apunte de todos los datos correspondientes a la evolución del proceso experimental Análisis estadístico: Info Stat
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas			Humedad	%	
¿Cuál es el efecto de la concentración de NaOH y tiempo de cocción en la obtención de fibra de celulosa a partir de residuos de tallos de flores?	Determinar el efecto de la concentración de NaOH y tiempo de cocción en la obtención de fibra de celulosa a partir de residuos de tallos de flores	La concentración de NaOH y tiempo de cocción tienen efecto en la obtención de fibra de celulosa a partir de residuos de tallos de flores	Variable dependiente Elaboración de papel	Propiedades físicas del papel elaborado	Gramaje	g/m ²	
¿Cuál es el efecto de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores sobre las propiedades físicas y mecánicas del papel elaborado?	Evaluar el efecto de la fibra de celulosa de residuos de tallos de flores sobre las propiedades físicas y mecánicas del papel elaborado	La fibra de celulosa de residuos de tallos de flores tiene efecto sobre las propiedades físicas y mecánicas del papel elaborado			Espesor	mm	
				Propiedades mecánicas del papel elaborado	Resistencias a la tensión	kN/m	

Anexo 2

Resultados del contenido de humedad y número Kappa de la fibra de celulosa obtenida a partir de residuos de tallos de flores

Trat.	Factores		Contenido de humedad (%)	Número Kappa
	NaOH (%)	T (min)		
T1	10	60	8,54	28,850
			7,99	28,536
T2	10	120	7,85	27,005
			7,58	28,220
T3	15	60	7,51	28,461
			7,30	28,100
T4	15	120	7,81	27,593
			8,41	27,829
T5	20	60	7,85	26,279
			7,76	26,072
T6	20	120	7,73	24,429
			7,49	25,173

Anexo 3

Resultados del gramaje, espesor y resistencia a la tensión de las hojas elaboradas a partir de fibra de celulosa de residuos de tallos de flores y papel bond reciclado

Trat.	Gramaje (g/m ²)	Espesor (mm)	Resistencia a la tensión (kN/m)
T1 100 % FC	423,1778	1,717	0,128
	392,8240	1,420	0,210
	406,1929	1,833	0,231
T2 75 % FC 25 % PR	375,7058	1,656	0,538
	368,9093	1,524	0,480
	382,5378	1,470	0,485
T3 50 % FC 50 % PR	340,8089	1,242	0,802
	317,9991	1,376	0,858
	330,5484	1,426	0,904
T4 25 % FC 75 % PR	294,9982	1,238	1,068
	285,5902	1,302	0,996
	283,9671	1,055	1,112
T5 100 % PR	242,6089	0,803	2,044
	254,5902	0,697	2,38
	245,7493	0,719	2,152

Anexo 4

Panel fotográfico del trabajo experimental

Foto 1

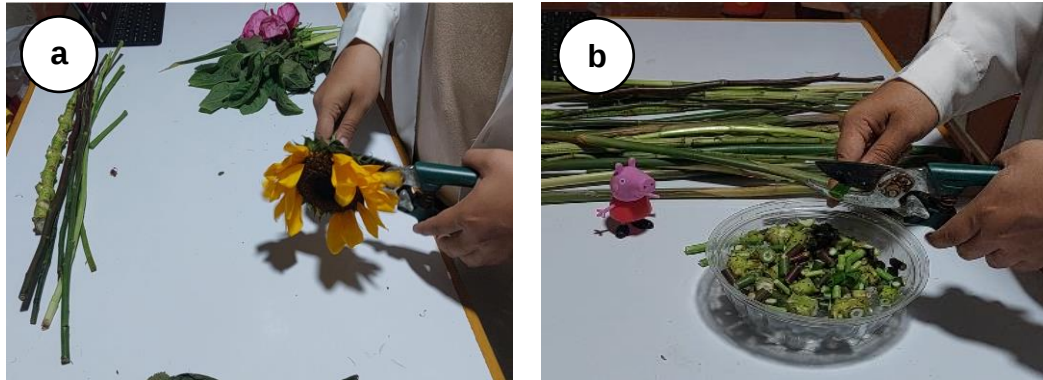
Recolección de la muestra de residuos de flores



Nota. a) Recolección de los residuos de flores en los puestos comerciales de venta de flores ubicados en el frontis del Cementerio General de Tacna, b) Residuos de flores recolectados

Foto 2

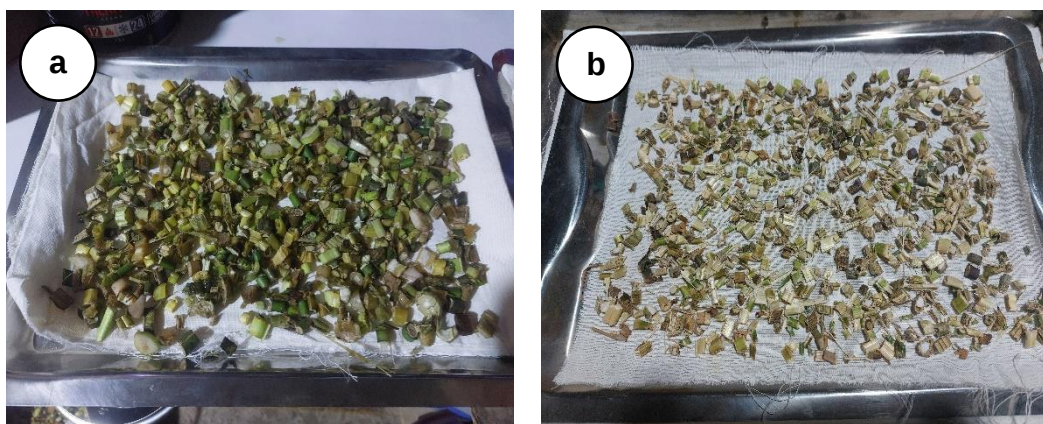
Limpieza y corte de residuos de tallos de flores



Nota. a) Limpieza de los residuos de flores recolectados, b) Corte de los residuos de tallos de flores limpios

Foto 3

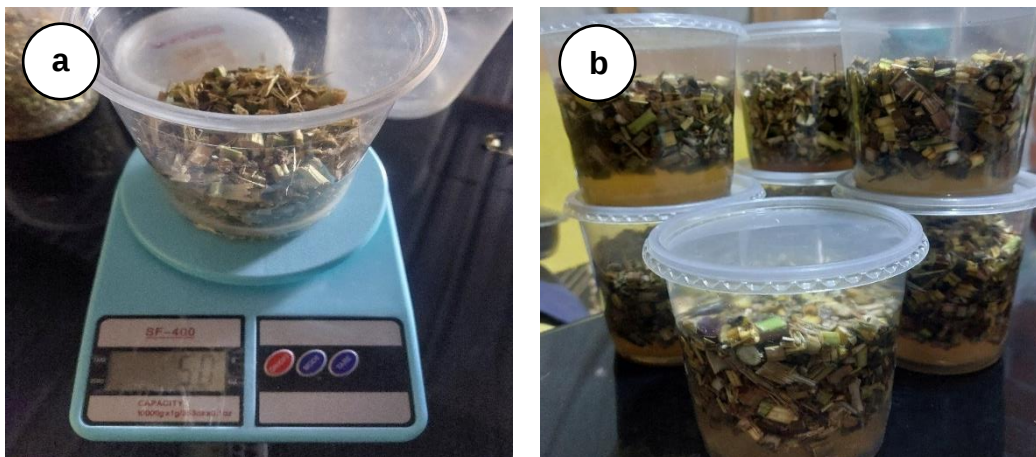
Secado de residuos de tallos de flores



Nota. a) Residuos de tallos de flores frescos, b) Residuos de tallos de flores secos

Foto 4

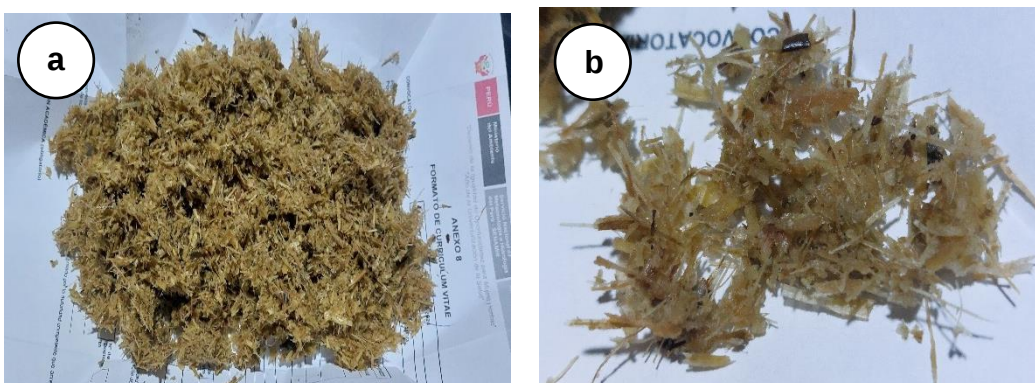
Pesado y remojo de residuos de tallos de flores secos



Nota. a) Pesado de residuos de tallos de flores secos, b) Remojo de los residuos de tallos de flores secos para cada unidad experimental

Foto 5

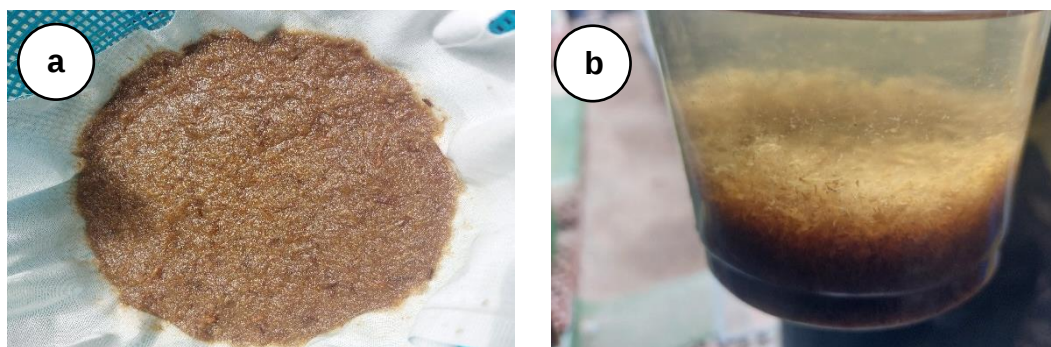
Triturado de residuos de tallos de flores



Nota. a) Residuos de tallos de flores triturados después del remojo, b) Vista ampliada de los residuos de tallos de flores triturados

Foto 6

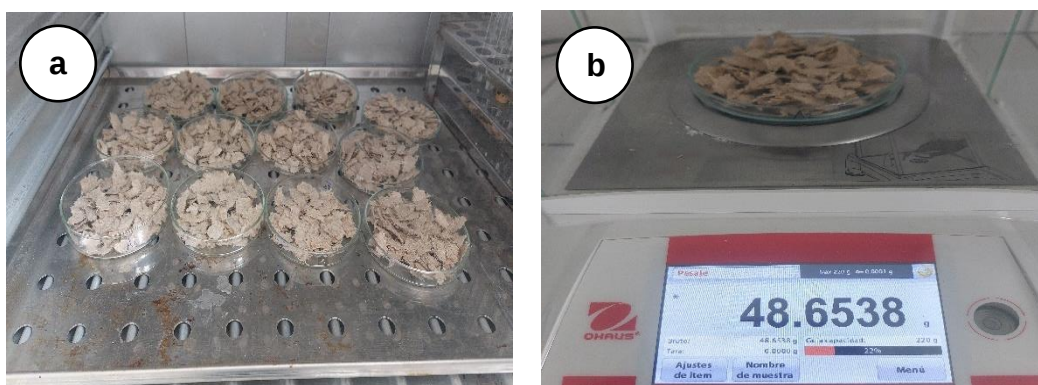
Fibra de celulosa obtenida a partir de residuos de tallos de flores después de cocción alcalina



Nota. a) Filtrado y lavado de la fibra de celulosa, b) Conservación de la fibra de celulosa para su moldeado

Foto 7

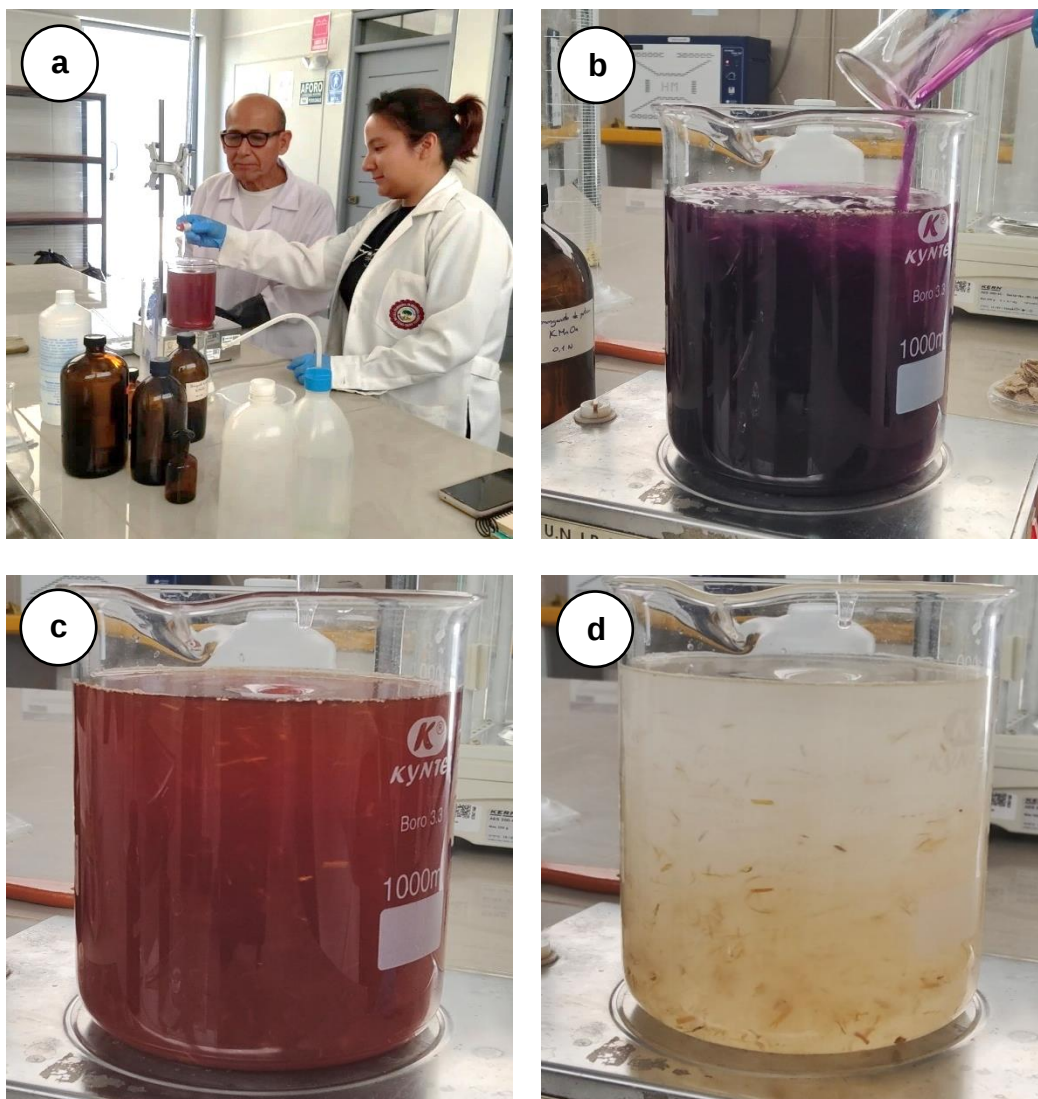
Análisis de humedad de las fibras de celulosa obtenidas



Nota. a) Secado de muestras en estufa, b) Pesado de placa Petri con muestra de fibra de celulosa seca

Foto 8

Ensayo para determinación de número kappa de las fibras de celulosa



Nota. a) Supervisión de la ejecución del ensayo de laboratorio, b) Adición de KMnO_4 y H_2SO_4 , c) Cambio de coloración por reacción química con KI , d) Culminación de titulación con $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$

Foto 9

Elaboración de hojas de papel con fibra de celulosa



Nota. a) Utensilios empleados para el moldeado de las hojas de papel con fibra de celulosa, b) Vista de hojas de papel obtenidas por cada tratamiento

Foto 10

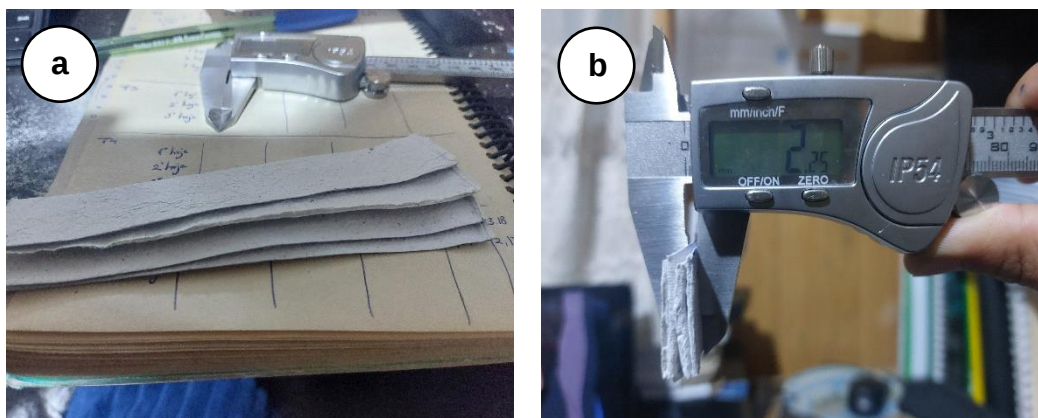
Evaluación de gramaje de hojas de papel elaboradas



Nota. a) Uso de balanza analítica para la evaluación, b) Pesado de hoja de papel

Foto 11

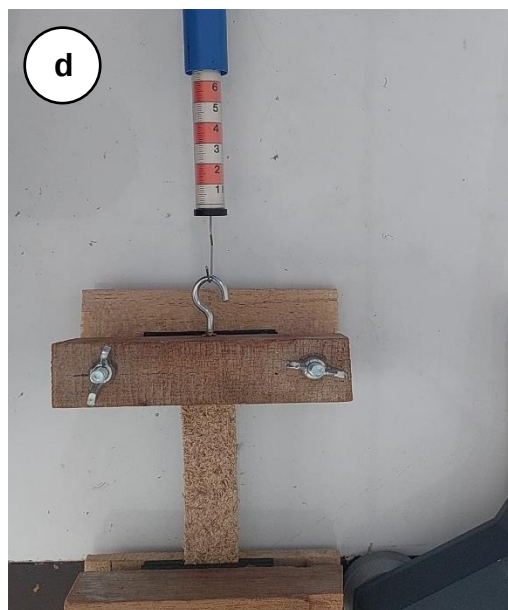
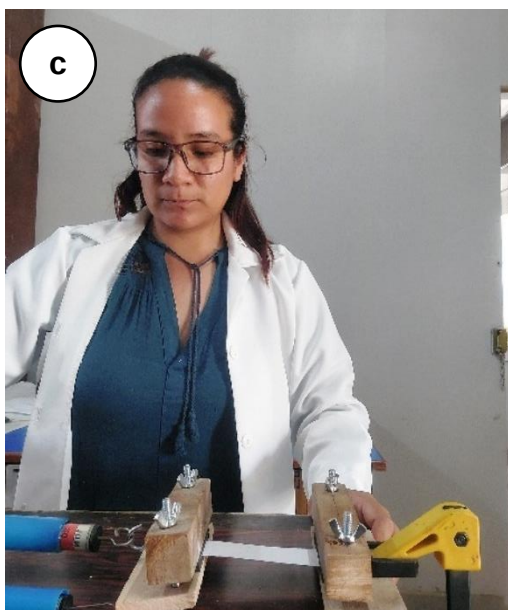
Evaluación de espesor de hojas de papel elaboradas



Nota. a) Corte de tiras de papel para la evaluación, b) Medición de espesor con calibre digital

Foto 12

Evaluación de resistencia a la tensión de hojas de papel elaboradas



Nota. a) Diseño del equipo para la medición de la resistencia a la tensión, b) Dinamómetros de 10 y 50 N, c) Vista frontal del desarrollo de la evaluación, d) Vista en planta del desarrollo de la evaluación