



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE ORELLANA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS  
DEL PAPEL KRAFT OBTENIDO A PARTIR DE LA BIOMASA  
LIGNOCELULÓSICA DE LA CASCARILLA DE CACAO  
(*Theobroma cacao* L.) TRAS SOMETERSE A UN PROCESO DE  
BLANQUEO CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar por el grado de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTORA: ANGIE GABRIELA CEVALLOS VERA**

**DIRECTORA: ING. GREYS CAROLINA HERRERA MORALES, MSC.**

El Coca – Ecuador

2024


© 2024, Angie Gabriela Cevallos Vera

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Angie Gabriela Cevallos Vera, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El Coca, 25 de junio de 2024.



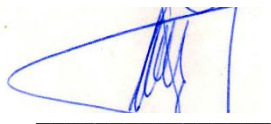

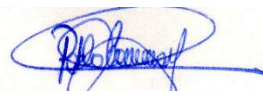
---

**Angie Gabriela Cevallos Vera**

**CI. 131478049-3**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL PAPEL KRAFT OBTENIDO A PARTIR DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DE LA CASCARILLA DE CACACO (*Theobroma cacao L.*) TRAS SOMETERSE A UN PROCESO DE BLANQUEO CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO**, realizado por la señorita: **ANGIE GABRIELA CEVALLOS VERA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Carlos Mestanza Ramón, PhD <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2024-06-25
Ing. Greys Carolina Herrera Morales, MSc. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2024-06-25
Ing. Pablo Danilo Carrera Oscullo, MSc <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2024-06-25

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante e incontables sacrificios que han hecho por mí a lo largo de mi vida y de este sueño académico. A mis abuelos, por ser mis segundos padres, por guiarme siempre por el camino correcto y animarme a cumplir mis sueños. A mis mascotas en el cielo Ari, Luci, Fancy y Tato; ángeles que conocí en el transcurso de mi camino universitario, gracias por iluminar mis días con su amor. A mi hermana y sobrinas, por sus ánimos y apoyo han sido mi refugio. A Fabricio Armijos, cuyo amor y apoyo han sido mi fortaleza en los momentos difíciles, gracias por ser un ejemplo de que todo es posible cuando realmente lo queremos. A mis compañeras y amigos, por su ánimo, ayuda y cariño que han enriquecido mi vida de formas invaluableles.

Angie

## **AGRADECIMIENTO**

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que me han acompañado y apoyado en este viaje académico: A Dios, por no dejarme decaer, porque sus planes en mi vida han sido perfectos y he aprendido que todas mis vivencias han sido por y para un propósito perfecto. A mi madre Ilbia Vera, mi mejor amiga, mi fortaleza y mi mayor inspiración para perseguir mis sueños. Agradezco su amor incondicional, sus palabras de aliento y su constante apoyo en cada paso de este camino. A mi padre Oscar Cevallos, por ser mi apoyo inquebrantable y por los innumerables sacrificios que ha hecho para ayudarme en mis estudios. Su dedicación y esfuerzo son un ejemplo para mí. A mi tutora, la Ing. Greys Herrera, por la confianza depositada en mí al hacerme parte de RECCAM y su apoyo incondicional a lo largo de este trabajo. Su orientación y sabiduría han sido fundamentales para mi crecimiento profesional. A todos los docentes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Sede Orellana en especial a quienes conforman la carrera de Ingeniería Ambiental, por su compromiso con mi educación. Gracias por cada experiencia, clase, charla y motivación, han sido una fuente invaluable de inspiración en mi vida académica.

Angie

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1.	Planteamiento del problema.....	3
1.2.	Objetivos.....	4
1.2.1.	<i>Objetivo General</i> .....	4
1.2.2.	<i>Objetivos Específicos</i> .....	5
1.3.	Justificación.....	5
1.3.1.	<i>Justificación técnica</i> .....	5
1.3.2.	<i>Justificación científica</i> .....	5
1.3.3.	<i>Justificación económica</i> .....	6

### CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	7
2.1.	Papel Kraft.....	7
2.1.1.	<i>Definición y características del papel Kraft</i> .....	7
2.1.2.	<i>Papel Kraft blanqueado</i> .....	8
2.2.	Cacao ( <i>Theobroma cacao</i> ).....	9
2.2.1.	<i>Descripción</i> .....	9
2.2.2.	<i>Clasificación taxonómica</i> .....	9
2.2.3.	<i>Características generales</i> .....	9
2.2.4.	<i>Varietades de cacao</i> .....	10
2.2.4.1.	<i>Cacao Nacional</i> .....	10
2.2.4.2.	<i>Cacao CCN-51</i> .....	11
2.2.4.3.	<i>Cacao Súper Árbol</i> .....	11

2.3.	<b>Blanqueador</b> .....	12
2.3.1.	<i>Definición industrial</i> .....	12
2.3.2.	<i>Blanqueador de papel</i> .....	13
2.4.	<b>Biomasa lignocelulósica</b> .....	14
2.4.1.	<i>Lignina y celulosa en la elaboración de papel</i> .....	14
2.5.	<b>Pruebas físico-mecánicas del papel</b> .....	14
2.5.1.	<i>Blancura</i> .....	14
2.5.2.	<i>Espesor</i> .....	15
2.5.3.	<i>Resistencia a la tensión</i> .....	15

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	17
3.1.	<b>Localización del estudio</b> .....	17
3.1.1.	<i>Condiciones climáticas</i> .....	18
3.1.2.	<i>Ecosistemas</i> .....	18
3.2.	<b>Tipo de Investigación</b> .....	18
3.2.1.	<i>Planteamiento de la hipótesis</i> .....	19
3.2.1.1.	<i>Hipótesis nula</i> .....	19
3.2.1.2.	<i>Hipótesis alterna</i> .....	19
3.2.2.	<b>Métodos</b> .....	19
3.2.2.1.	<i>Caracterización de la biomasa lignocelulósica de la cascarilla de cacao para su aprovechamiento en la obtención papel Kraft blanco</i> .....	19
3.2.2.2.	<i>Elaboración de papel Kraft a través de un diseño experimental utilizando la cascarilla de diferentes variedades de cacao y con dosis diferentes de peróxido de hidrógeno como agente blanqueador</i> .....	24
3.2.2.3.	<i>Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del papel blanqueado para su utilización en la industria papelera</i> .....	27

### CAPÍTULO IV

4.	<b>RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	31
4.1.	<b>Contenido de lignina y celulosa</b> .....	31
4.1.1.	<i>Análisis de varianza</i> .....	34
4.1.1.1.	<i>Lignina</i> .....	34
4.1.1.2.	<i>Celulosa</i> .....	35



4.1.2.	<i>Comparación de resultados</i> .....	35
4.2.	<b>Elaboración de papel Kraft blanqueado</b> .....	36
4.3.	<b>Propiedades físicas y mecánicas del papel</b> .....	38
4.3.1.	<i>Propiedades físicas del papel</i> .....	38
4.3.2.	<i>Análisis de varianza de las propiedades físicas según el tratamiento</i> .....	38
4.3.2.1.	<i>Blancura</i> .....	38
4.3.2.2.	<i>Espesor</i> .....	41
4.3.3.	<i>Propiedad mecánica del papel</i> .....	43
4.3.4.	<i>Análisis de varianza de la propiedad física según el tratamiento</i> .....	44
4.3.4.1.	<i>Resistencia a la tensión</i> .....	44
4.3.5.	<i>Discusión</i> .....	46
4.4.	<b>Respuesta a la hipótesis</b> .....	47

## CAPÍTULO V

5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	48
5.1.	<b>Conclusiones</b> .....	48
5.2.	<b>Recomendaciones</b> .....	49

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Características técnicas del papel bond.....	8
<b>Tabla 2-2:</b>	Clasificación taxonómica del cacao.....	9
<b>Tabla 3-1:</b>	Listado de materiales usados para la extracción de azúcares solubles y grasas...	21
<b>Tabla 3-2:</b>	Listado de materiales usados para la determinación de lignina .....	22
<b>Tabla 3-3:</b>	Diseño Experimental que se utilizará en el proyecto de investigación .....	26
<b>Tabla 3-4:</b>	Tensión recomendada para papel Bond.....	29
<b>Tabla 4-1:</b>	Resultados del contenido de Lignina .....	32
<b>Tabla 4-2:</b>	Resultados del contenido de Celulosa.....	33
<b>Tabla 4-3:</b>	ANOVA de los porcentajes de lignina .....	34
<b>Tabla 4-4:</b>	ANOVA de los porcentajes de celulosa .....	35
<b>Tabla 4-5:</b>	Comparación de porcentajes de lignina y celulosa con otros autores .....	36
<b>Tabla 4-6:</b>	Comparación de propiedades físicas del papel .....	38
<b>Tabla 4-7:</b>	Análisis de varianza de la blancura.....	39
<b>Tabla 4-8:</b>	Análisis de varianza del espesor .....	41
<b>Tabla 4-9:</b>	Comparación de la resistencia a la tensión del papel.....	43
<b>Tabla 4-10:</b>	Análisis de varianza de la resistencia a la tensión.....	44

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Cacao variedad Nacional.....	10
<b>Ilustración 2-2:</b>	Cacao variedad CCN-51.....	11
<b>Ilustración 2-3:</b>	Cacao variedad Súper Árbol .....	12
<b>Ilustración 3-1:</b>	Ubicación del cantón Francisco de Orellana.....	17
<b>Ilustración 3-2:</b>	Mapa de ubicación de muestras en las fincas en estudio.....	20
<b>Ilustración 3-3:</b>	Diagrama de procesos para la obtención de papel Kraft blanco .....	24
<b>Ilustración 3-4:</b>	Factores $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ del sistema Hunter .....	27
<b>Ilustración 4-1:</b>	Porcentajes de lignina por variedad de cacao.....	34
<b>Ilustración 4-2:</b>	Porcentajes de celulosa por variedad de cacao.....	35
<b>Ilustración 4-3:</b>	Interacción de la concentración del blanqueador con la variedad de cacao para la blancura .....	39
<b>Ilustración 4-4:</b>	Gráfico de la prueba LSD de Fisher de la blancura .....	40
<b>Ilustración 4-5:</b>	Gráficas de residuos para Blancura .....	40
<b>Ilustración 4-6:</b>	Interacción de la concentración del blanqueador con la variedad de cacao para el espesor .....	41
<b>Ilustración 4-7:</b>	Gráfico de la prueba LSD de Fisher del espesor .....	42
<b>Ilustración 4-8:</b>	Gráficas de residuos para Espesor.....	43
<b>Ilustración 4-9:</b>	Interacción de la concentración del blanqueador con la variedad de cacao para la Resistencia a la tensión.....	44
<b>Ilustración 4-10:</b>	Gráfico de la prueba LSD de Fisher de la resistencia a la tensión .....	45
<b>Ilustración 4-11:</b>	Gráficas de residuos para Resistencia a la tensión .....	46

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** ESQUEMA DEL EQUIPO PARA LA ELABORACIÓN DEL PAPEL KRAFT
- ANEXO B:** FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS Y ACCESORIOS
- ANEXO C:** REACCIÓN QUE OCURRE EN LA ELABORACIÓN DE PAPEL KRAFT
- ANEXO D:** ELABORACIÓN DE PAPEL KRAFT BLANCO
- ANEXO E:** CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA
- ANEXO F:** OBTENCIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR
- ANEXO G:** PAPEL ELABORADO POR TRATAMIENTOS
- ANEXO H:** MEDICIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

## RESUMEN

En respuesta a la creciente conciencia ambiental y la intensificación de regulaciones sobre el uso de productos químicos tóxicos, la industria papelera se encuentra bajo una presión constante para explorar alternativas más sostenibles y seguras en el proceso de blanqueamiento; por lo tanto, se planteó el objetivo de evaluar las propiedades físicas y mecánicas del papel Kraft sujeto a un proceso de blanqueo con peróxido de hidrógeno y elaborado a partir de la biomasa lignocelulósica de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.). Para esto, se planteó una metodología cuantitativa, exploratoria y experimental; donde, en primera instancia se caracterizó la biomasa lignocelulósica de la cascarilla de cacao de las variedades Nacional, CCN 51 y Súper Árbol mediante técnicas química extractivas, luego, se elaboró el papel Kraft con cuatro concentraciones de blanqueador (0, 30, 40 y 50 por ciento) más un aditivo consistente en bagazo de caña de azúcar; finalmente, se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas del papel blanqueado midiendo el índice de blancura, su espesor y resistencia a la tensión. La cascarilla de cacao tuvo un 42,33 por ciento de lignina y 24.82 por ciento de celulosa en promedio, siendo la variedad Nacional la que tuvo mayor porcentaje de celulosa (28.57 por ciento), la adición de bagazo de caña mejoró el contenido de celulosa lo que permitió mayor estabilidad al papel, visualmente, la concentración de 50 por ciento de peróxido de hidrógeno permitió una tonalidad más clara. Se concluyó que el papel elaborado tuvo altos niveles de blancura, especialmente de las variedades Nacional y CCN-51, pero la baja resistencia a la tensión no permite usarlo como papel bond común, por lo que se recomienda mejorar la técnica de prensado para mejorar las propiedades mecánicas del papel.

**Palabras clave:** <CACAO (*Theobroma cacao*)>, <PAPEL KRAFT>, <BLANQUEAMIENTO DE PAPEL>, <PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)>, <RESISTENCIA A LA TENSIÓN>.

Cristian Tenelanda S.

Ing. Cristian Sebastian Tenelanda S.

0604686709



0893-DBRA-UPT-2024

## ABSTRACT

In response to the growing environmental awareness and regulations intensification on the use of toxic chemicals, the paper industry is under continual pressure to explore more sustainable and safer alternatives in the bleaching process; therefore, the outcome was to estimate the physical and mechanical properties of Kraft paper subjected to a bleaching process with hydrogen peroxide and made from the lignocellulosic biomass of cocoa husk (*Theobroma cacao L.*). For this purpose, a quantitative, exploratory, and experimental methodology was proposed; where, in the first instance, the lignocellulosic biomass of cocoa husk of the Nacional, CCN 51, and Súper Árbol varieties was characterized using chemical extractive techniques, then, the Kraft paper was made with four concentrations of bleach (0, 30, 40 and 50 percent) plus an additive consisting of sugarcane bagasse; Finally, the physical and mechanical properties of the bleached paper were evaluated by measuring the whiteness index, thickness and tensile strength. Cocoa husk had 42.33 percent lignin and 24.82 percent cellulose on average, with the Nacional variety having the highest percentage (28.57 percent). The addition of cane bagasse improved the cellulose content, which allowed for greater paper stability; visually, 50 percent hydrogen peroxide concentration allowed for a lighter shade. It was concluded that the paper produced had high whiteness levels, especially of the Nacional and CCN-51 varieties, however, the low tensile strength does not allow it to be used as common bond paper, recommending improving the pressing technique to improve the mechanical properties of the paper.

**Keywords:** <CACAO (*Theobroma cacao*)>, <KRAFT PAPER>, <PAPER WHITENING>, <HYDROGEN PEROXIDE (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)>, <STRESS STRENGTH>.



Reviewed by

Lic. Licett Ramos I., Mgs.

ENGLISH PROFESSOR

C.I 060306696

## INTRODUCCIÓN

En el panorama global de la industria papelera, la demanda de papel Kraft blanqueado ha experimentado un crecimiento significativo, impulsado por su aplicación en la fabricación de productos de alta calidad que requieren características claves como blancura, dureza y resistencia al amarillamiento (Tamayoocia, 2018, párr. 13). A nivel mundial, el papel Kraft blanqueado ocupó el puesto 1422 en productos más comercializados en 2021, generando un volumen de negocios total de \$2,03 millones, además, las exportaciones de este papel registraron un aumento del 13,5 % entre 2020 y 2021, representando el 0,0097 % del comercio mundial, lo que ha ocasionado que se busquen nuevas materias primas para su elaboración (OECtoday, 2021, párr. 1).

Dentro de estos nuevos materiales para la elaboración de papel Kraft, el cacao (*Theobroma cacao L.*) se perfila como una posible fuente de materia prima debido a la generación de residuos altos en celulosa durante la extracción de granos de cacao. Según la Organización Internacional del Cacao (ICCO), a nivel mundial la producción de cacao *prime* proviene principalmente de países de Latinoamérica como Bolivia, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Perú y México, logrando entre el 70 y 100 % de exportaciones, lo que conlleva también una gran generación de residuos (Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe [CAF], 2017, párr. 1).

Ecuador, como líder indiscutible en la exportación mundial de cacao fino de aroma, ha contribuido significativamente a este escenario, por ejemplo, en los primeros ocho meses de 2023, las exportaciones de cacao ecuatoriano superaron las 240 124 toneladas, generando ingresos por más de \$741 millones, con proyecciones de cerrar el año en 420 000 toneladas y más de \$1 096 millones en ingresos (Ecuador en Vivo, 2023, párr. 1; El Universo, 2023, párr. 1). En las provincias de Orellana y Sucumbíos se estima que en los últimos años la superficie sembrada se ha incrementado aproximadamente en 20 000 ha de cacao tipo Nacional, constituyéndose esta zona, en el transcurso de dos a tres años, en una de las principales proveedoras de cacao para la exportación (Comité Interinstitucional para el Cambio de la Matriz Productiva, 2015, pág. 3).

A pesar de la alta calidad del cacao ecuatoriano y el florecimiento de la industria de chocolates finos, existe el desafío del manejo de residuos como aprovechamiento en economía circular, residuos como la cascarilla de cacao cuya lenta descomposición y alto contenido de lignina plantean preocupaciones fitosanitarias (Herrera et al., 2020, pág. 27). En este contexto, el apareamiento de nuevos productos derivados de residuos orgánicos perfila a la cascarilla como una nueva fuente de materia prima. Entre estos productos se destaca el papel Kraft, conocido por su resistencia y flexibilidad, el cual ha evolucionado en su producción, especialmente en la

búsqueda de métodos de blanqueo respetuosos con el medio ambiente (Milton, 2015, pág. 5). Por consiguiente, la presencia de lignina residual en la pulpa es crucial para garantizar estándares óptimos y su eliminación a través de procesos de blanqueo es esencial para mejorar las características estéticas y la calidad final del papel (Benitez et al., 2019, págs. 29).

Esta investigación se enfoca en analizar las propiedades del papel Kraft obtenido a partir de la cascarilla de cacao utilizando el peróxido de hidrógeno como agente blanqueador, destacando su importancia en la industria papelera y su contribución a la fabricación de productos más versátiles, estéticamente atractivos y respetuosos con el medio ambiente. Además, se proyectarán las futuras perspectivas para continuar optimizando este procedimiento y reducir su huella ambiental.



## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Planteamiento del problema

El proceso de producción de cacao implica la generación anual de toneladas de desechos, entre ellos se encuentra la cascarilla, mejor conocido como epicarpio, de cacao (*Theobroma cacao*), la cual recubre la semilla que es la materia prima para la elaboración del chocolate (Amador et al., 2022, pág. 81). Estos residuos, por su alto contenido de celulosa se perfilan como una fuente de material primario para la elaboración de envoltorios ecológicos como el papel Kraft (Posada et al., 2016, pág. 3).

Dentro de la fabricación del papel Kraft, una fase esencial es el proceso de blanqueamiento, el cual se realiza tradicionalmente con sustancias cloradas, sin embargo, uno de los inconvenientes vinculados al uso de estas sustancias radica en la generación de compuestos organoclorados persistentes (Carrasco, 2008, pág. 6), los cuales son resistentes a la descomposición biológica y poseen la capacidad de acumularse en el entorno, con potenciales repercusiones negativas para los ecosistemas acuáticos y terrestres (Zaragoza et al., 2016, pág. 44). La liberación de dichos compuestos tóxicos en los efluentes industriales puede contribuir significativamente a la contaminación de cuerpos de agua, afectando la vida acuática e ingresando en la cadena trófica a partir de la absorción por parte de especies denominadas productoras, las cuales son el primer eslabón (ejemplo: algas y fitoplancton) (Odriozola, 1997, pág. 5; Rhoton, 2023, párr. 2).

En la industria papelera, los compuestos orgánicos clorados (COC) se emplean en el proceso de blanqueo de la pulpa. Estos compuestos, se acumulan en el medio ambiente convirtiéndose en contaminantes orgánicos persistentes (COP). Tanto los bifenilos policlorados (PCB) como los pesticidas clorados, ejemplos de COC, se han detectado en tejidos de animales y personas a nivel mundial. Su capacidad de almacenamiento en el tejido adiposo les permite persistir en la cadena alimentaria, con concentraciones elevadas en las especies depredadoras. (Zaragoza et al., 2016, pág. 49).

Sin embargo, investigaciones llevadas a cabo en Canadá y Estados Unidos han revelado una disminución en las últimas décadas, desde mediados de los años 70, de los niveles de PCB y DDT (diclorodifeniltricloroetano) en los tejidos de peces de agua dulce y en los huevos de gaviota (Zaragoza et al., 2016, pág. 49).

Los productos químicos que se utilizan con frecuencia para blanquear el papel en Ecuador incluyen: surfactantes, como el dióxido de cloro el cual es el blanqueador de papel más utilizado para papel reciclado. También, el benceno, el tolueno, el xileno y el etilbenceno se utilizan durante el reciclado de papel para eliminar la tinta y los adhesivos. Otro agente blanqueador es el oxígeno, además del peróxido de hidrógeno. Se puede mencionar al hidrosulfito de sodio también, el cual produce compuestos organoclorados, pero es más seguro que el cloro (Sohlden, 2018, párr. 2-4).

En respuesta a la creciente conciencia ambiental y la intensificación de regulaciones sobre el uso de productos químicos tóxicos, la industria papelera se encuentra bajo una presión constante para explorar alternativas más sostenibles y seguras en el proceso de blanqueamiento. En este contexto, han surgido tecnologías de blanqueamiento libres de cloro, como el blanqueo con peróxido de hidrógeno y las secuencias de blanqueo ECF (*Elemental Chlorine Free*) y TCF (*Totally Chlorine Free*), con el objetivo de minimizar o eliminar completamente la utilización de sustancias cloradas en la producción de papel (Fuentes y Uribe, 2019, pág. 10). El certificado ECF indica que las fibras utilizadas en la fabricación del papel han sido blanqueadas con dióxido de cloro. Por otro lado, TCF indica que las fibras utilizadas en el papel han sido blanqueadas con compuestos que no contienen cloro (DigitalPapel, 2018, párr. 3).

Ante la busca de innovación en métodos de blanqueo y la utilización de nuevas materias primas la cascarilla de cacao se presenta como una fuente potencialmente valiosa de biomasa lignocelulósica y su aplicación en la producción de papel Kraft mediante procesos de blanqueo con peróxido de hidrógeno podría no solo ofrecer una alternativa sostenible a las fuentes tradicionales de celulosa, sino también aprovechar sus propiedades intrínsecas para mejorar las características finales del papel (Terán, 2019, págs. 9-10).

## **1.2. Objetivos**

### ***1.2.1. Objetivo General***

Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del papel Kraft sujeto a un proceso de blanqueo con peróxido de hidrógeno y elaborado a partir de la biomasa lignocelulósica de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) para desarrollar un método más sostenible y menos contaminante.

### ***1.2.2. Objetivos Específicos***

- Caracterizar la biomasa lignocelulósica de la cascarilla de cacao (Nacional, CCN-51, Súper Árbol) mediante parámetros químicos para su aprovechamiento en la obtención papel Kraft blanco.
- Elaborar papel Kraft a través de un diseño experimental bifactorial entre las variedades de cascarilla de cacao y concentraciones de peróxido de hidrógeno para la determinación de tratamientos óptimos de blanqueo.
- Evaluar la calidad del papel blanqueado a partir de sus propiedades físicas y mecánicas para su utilización en la industria papelera.

### **1.3. Justificación**

Actualmente, existe una brecha de conocimiento en lo que respecta a las propiedades de la cascarilla del cacao, lo que representa un obstáculo significativo para la adopción generalizada de este residuo como materia prima en la industria papelera; por lo tanto, es importante abordar este problema mediante el análisis de sus propiedades para ver su potencial uso en la elaboración de productos como el papel Kraft.

#### ***1.3.1. Justificación técnica***

La cascarilla de cacao es un subproducto agrícola que posee un potencial significativo como materia prima para la producción de papel debido a su contenido rico en fibras celulósicas; mientras que, el blanqueo con peróxido de hidrógeno es una técnica comúnmente empleada en la industria papelera para mejorar la blancura de la pulpa, pero su aplicación específica a la cascarilla de cacao aún no ha sido exhaustivamente estudiada. Esta investigación busca optimizar los parámetros del proceso de blanqueo, analizando cómo afectan las propiedades físicas y mecánicas del papel Kraft resultante. Estos resultados proporcionarán información crucial para el desarrollo de un proceso eficiente y sostenible de producción de papel utilizando este recurso renovable.

#### ***1.3.2. Justificación científica***

Desde una perspectiva científica, la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del papel Kraft elaborado con biomasa lignocelulósica de la cascarilla de cacao con peróxido de hidrógeno como agente blanqueador, representa una contribución valiosa al conocimiento actual, ya que permitirá una comprensión de la interacción de los componentes, que no solo beneficiará a la

industria papelera, sino que también enriquecerá la literatura científica en el campo de la transformación de biomasa lignocelulósica para aplicaciones industriales.

### ***1.3.3. Justificación económica***

Desde una perspectiva económica, esta investigación tiene el potencial de generar impactos significativos en la viabilidad de la producción de papel Kraft a partir de la cascarilla de cacao, al optimizar el proceso de blanqueo con peróxido de hidrógeno, se espera mejorar la eficiencia del uso de la biomasa, reducir los costos de producción y aumentar la calidad del producto final; además, al utilizar un subproducto agrícola que comúnmente se descarta, se puede establecer un modelo económico más sostenible y respetuoso con el medio ambiente que no solo promoverá la utilización responsable de recursos, sino que también podría abrir nuevas oportunidades de negocio y contribuir al desarrollo económico de las asociaciones cacaoteras de la Amazonía ecuatoriana a través de la diversificación de las fuentes de materias primas en la industria papelera.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Papel Kraft

##### 2.1.1. Definición y características del papel Kraft

El papel Kraft (termino de origen alemán que se traduce como “resistencia”) se distingue por su resistencia y flexible debido a su método de producción especial; además, la calidad de las fibras empleadas, mayormente derivado de pulpa de madera, típicamente de madera virgen, se obtiene mediante un proceso de blanqueo menos riguroso en comparación con otros papeles (Benitez et al., 2019, págs. 29). Este papel presenta las siguientes características:

- **Biodegradabilidad y reciclaje sencillo:** El papel Kraft se descompone rápidamente, contribuyendo a la disminución de residuos sólidos; además, es un material idóneo para el reciclaje, permitiendo su reutilización en la fabricación de nuevos productos de papel (Trejos y Valencia, 2023, págs. 34-35).
- **Envases sustentables:** Gracias a su resistencia y durabilidad, el papel Kraft se emplea comúnmente en la elaboración de envases, colaborando así en la reducción de desechos plásticos, se presenta como una alternativa sostenible y fácilmente gestionable al final de su vida útil (Trejos y Valencia, 2023, págs. 34-35).
- **Método de producción:** La fabricación del papel Kraft implica la digestión de la pulpa con licor alcalino, conocido como licor de sulfato, este proceso genera un papel inherentemente más fuerte y resistente; además, en comparación con métodos de blanqueo más agresivos, este procedimiento tiende a ser menos perjudicial para el medio ambiente (Trejos y Valencia, 2023, págs. 34-35).
- **Reducción de químicos blanqueadores:** A diferencia de otros tipos de papel que pasan por procesos intensivos de blanqueo, el papel Kraft emplea métodos más suaves, reduciendo así el impacto ambiental asociado con el uso de productos químicos agresivos (Trejos y Valencia, 2023, págs. 34-35).
- **Sostenibilidad en la fuente:** Frecuentemente, el papel Kraft se elabora a partir de madera de árboles de rápido crecimiento, como el pino, cultivados específicamente para la producción de pulpa de celulosa, este enfoque respalda prácticas forestales sostenibles (Trejos y Valencia, 2023, págs. 34-35).
- **Usos ecológicos:** El papel Kraft encuentra aplicaciones diversas en prácticas ecológicas, como

en la fabricación de bolsas de papel, etiquetas y material de embalaje, este uso se alinea con las tendencias actuales hacia la sostenibilidad y la disminución de plásticos de un solo uso (Trejos y Valencia, 2023, págs. 34-35).

Dado que el papel Kraft puede ser producido a partir de diversas materias primas con diversos objetivos, las especificaciones técnicas pueden diferir entre los productos fabricados por diferentes empresas, estas propiedades físicas y mecánicas se definen mediante pruebas estandarizadas y suelen detallarse en los envases, recipientes o envoltorios. El presente estudio busca la creación de un papel Kraft blanqueado (tipo papel bond) por esta razón se consideran los siguientes detalles relevantes en cuanto a características de un papel bond.

**Tabla 2-1:** Características técnicas del papel bond

Detalle	Descripción	Característica técnica
RESMAS DE PAPEL BOND A4 DE 75 g	Ancho	21 cm
	Largo	29,7 cm
	Blancura	88-100 %
	Color	Blanco
	Gramaje	75 g/m <sup>2</sup>
	Humedad	Desde 3,7 %
	Material	Papel
	Modelo	Papel bond A4 de 75 g
	Peso	Desde 2,20 kg
	Opacidad	≥ a 70 %
	Unidad	Resmilla de 500 hojas

Fuente: Rueda, 2023.

### 2.1.2. Papel Kraft blanqueado

La pulpa Kraft blanqueada al 100 % se emplea para fabricar un papel de alta calidad donde la blancura, dureza y resistencia al amarillamiento son fundamentales (Tamayoocia, 2018, párr. 13). En la industria del papel, se utilizan diversos índices de blancura para evaluar la calidad y el color del producto, estos índices se basan en la reflectancia espectral del papel, que es la cantidad de luz que refleja en diferentes longitudes de onda (Butts, 2021, párr. 9). Los principales índices de blancura utilizados en la industria del papel son:

- **Índice de blancura ISO (ISO 2470: Papel, cartón y pastas. Medición del factor de reflectancia difusa en el azul):** Es el índice más utilizado a nivel internacional. Se calcula a partir de la reflectancia del papel en tres longitudes de onda: 457 nm, 570 nm y 680 nm.
- **Índice de blancura TAPPI (TAPPI T452: Brillantez de pulpa, papel y papel recubierto**

**(reflectancia direccional a 457 nm)):** Es similar al índice ISO, pero se calcula a partir de la reflectancia del papel en dos longitudes de onda: 457 nm y 700 nm.

- **Índice de blancura Elrepho (Elrepho):** Se utiliza principalmente en Europa. Se calcula a partir de la reflectancia del papel en 40 longitudes de onda diferentes.
- **Índice de blancura D65 (D65):** Se basa en el iluminante D65, que simula la luz natural diurna (Sappi North America, 2017, págs. 1-7).

## 2.2. Cacao (*Theobroma cacao*)

### 2.2.1. Descripción

El cacao, conocido científicamente como *Theobroma cacao*, es un árbol perennifolio perteneciente a la familia Malvaceae. Originario de las regiones tropicales de América Central y América del Sur, el cacao ha tenido un impacto notable tanto en la economía como en la cultura. Esto se debe principalmente a su función crucial en la producción de granos de cacao, los cuales son la materia prima fundamental en la elaboración del chocolate (Ricaño et al., 2019, pág. 383).

### 2.2.2. Clasificación taxonómica

De acuerdo con la información proporcionada por el portal web del Jardín Botánico de Missouri, Tropicos (2023), el cacao está categorizado taxonómicamente de la siguiente manera.:

**Tabla 2-2:** Clasificación taxonómica del cacao

Clasificación Taxonómica	
<b>Clase</b>	Equisetopsida
<b>Subclase</b>	Magnoliidae
<b>Superorden</b>	Rosanae
<b>Orden</b>	Malvales
<b>Familia</b>	Malvaceae
<b>Género</b>	<i>Theobroma</i> (párr. 2)

**Fuente:** Tropicos, 2023.

**Realizado por:** Cevallos, Angie, 2024.

### 2.2.3. Características generales

En cuanto a la altura, el árbol de cacao puede llegar a medir entre 5 y 8 metros, aunque en algunos casos su crecimiento puede superar estas dimensiones. Sus hojas, de gran tamaño, son coriáceas y tienen una forma elíptica; además, presentan un vibrante color verde y se distribuyen de manera

alternativa a lo largo de las ramas. Las flores, de pequeño tamaño y tonalidades blanco o rosado, surgen directamente en el tronco y las ramas principales, agrupándose en inflorescencias conocidas como “cabos” o “mazorcas” (Amador et al., 2022, pág. 81).

El fruto, denominado “mazorca” o “pseudofruto”, se manifiesta como una cápsula grande y alargada que alberga las semillas de cacao envueltas en una pulpa carnosa y dulce. Las raíces, por su parte, son fibrosas y extensas, desempeñando un papel crucial en la estabilidad del árbol en suelos tropicales (Amador et al., 2022, pág. 81).

#### **2.2.4. Variedades de cacao**

##### **2.2.4.1. Cacao Nacional**

Según un estudio realizado en Naranjal, los árboles tienen una altura promedio de 7,27 metros. Sus frutos tienen un peso medio de 588,06 g, un ápice entre agudo y obtuso, una textura rugosa y un largo de 17,04 cm y un ancho de 8,55 cm. Sus semillas eran de 30,86 semillas por fruto y un peso de 107,24 gramos por fruto (Amador et al., 2022, págs. 82-88).

Posee el sabor y el aroma únicos del cacao criollo, que es muy apreciado en las industrias de todo el mundo. El cacao ecuatoriano se conoce tradicionalmente como Cacao Arriba debido a que se cultivaba en la parte superior del río Guayas (río arriba), y se convirtió en una denominación que se convirtió en sinónimo de buen sabor y aroma floral de jazmín, rosas y lilas (Amador et al., 2022, págs. 82-88).



**Ilustración 2-1:** Cacao variedad Nacional

**Fuente:** Pecot y Agudo, 2017.



#### 2.2.4.2. *Cacao CCN-51*

El cacao CCN-51 (Colección Castro Naranjal 51) se destaca por varias características distintivas en sus flores, frutos, semillas, hojas, resistencia a enfermedades y calidad. Sus flores presentan una pigmentación de estambres de color blanco, mientras que los frutos tienen una forma oblonga con lomos pareados y rugosos. El color de los frutos varía de púrpura en estado inmaduro a rojo-naranja cuando maduran, con un promedio de 16 mazorcas por índice (Quiroz et al., 2021, pág. 59).

Las semillas de CCN-51 son de forma elíptica, grandes y de color púrpura claro, con un índice de 1,5 g. Las hojas muestran un color de brotes tiernos de tono rojo claro. En términos de resistencia a enfermedades, esta variedad es moderadamente susceptible a la escoba de bruja y a la monilla. En cuanto a la calidad, el cacao CCN-51 se caracteriza por un sabor frutal bajo, ausencia de aroma y un contenido de grasa del 54,00% (Quiroz et al., 2021, pág. 59).



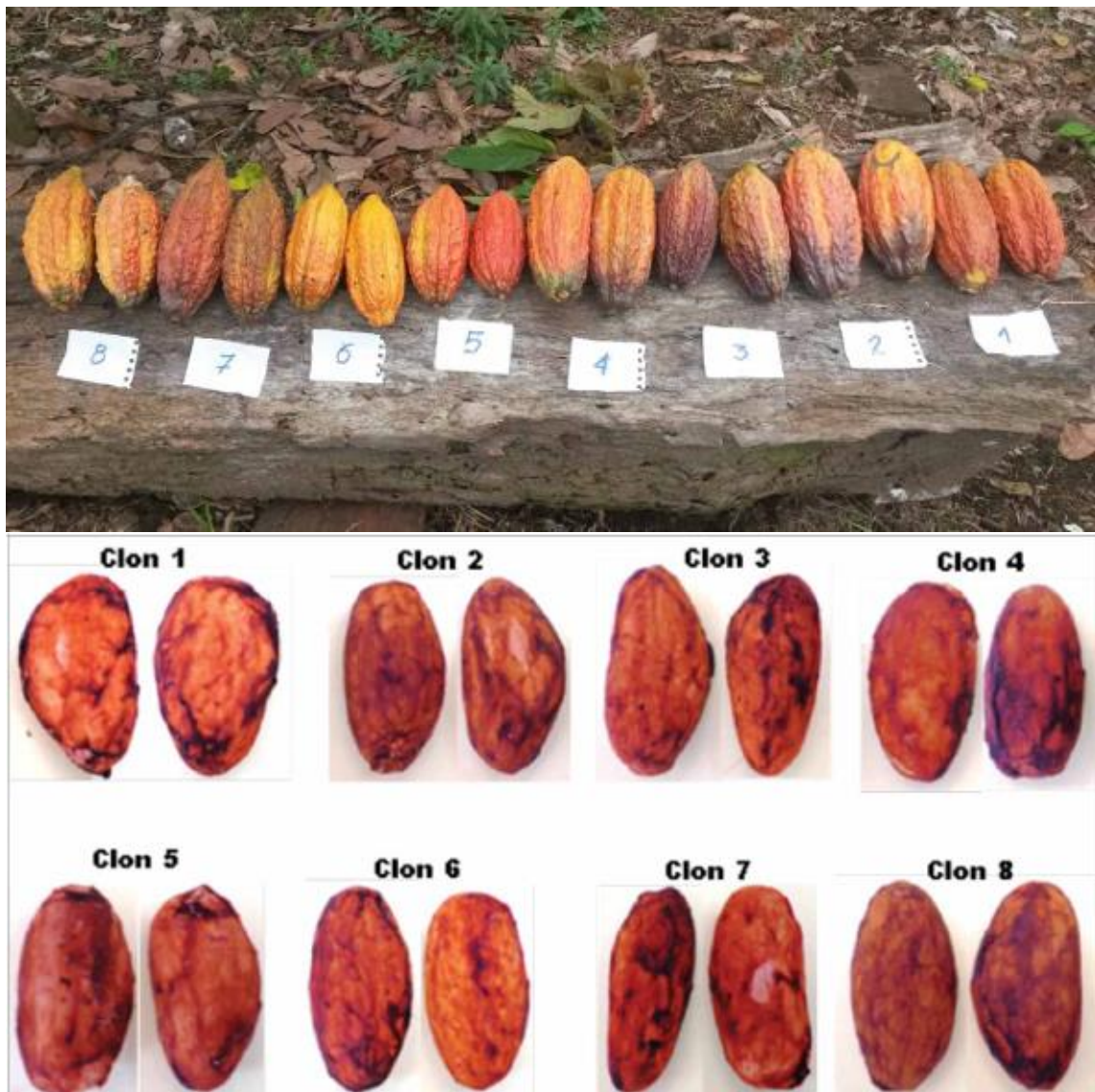
**Ilustración 2-2:** Cacao variedad CCN-51

Fuente: Quiroz, 2021.

#### 2.2.4.3. *Cacao Súper Árbol*

El cacao Súper Árbol, descubierto en la Amazonía Norte del Ecuador por Edwin Sánchez de la Joya de los Sachas, se destaca por su notable resistencia a enfermedades, alto rendimiento y excelente calidad. Esta variedad es clasificada como cacao trinitario y ha sido seleccionada meticulosamente a través de un riguroso proceso de calificación de plantas madre presentes en las plantaciones tradicionales de cacao Tipo Nacional x Trinitario en la región amazónica (Calva y Ramírez, 2016, pág. 5).

El Cacao Súper Árbol es conocido por su frondosidad y su altura que oscila entre 4 y 8 m, con un tronco que crece verticalmente y una copa redondeada de 2 a 4 m de ancho, cuya forma varía según el tipo de clon y las podas de formación. Algunos clones, como el 2, 6, 7 y 8, exhiben una arquitectura adecuada, mientras que otros, como los clones 1, 3 y 4, poseen ramas abiertas que tienden a caerse, aunque esto puede corregirse con las podas apropiadas (Calva y Ramírez, 2016, pág. 5).



**Ilustración 2-3:** Cacao variedad Súper Árbol

Fuente: Calva y Ramírez, 2016.

### 2.3. Blanqueador

#### 2.3.1. Definición industrial

El término “blanqueador industrial” se refiere a sustancias químicas utilizadas en diversos procesos industriales para eliminar el color, las impurezas y las manchas de diferentes materiales. Los blanqueadores son comúnmente empleados en sectores como el textil, papel, alimentos y tratamiento de aguas; su función principal es la de alterar la estructura de los pigmentos y compuestos orgánicos que causan una coloración no deseada, logrando así un producto final más claro o blanco (Marcano, 2018, pág. 105).

Es crucial destacar que el uso de blanqueadores industriales puede tener implicaciones ambientales, ya que algunos de ellos pueden generar subproductos tóxicos o contribuir a la contaminación si no se gestionan adecuadamente. Por ende, es esencial aplicar prácticas sostenibles y tecnologías limpias en la selección y aplicación de blanqueadores industriales, buscando minimizar su impacto ambiental y garantizando la seguridad tanto para los trabajadores como para los ecosistemas circundantes (van Hoof et al., 2008, pág. 5).

### ***2.3.2. Blanqueador de papel***

Los blanqueadores de papel son sustancias químicas utilizadas en el proceso de fabricación de papel para conferirle un color más claro y mejorar su apariencia estética. La industria del papel ha empleado tradicionalmente blanqueadores a base de cloro, como el cloro elemental o el hipoclorito de sodio, para lograr el blanqueamiento del papel; sin embargo, estos compuestos clorados generan subproductos tóxicos, como dioxinas y cloratos, que representan riesgos medioambientales significativos (Muñoz, 2018, pág. 519).

En respuesta a estas preocupaciones, se ha producido un cambio hacia métodos de blanqueo más sostenibles, como el blanqueo sin cloro elemental. En este contexto, el peróxido de hidrógeno y el dióxido de cloro son alternativas más amigables con el medio ambiente, ya que generan menos subproductos tóxicos.

Además, la industria del papel está explorando opciones de blanqueo libre de cloro, como el blanqueo con oxígeno y la utilización de agentes de blanqueo basados en enzimas; siendo así que, la adopción de prácticas de blanqueo más ecológicas no solo minimiza los impactos ambientales negativos, sino que también contribuye a la mejora general de la sostenibilidad en la industria papelera. Es esencial que las empresas del sector y los consumidores respalden estas prácticas respetuosas con el medio ambiente para promover un ciclo de producción de papel más responsable y sostenible (Prado, 2022, pág. 9).

## **2.4. Biomasa lignocelulósica**

Se ha considerado que la biomasa lignocelulósica es una de las alternativas más prometedoras como plataforma alternativa a los recursos fósiles. La fotosíntesis biológica produce CO<sub>2</sub> atmosférico, agua y luz solar, que se utilizan para producir biomasa. Por lo tanto, la evidencia indica que, con una emisión neutra de carbono, es la única fuente sostenible de carbono orgánico en la Tierra y es el equivalente ideal al petróleo (Yacuzzi et al., 2019, págs. 1-2).

La celulosa, un polímero lineal compuesto por unidades de anhidroglucopiranosas, junto con las hemicelulosas y la lignina, conforman los principales componentes químicos de la biomasa lignocelulósica. La hemicelulosa es un polímero ramificado que contiene más de un tipo de azúcar y es de menor tamaño que la celulosa, también son polisacáridos amorfos. Unidades de fenilpropano componen la lignina, un polímero complejo reticulado tridimensional (Martín, 2019, pág. 9). La reactividad química de la biomasa lignocelulósica está directamente influenciada por las diferencias químicas entre estos componentes, por lo que es cada vez más importante predecir la eficiencia de un proceso de conversión de biomasa, lo que facilitará la comercialización de la biomasa como biocombustible o productos de mayor valor agregado (Yacuzzi et al., 2019, págs. 1-2).

### ***2.4.1. Lignina y celulosa en la elaboración de papel***

Durante la fabricación de papel, la lignina actúa como un aglutinante natural que une las fibras de celulosa, además, ayuda al papel a ser más resistente y duradero. Mientras que, el principal componente estructural de las fibras de papel es la celulosa y le da al papel flexibilidad y resistencia, lo que lo hace esencial para su uso en una amplia gama de aplicaciones Małachowska et al., 2020, págs. 1-9).

Grandes cantidades de lignina hace que el papel sea demasiado rígido y más susceptible a roturas, también puede ocasionar que con el tiempo cambie la tonalidad del color a uno más oscuro, por lo que la biomasa lignocelulósica debe tener un mayor contenido de celulosa que lignina para generar papel de mayor calidad (Małachowska et al., 2020, págs. 1-9).

## **2.5. Pruebas físico-mecánicas del papel**

### ***2.5.1. Blancura***

La prueba de blancura mide la cantidad de luz reflejada por el papel. Esta prueba se puede realizar utilizando el índice de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) o la norma ASTM-E 313: Índice de amarillez, aunque el índice CIE proporciona una medida más precisa que esta norma (Limpe, 2018, pág. 42).

La blancura es esencial no solo desde una perspectiva estética, sino también en términos de eficiencia energética, ya que un papel más blanco puede contribuir a la mejora de la visibilidad y legibilidad de la impresión, reduciendo la necesidad de utilizar más tinta o de imprimir documentos nuevamente. Además, al optimizar la blancura del papel, se puede lograr una mayor eficiencia en el uso de recursos y minimizar el impacto ambiental asociado con la producción y el consumo de papel (Limpe, 2018, pág. 42).

### ***2.5.2. Espesor***

La evaluación del grosor del papel mediante la prueba de espesor, conforme a la norma NTE INEN 1399: Papeles y cartones. Determinación del espesor, adquiere relevancia en términos de gestión de recursos y eficiencia en el proceso de fabricación. Conocer con precisión el espesor del papel permite optimizar su uso en aplicaciones específicas, evitando el desperdicio y garantizando un consumo responsable de recursos forestales (NTE INEN 1399).

Además, al seguir la norma que establece la medición en un punto específico de la hoja, se promueve la consistencia en la calidad del papel y se minimiza el impacto ambiental relacionado con la variabilidad en las propiedades físicas del material (NTE INEN 1399).

### ***2.5.3. Resistencia a la tensión***

La evaluación de la resistencia a la tensión, medida de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 1924-2: Papel y cartón. Determinación de las propiedades de tracción, es crucial para comprender la fuerza necesaria para rasgar el papel. Este aspecto es fundamental en relación con la durabilidad y la vida útil del material (UNE-EN ISO 1924-2).

Comprender cómo el papel resiste tensiones y cizallamientos es esencial para seleccionar el tipo de papel adecuado para diversas aplicaciones, desde embalajes hasta documentos de larga duración. Esta comprensión no solo optimiza el uso de recursos, sino que también puede reducir la cantidad de residuos generados a lo largo del ciclo de vida del papel, promoviendo así prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente (UNE-EN ISO 1924-2).



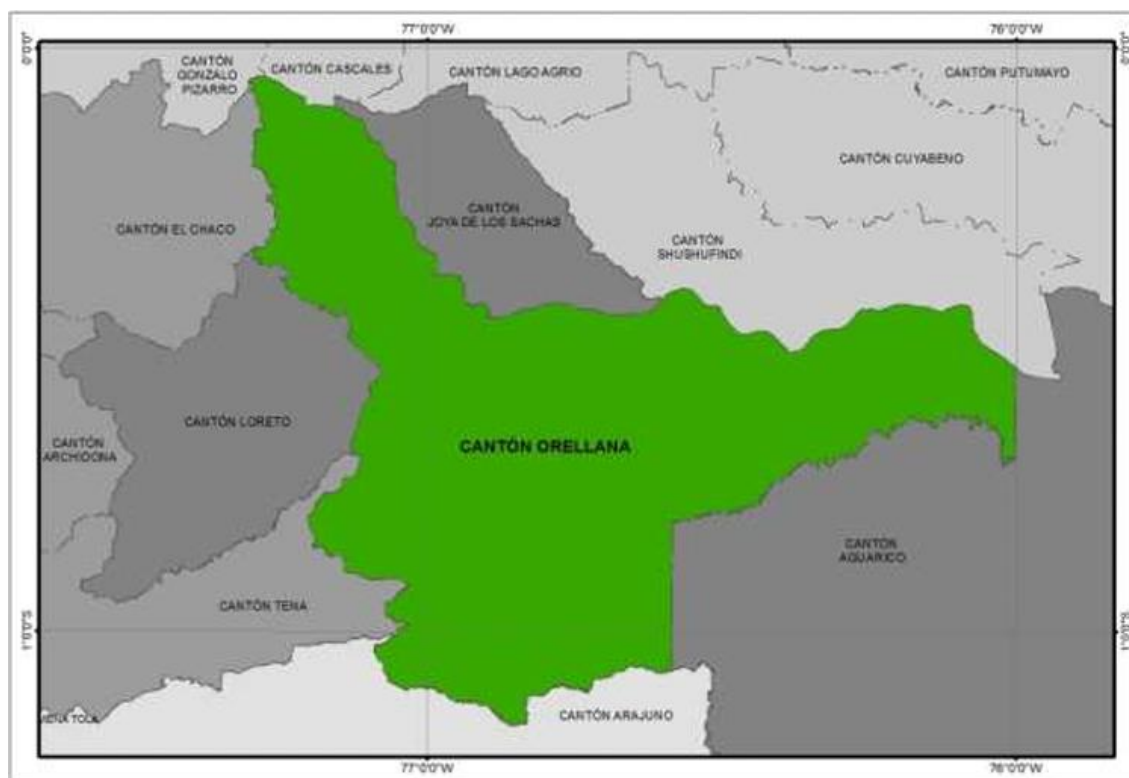
## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Localización del estudio

El estudio se llevó a cabo en el cantón Francisco de Orellana perteneciente a la Provincia de Orellana, cuyas coordenadas son: -0,4625, -76,984167. Situado al noroeste de la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE), este territorio forma parte de la Zona de Planificación 2 compuesta por las provincias de Pichincha, Napo y Orellana. El territorio cantonal abarca 7047 km<sup>2</sup> (704 755 ha), con altitudes que van desde 100 hasta 720 m.s.n.m. (GADM Francisco de Orellana, 2023, págs. 28-29).

Al norte se encuentran los cantones La Joya de los Sachas (Provincia de Orellana), Cascales y Shushufindi (Provincia de Sucumbíos), mientras que al sur se encuentran los cantones Arajuno (Provincia de Pastaza) y Tena (Provincia de Napo). Al este se encuentra el cantón Aguarico (Provincia de Orellana), al oeste se encuentra el cantón Loreto (Provincia de Orellana) y Tena (Provincia de Napo) (GADM Francisco de Orellana, 2023, págs. 28-29).



**Ilustración 3-1:** Ubicación del cantón Francisco de Orellana

Fuente: GADM Francisco de Orellana, 2023.

### **3.1.1. Condiciones climáticas**

El cantón tiene un clima principalmente tropical cálido y húmedo. La temperatura promedio anual es de 26 grados centígrados. En las zonas bajas, hay un promedio anual de 3000 mm de precipitación. Además, su humedad relativa es de 80,5% (GADM Francisco de Orellana, 2023, págs. 106-107).

### **3.1.2. Ecosistemas**

De acuerdo a información obtenida del Ministerio del Ambiente (MAE, 2012; citado en GADM Francisco de Orellana, 2023, pág. 133) en su documento “Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental”, el cantón tiene los siguientes ecosistemas dentro de su superficie:

- Bosque inundable de la llanura aluvial de los ríos de origen.
- Bosque inundable de la llanura aluvial de los ríos de origen andino y de Cordilleras Amazónicas.
- Bosque inundable y vegetación lacustre - riparia de aguas negras de la Amazonía.
- Bosque inundado de la llanura aluvial de la Amazonía.
- Bosque inundado de palmas de la llanura aluvial de la Amazonía.
- Bosque siempreverde de tierras bajas con bambú de la Amazonía.
- Bosque siempreverde de tierras bajas del Aguarico-Putumayo-Caquetá.
- Bosque siempreverde de tierras bajas del Napo – Curaray.
- Bosque siempreverde piemontano del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes.
- Herbazal inundado lacustre - ripario de la llanura aluvial de la Amazonía (MAE, 2012; citado en GADM Francisco de Orellana, 2023, pág. 133).

### **3.2. Tipo de Investigación**

El presente proyecto se categoriza como una investigación cuantitativa, exploratoria y experimental. La naturaleza cuantitativa se evidencia en la búsqueda de datos estadísticos para analizar y comprender los tratamientos óptimos de blanqueo. Se considera exploratoria debido a la escasez de información en Ecuador sobre el blanqueo de papel con peróxido de hidrógeno. Además, se clasifica como experimental por la manipulación de variables llevada a cabo durante el proceso de blanqueo del papel Kraft.



### **3.2.1. Planteamiento de la hipótesis**

#### *3.2.1.1. Hipótesis nula*

El peróxido de hidrógeno como agente de blanqueo no incide en la calidad de las propiedades físicas y mecánicas del papel Kraft.

#### *3.2.1.2. Hipótesis alterna*

El peróxido de hidrógeno como agente de blanqueo incide en la calidad de las propiedades físicas y mecánicas del papel Kraft.

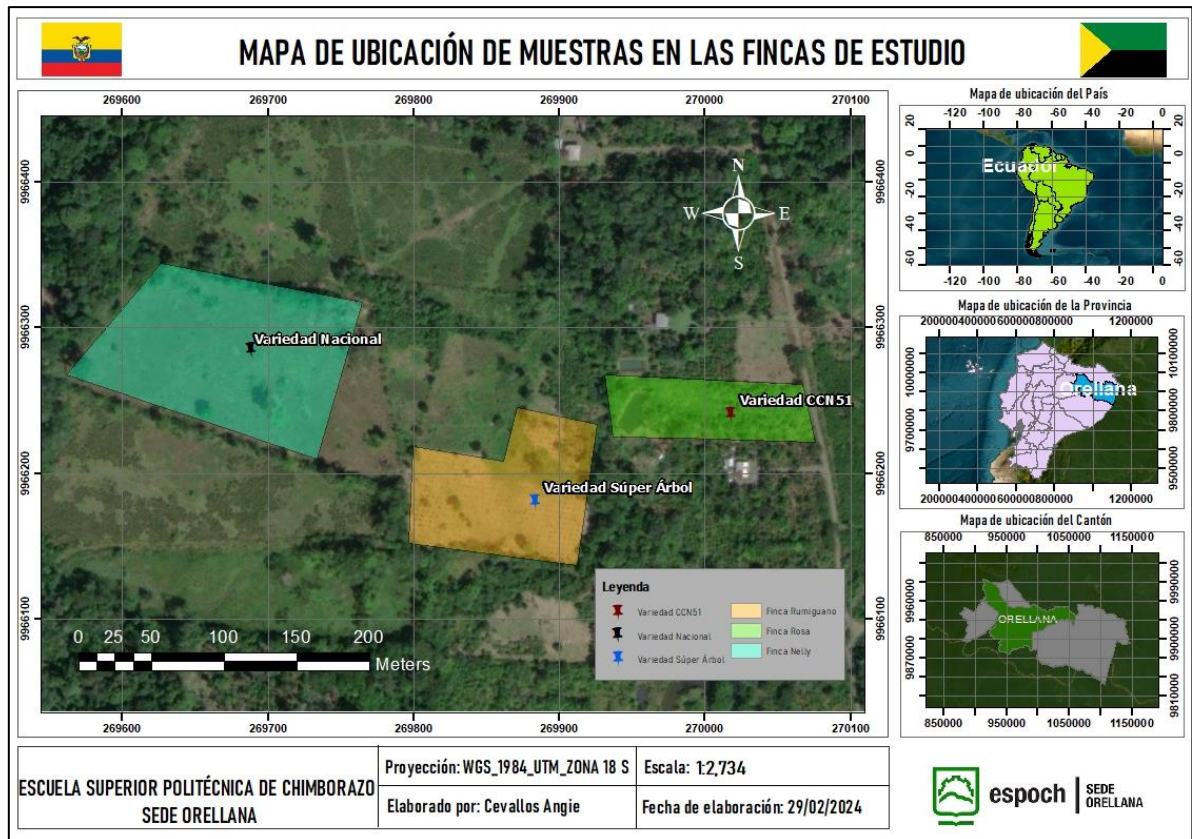
### **3.2.2. Métodos**

#### *3.2.2.1. Caracterización de la biomasa lignocelulósica de la cascarilla de cacao para su aprovechamiento en la obtención papel Kraft blanco*

#### **Muestreo de materia prima**

Las muestras de cascarilla de cacao se recolectaron en tres fincas ubicadas del cantón Francisco de Orellana (Ilustración 3-1). En cada una de estas fincas, se recolectó una muestra de tres kg de cascarilla de cacao, en conjunto se obtuvieron un total de tres muestras. Estas fincas pertenecen a la Asociación ASOPRIABET, la cual se encuentra trabajando con el proyecto de Revalorización de la Cascarilla de Cacao Amazónico mediante la tecnificación de procesos de obtención de papel Kraft para una producción limpia de economía circular sistematizada.

La fase experimental de la caracterización química de la biomasa de la cascarilla de cacao se realizó en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) Estación Experimental Central de la Amazonía, en el laboratorio de Calidad de Alimentos, ubicado en el km 3 de la vía San Carlos. La elaboración del papel Kraft blanco se desarrolló en el Centro de Investigación y Revalorización de Residuos Orgánicos y la determinación de las propiedades físicas y mecánicas se llevó a cabo en el laboratorio de Ciencias Básicas y Especialización de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana Campus Norte, ubicados en el cantón Francisco de Orellana, Vía Sacha km 1 1/2.



**Ilustración 3-2:** Mapa de ubicación de muestras en las fincas en estudio

Realizado por: Cevallos, Angie, 2024

### Caracterización de la biomasa

- **Paso 1:** Preparación de la muestra

Se pesaron 500 g de la muestra y se envolvieron meticulosamente con papel periódico. Posteriormente, se sometió la muestra a un tratamiento térmico controlado, manteniéndola a 65 °C durante 24 horas o hasta alcanzar un peso constante. Al finalizar este proceso, se extrajo la muestra y se trituró con un mortero hasta obtener una homogeneización adecuada. Los fragmentos resultantes se almacenaron en fundas debidamente codificadas para su posterior análisis mediante técnicas especializadas.

- **Paso 2:** Extracción de azúcares solubles y grasas

Para la extracción de azúcares solubles y grasas se utilizaron los siguientes materiales y equipos enlistados en la Tabla 3-1:

**Tabla 3-1:** Listado de materiales usados para la extracción de azúcares solubles y grasas

<b>Clasificación</b>	<b>Lista</b>
Material Volumétrico	Matraz – Erlenmeyer 250 ml Probeta de 1000 ml
Equipos	Centrífuga – Refrigerada Estufa Balanza analítica
Reactivos	Alcohol al 100%
Insumos	Pesas de aluminio Cucharilla o espátula pequeña Agua destilada Tubos Falcon Ligas Cinta Adhesiva Marcador
Instrumentos	Agitador

**Realizado por:** Cevallos, Angie, 2024.

**Procedimiento:** Se pesó un matraz vacío y se añadieron 4 g de la muestra. Posteriormente se agregaron aproximadamente 90 ml de una solución de alcohol etílico al 80% al matraz para disolver la muestra. Para garantizar la estabilidad durante la agitación, el matraz se fijó al agitador con ligas y se agitó durante 1 hora.

El contenido del matraz se transfirió a dos tubos Falcon, asegurando un volumen equitativo en ambos. Los tubos se centrifugaron a 3000 rpm durante 12 minutos a 15°C para separar el sólido del líquido. Se eliminó el alcohol de los tubos Falcon y se agregaron 45 ml de agua destilada para enjuagar la muestra. Se repitió la centrifugación con las mismas condiciones para garantizar la limpieza de la muestra.

Se retiró el líquido de los tubos Falcon y se conservó la parte sólida misma que posteriormente se extrajo con una cucharilla y se colocó en bandejas de aluminio. Las bandejas se introdujeron en una estufa a 65°C durante 12 horas para asegurar el secado completo del sólido. Este proceso meticuloso y controlado garantiza la preparación adecuada de la muestra para su posterior análisis.

- **Paso 3:** Determinación del contenido de lignina

Para la determinación del contenido de lignina se utilizó la metodología de la norma TAPPI T-222 os-74: Ácido insoluble en madera y pulpa. La cual se describe a continuación:

**Tabla 3-2:** Listado de materiales usados para la determinación de lignina

<b>Clasificación</b>	<b>Lista</b>
Material Volumétrico	Vaso de precipitación
Equipos	Balón aforado Baño María Baño María Crisol poroso P2 Balanza analítica
Reactivos	Ácido sulfúrico 72%
Insumos	Agua destilada Muestra de cascarilla libre de extractos
Instrumentos	Dosi-fiber

**Realizado por:** Cevallos, Angie, 2024.

**Preparación de ácido sulfúrico al 72 %:** En un balón aforado se vertieron 665 ml de ácido sulfúrico concentrado de manera gradual sobre 300 ml de agua destilada, seguido de un ajuste con agua destilada hasta llegar a un volumen total de 1000 ml.

**Procedimiento:** Se pesó 1 g de muestra libre de extractos y se colocó en un recipiente. A continuación, se añadieron 15 ml de ácido sulfúrico al 72% mientras se agitaba constantemente. La mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente (26 °C) durante 2 horas, hasta que adquirió un tono oscuro.

Luego, se transfirió la mezcla al equipo Dosi-fiber, junto con 560 ml de agua para obtener una solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 4%. Esta mezcla se llevó a ebullición durante 4 horas mediante un proceso de reflujo. Posteriormente, se separó la muestra por decantación y se lavó el residuo sólido con agua destilada caliente. Finalmente, se secó en una estufa a una temperatura de 105 ± 3 °C hasta alcanzar un peso constante. Todo el procedimiento se repitió por triplicado.

#### **Interpretación de resultados:**

$$\% \text{ Lignina} = \frac{\text{Peso residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre extracto (g)}} * 100 \quad \text{Ec. 01}$$

- **Paso 4:** Determinación de celulosa

Para la determinación de celulosa se utilizó el método de Kurschner y Hoffer (Loja, 2017, págs. 48-50), con los mismos materiales del Paso 3. Para esto se tuvo en consideración lo siguiente:

**Procedimiento:** Inicialmente, se pesó una muestra libre de extractos, equivalente a 1 g, en el crisol poroso P2, y se colocó en el dispositivo Dosi-fiber. A continuación, se añadieron 20 ml de etanol y 5 ml de ácido nítrico concentrado a la muestra. La mezcla se llevó a ebullición durante 30 minutos mediante un sistema de reflujo. Después de este paso, se procedió a filtrar la solución. El residuo sólido resultante se sometió a una segunda digestión utilizando 20 ml de etanol y 5 ml de ácido nítrico concentrado, repitiendo el proceso de ebullición durante 30 minutos con condiciones de reflujo.

Luego, se decantó la solución, y el residuo sólido se sometió a una tercera digestión con 100 ml de agua destilada durante una hora. Posteriormente, se filtró la solución y se realizaron lavados con agua destilada caliente, seguidos por un lavado con 100 ml de una solución saturada de acetato de sodio y, finalmente, con 500 ml adicionales de agua destilada caliente. El siguiente paso implicó secar el residuo en una estufa a una temperatura de  $105 \pm 3$  °C. Una vez completado el proceso de secado, se enfrió el residuo en un desecador y finalmente se pesó con la ayuda de una balanza analítica.

#### **Interpretación de resultados:**

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{\text{Peso residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre extracto (g)}} * 100 \quad \text{Ec. 02}$$

- **Paso 5:** Análisis Estadístico

Para determinar la existencia de diferencias en el porcentaje de celulosa y lignina entre las tres variedades de cacao, se realizó un ANOVA de un factor con el programa Minitab. Se estableció un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0,05$ ) y se formularon las siguientes hipótesis:

H<sub>0</sub>: Las medias del porcentaje de lignina son iguales

H<sub>1</sub>: Las medias del porcentaje de lignina son diferentes

H<sub>0</sub>: Las medias del porcentaje de celulosa son iguales

H<sub>1</sub>: Las medias del porcentaje de celulosa son diferentes

Se establecieron las siguientes reglas para determinar si se rechazaba o no la hipótesis nula:

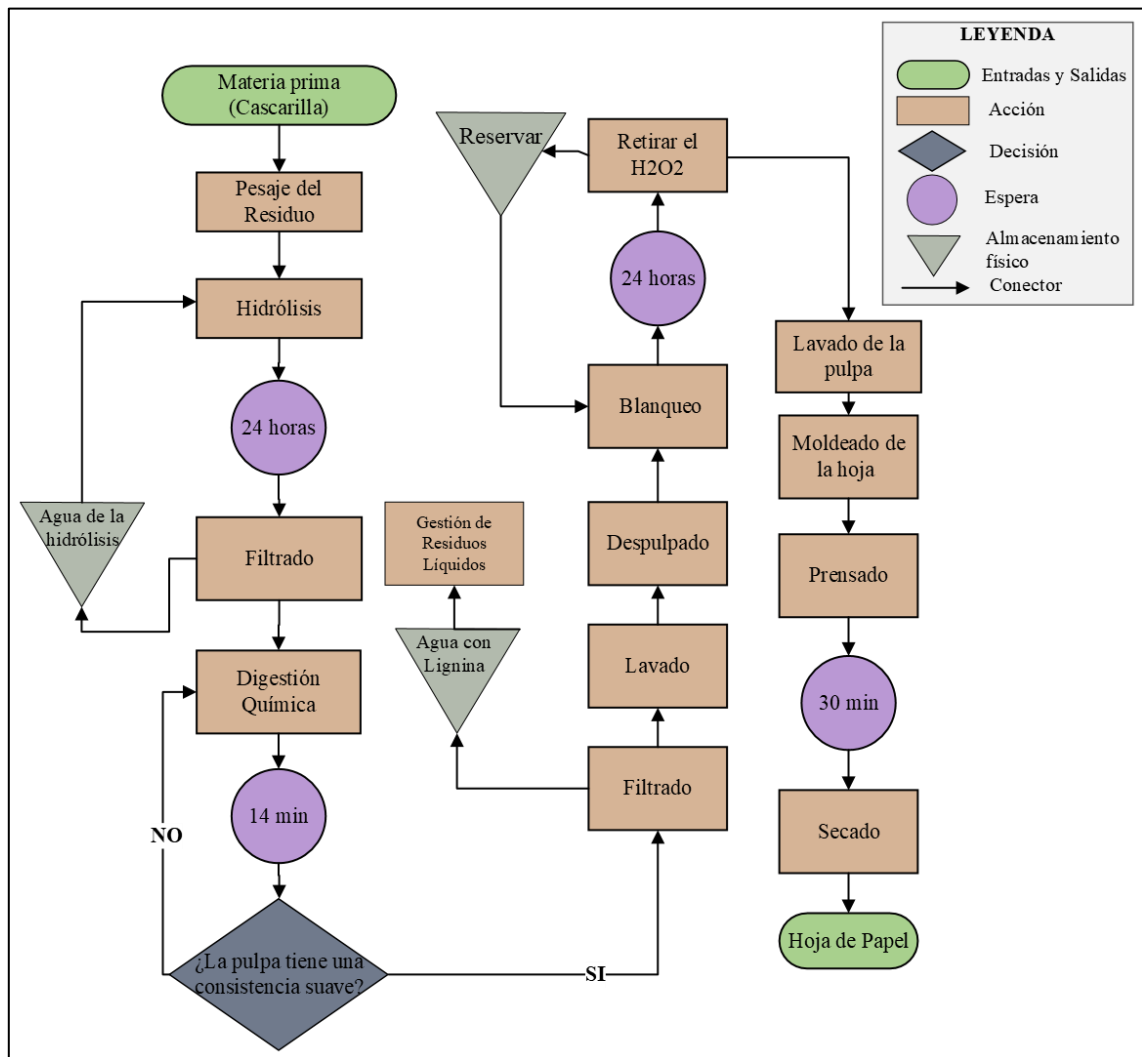
Si el valor  $p < \alpha$ , se rechaza H<sub>0</sub>

Si el valor  $p \geq \alpha$ , no se rechaza H<sub>0</sub>

En caso de que la  $H_0$  sea rechazada, se utilizó la prueba LSD para identificar las medias particulares que presentan diferencias significativas.

3.2.2.2. *Elaboración de papel Kraft a través de un diseño experimental utilizando la cascarilla de diferentes variedades de cacao y con dosis diferentes de peróxido de hidrógeno como agente blanqueador*

El proceso de elaboración de papel Kraft con blanqueamiento tuvo el siguiente procedimiento:



**Ilustración 3-3:** Diagrama de procesos para la obtención de papel Kraft blanco

Realizado por: Cevallos, Angie, 2024.

**1) Preparación de la hidrólisis ácida**

En un vaso de precipitación, se incorporaron 100 g de cascarilla de cacao, seguido por la adición

de 1000 ml de papelox y 7 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 98 %. La mezcla resultante se dejó reposar durante 24 horas, permitiendo así un óptimo rendimiento en el proceso de hidrólisis. La finalidad principal de este procedimiento radicó en la separación de la celulosa de los componentes grasos, azúcares, aceites esenciales y hemicelulosa presentes en el residuo.

## **2) Separación de la hidrólisis**

Transcurridas las 24 horas, se llevó a cabo la separación del agua papelox con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) de la cascarilla de cacao. Para lograrlo, se vertió todo el contenido del vaso de precipitación sobre un tamiz, asegurándose de que el líquido resultante de la hidrólisis se filtre por completo. Es crucial destacar que se debió reservar el agua, ya que esta puede ser reutilizada en futuros procesos de hidrólisis, contribuyendo así a un uso eficiente de los recursos.

## **3) Digestión química**

Se preparó una solución combinando 1000 ml de papelox al 1 % con 50 g de hidróxido de sodio. Tras la obtención de un licor blanco, se vertió sobre la materia prima y, a continuación, se introdujo en el digester anaeróbico durante 14 minutos. Durante este proceso, se logró la separación de la lignina (obteniendo un licor negro) del residuo, dejando únicamente una pulpa de celulosa.

## **4) Lavado de la celulosa**

Después de la digestión, se retiró el contenido y se vertió en un tamiz. A continuación, se procedió a lavar la celulosa obtenida con abundante agua hasta que no se observó presencia de licor negro. Este último se recogió en botellas y se almacenó, ya que requiere un tratamiento específico para la extracción de la lignina presente y descargar el agua al ambiente.

## **5) Despulpado de la materia prima**

Una vez que la biomasa alcanzó una textura suave, se procedió a triturlarla con la ayuda del Pulpeador para obtener celulosa pulverizada.

## **6) Blanqueo**

Se añadieron 100 ml de peróxido de hidrógeno por cada 400 ml de celulosa obtenida, se mezclaron

durante 5 minutos y se dejó reposar durante 24 horas. Transcurrido este período, se procedió a retirar el peróxido, reservarlo y lavar la muestra de celulosa con abundante agua.

En esta etapa se dio cumplimiento a un diseño experimental de tipo bifactorial AxB, donde las variables independientes fueron la variedad del cacao (factor A) y las dosis del blanqueador (factor B).

El factor variedad del cacao presentó tres niveles, a saber: Nacional, CCN-51 y Super árbol. En cambio, el factor dosis del blanqueador presentó cuatro niveles: 0 %, 30 %, 40 % y 50 %. Por lo tanto, se obtuvieron 12 tratamientos que se asignaron de manera aleatoria a las unidades experimentales (biomasa celulósica), tal como se muestra en la Tabla 3-1. Cada tratamiento se realizó por duplicado.

**Tabla 3-3:** Diseño Experimental que se utilizará en el proyecto de investigación

<b>Tratamiento</b>	<b>Factor A</b>	<b>Factor B</b>	<b>Descripción</b>
T1	Nacional	0% blanqueador	T1: Nacional + 0% blanqueador
T2	CCN 51	0% blanqueador	T2: CCN 51 + 0% blanqueador
T3	Súper Árbol	0% blanqueador	T3: Súper Árbol + 0% blanqueador
T4	Nacional	30% blanqueador	T4: Nacional + 30% blanqueador
T5	CCN 51	30% blanqueador	T5: CCN 51 + 30% blanqueador
T6	Súper Árbol	30% blanqueador	T6: Súper Árbol + 30% blanqueador
T7	Nacional	40% blanqueador	T7: Nacional + 40% blanqueador
T8	CCN 51	40% blanqueador	T8: CCN 51 + 40% blanqueador
T9	Súper Árbol	40% blanqueador	T9: Súper Árbol +40% blanqueador
T10	Nacional	50% blanqueador	T10: Nacional + 50% blanqueador
T11	CCN 51	50% blanqueador	T11: CCN 51 + 50% blanqueador
T12	Súper Árbol	50% blanqueador	T12: Súper Árbol + 50% blanqueador

**Realizado por:** Cevallos, Angie, 2024.

## 7) Creación y obtención del papel

Para producir papel, se mezcló la biomasa celulósica con agua. Luego, se recogió la celulosa sobre un tamiz para darle forma al papel, eliminando el exceso de agua con una esponja. Finalmente, se transfirió el contenido del tamiz a piezas de tela.

## 8) Prensado y secado

Las piezas de tela con el contenido de celulosa se dispusieron una sobre otra y se sometieron a un proceso de prensado, donde permanecieron durante 30 minutos. Posteriormente, se retiraron y se



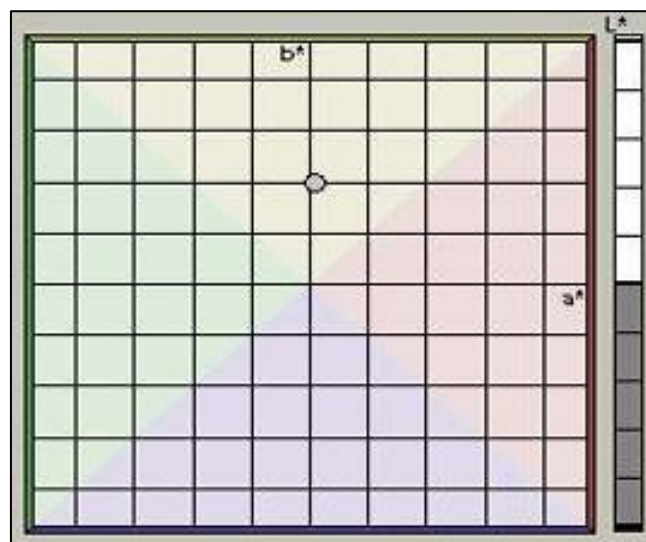
dejaron secar a temperatura ambiente durante un período de 12 horas.

### 3.2.2.3. Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del papel blanqueado para su utilización en la industria papelera

Se eligió la propiedad de blancura, ya que es crucial para su aspecto visual, influye en su capacidad para mostrar con claridad el texto impreso y los gráficos, además, se asocia con calidad, lo que es especialmente importante en aplicaciones que requieren una presentación profesional. También espesor, debido a que confiere una sensación de calidad y sustancia al papel, lo que es valorado en aplicaciones comerciales y de oficina, también, porque influye en la facilidad con la que el papel puede ser manipulado en impresoras, fotocopiadoras y otros equipos de oficina. Y resistencia a la tensión, ya que garantiza que el papel pueda soportar el manejo y la manipulación sin desgarrarse fácilmente, lo que es importante para documentos que deben conservarse durante períodos prolongados, adicionalmente, es crucial para asegurar que el papel pueda soportar la escritura, la impresión y otros procesos sin sufrir daños significativos.

- **Índice de blancura**

El índice de blancura se midió a través de la metodología empleada por Montoya et al. (2012, págs. 415-416), para esto se utilizó un colorímetro “calibrado con un estándar blanco en forma de placa ( $L = 97,79$ ,  $a = -0,53$  y  $b = +2,28$ ), leyendo con un iluminante de tipo C”, luego se tomó la medida de los factores a manera de coordenadas del instrumento, como se ve en la siguiente ilustración:



**Ilustración 3-4:** Factores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del sistema Hunter

Fuente: Montoya, 2012.

Una vez obtenidos los datos de factores L, a y b (coordenadas cromáticas del sistema CIELab) del sistema Hunter, se aplica la fórmula:

$$IW = 100 - \left( \left( \frac{100}{L} \right)^2 + (10b^2) \right)^{1/2} \quad \text{Ec. 03}$$

Como consideración adicional, Montoya et al. (2012, pág. 416) mencionan que “Una superficie blanca ideal debe tener un índice de blancura (IW) igual a 100; cuando la diferencia entre el blanco ideal y el de la superficie que se evalúa se incrementa entonces IW disminuye”, pero, lo reportado por Rueda (2023, pág. 1) dice que se pueden aceptar índices de blancura (o % blancura, como se lo menciona en el documento) del 88-100%, por lo que se tomó este rango como un valor aceptable con los que comparar los resultados obtenidos.

- **Evaluación del espesor**

Con el propósito de realizar la medición del espesor conforme a lo indicado en la normativa INEN 1399, se empleó un micrómetro para registrar la dimensión del espesor de las muestras, las cuales tuvieron dimensiones de 15x10 cm<sup>2</sup>. Luego, se llevó a cabo la documentación de los resultados obtenidos durante el proceso de medición. De acuerdo con Andy (2020, pág. 14), el espesor debe estar expresado en mm y debe tener un valor mínimo de 0,05 y máximo de 0,30 acorde a la norma INEN 1399.

- **Resistencia a la tensión**

Para la medición de este tipo de resistencia se utilizó la norma UNE-EN ISO 1924-2: Papel y cartón. Determinación de las propiedades de tracción., cuyo procedimiento fue el siguiente:

- 1) Preparación del equipo: los elementos necesarios para realizar esta prueba fueron:
  - Tiras de papel de 14 cm x 2 cm
  - Dispositivo de medición de fuerza (dinamómetro 10 N)
  - Prensa de madera
- 2) Colocación de la muestra: Se colocó un extremo de la tira de papel sobre una superficie plana y lisa, y sobre ella se dispuso una pieza de madera de 16 cm de largo y 2 cm de ancho. En uno de sus extremos se fijó una cuerda en bucle mediante una cinta (ANEXO H-Imagen 4)
- 3) Aplicación de la fuerza: Se ejerció una fuerza constante sobre la tira de papel utilizando un dinamómetro.
- 4) Registro de la fuerza: Se registró la fuerza necesaria para tensar y rasgar la tira de papel a lo largo de su longitud.

5) Cálculo de la resistencia a la tensión: Se llevó a cabo el cálculo utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Resistencia a la tensión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Longitud}} \quad \text{Ec. 04}$$

Donde:

Fuerza: Es la fuerza necesaria para rasgar la tira de papel

Longitud: Es la longitud de la tira de papel

La norma UNE-EN ISO 1924-2 establece dos tipos de pruebas de resistencia a la tensión:

- **Tensión:** Se mide la fuerza necesaria para rasgar la tira de papel a lo largo de su longitud.
- **Cizallamiento:** Se mide la fuerza necesaria para rasgar la tira de papel a través de su ancho.

De acuerdo con Guzmán y Játiva (2007, pág. 73), la resistencia a la tensión se relaciona con el gramaje, por lo que los resultados se compararon según la siguiente tabla:

**Tabla 3-4:** Tensión recomendada para papel Bond

Gramaje		Tensión	
lb/resma*	g/m <sup>2</sup>	lb/inch	N/m
15	24	0,50	88
20	33	0,75	131
30	49	1,00	175
40	65	1,50	263
60	98	2,00	350
*1 resma = 500 hojas			

Fuente: Guzmán y Játiva, 2007.

- **Análisis estadístico**

Una vez que se elaboró el papel Kraft por medio del diseño experimental, se midieron las siguientes variables dependientes o de respuesta: blancura, espesor y resistencia a la tensión. A continuación, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores a un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha = 0,05$ ) utilizando el programa Minitab. Las hipótesis que se probaron fueron las siguientes:

H<sub>0</sub>: Efecto factor A (Variedad Cacao) = 0

H<sub>1</sub>: Efecto factor A (Variedad de Cacao)  $\neq$  0

$H_0$ : Efecto factor B (Concentración Blanqueador) = 0

$H_1$ : Efecto factor B (Concentración Blanqueador)  $\neq$  0

$H_0$ : Efecto interacción AxB = 0

$H_1$ : Efecto interacción AxB  $\neq$  0

El criterio utilizado para determinar si se aceptaban o se rechazaban las hipótesis nulas ( $H_0$ ) fue el valor pág.

Si valor  $p <$  nivel de significancia ( $\alpha$ ), se rechaza  $H_0$

Si valor  $p \geq$  nivel de significancia ( $\alpha$ ), no se rechaza  $H_0$

Se utilizó la prueba LSD (Fisher) para identificar las medias particulares que presentan diferencias significativas.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Contenido de lignina y celulosa

Las muestras de cascarilla de cacao se obtuvieron en el cantón Francisco de Orellana, en las fincas Rumiguano, Rosa y Nely, de cada una de estas fincas se tomaron muestras de las variedades Super Árbol, CCN51 y Nacional, respectivamente. Durante el proceso de determinación del contenido de lignina se extrajeron los azúcares solubles y grasas, esto paso se realiza para evitar interferencias durante la determinación de lignina y celulosa posteriores.

Para determinar el porcentaje de lignina se midieron los pesos de las muestras y los crisoles antes y después del procedimiento. La determinación del porcentaje se realizó mediante la Ecuación 1, esto dio como resultado los valores en porcentaje como se muestra en la Tabla 4-1. Cabe mencionar que los valores se tomaron por triplicado para caracterizar la biomasa con mayor confiabilidad al realizarse un promedio de porcentajes de lignina por variedad de cacao. Esto también ayudó al análisis de varianza mencionado en el punto 4.1.1.1.

Así mismo, para determinar el porcentaje de celulosa se midieron los pesos de las muestras y los crisoles antes y después del procedimiento. La determinación del porcentaje se lo hizo mediante la Ecuación 2, esto dio como resultado los valores en porcentaje como se ve en la Tabla 4-2. Los valores se tomaron por triplicado para caracterizar la biomasa con mayor confiabilidad al realizarse un promedio de porcentajes de celulosa por variedad de cacao. Esto también ayudó al análisis de varianza mencionado en el punto 4.1.1.2.

**Tabla 4-1:** Resultados del contenido de Lignina

Muestras				Parámetros								
Cantón	Finca	Tipo de cacao	Código de identificación	Extracción de azúcares solubles y grasas			Lignina Klason					
				Nº muestras	Peso de recipiente (g)	Peso muestra (g)	Nº muestras	Peso muestra (g)	Peso crisol (g)	Peso muestra crisol (g)	Peso de la muestra seca (g)	Lignina (%)
Fco. de Orellana	Finca Rumiguano	Super Árbol	IV23-97	1	114,7249	4,0012	1	1,0026	29,667	30,1003	0,43	43,22
	Finca Rumiguano	Super Árbol	IV23-98	1	112,7373	4,0009	2	1,0026	29,6464	30,0875	0,44	44,00
	Finca Rumiguano	Super Árbol	IV23-99	1	112,7185	4,0007	3	1,0026	29,6464	30,0616	0,42	41,41
	Finca Rosa	CCN51	IV23-100	1	114,7262	4,0001	1	1,0027	29,6445	30,0766	0,43	43,09
	Finca Rosa	CCN51	IV23-101	1	114,7581	4,0019	2	1,0023	28,5346	28,9446	0,41	40,91
	Finca Rosa	CCN51	IV23-102	1	112,261	4,001	3	1,0019	29,4015	29,9166	0,52	51,41
	Finca Nely	Nacional	IV23-81	1	118,6734	4,0003	1	1,0026	29,8076	30,1834	0,38	37,48
	Finca Nely	Nacional	IV23-82	1	115,52	4,0000	2	1,0027	30,1831	30,5893	0,41	40,51
	Finca Nely	Nacional	IV23-83	1	114,2	4,07	3	1,0028	29,4549	29,8452	0,39	38,92

Realizado por: Cevallos, Angie, 2024.

**Tabla 4-2:** Resultados del contenido de Celulosa

Muestras				Parámetros								
Cantones	Fincas	Tipo de cacao	Código de identificación	Extracción de azúcares solubles y grasas			Celulosa					
				Nº muestras	Peso de recipiente (g)	Nº muestra placa	Nº muestras	Peso muestra (g)	Peso crisol (g)	Peso muestra crisol (g)	Peso de la muestra seca (g)	Celulosa (%)
Fco. de Orellana	Finca Rumiguano	Super Árbol	IV23-97	1	114,7249	24	1	1,0029	29,6161	29,8066	0,19	18,99
	Finca Rumiguano	Super Árbol	IV23-98	1	112,7373	7	2	1,0016	29,0676	29,264	0,20	19,61
	Finca Rumiguano	Super Árbol	IV23-99	1	112,7185	10	3	1,0031	30,6471	30,8848	0,24	23,70
	Finca Rosa	CCN51	IV23-100	1	114,7262	18	1	1,0020	30,5064	30,7224	0,22	21,56
	Finca Rosa	CCN51	IV23-101	1	114,7581	22	2	1,0028	30,6129	30,9045	0,29	29,08
	Finca Rosa	CCN51	IV23-102	1	112,261	19	3	1,002	28,7895	29,0375	0,25	24,75
	Finca Nely	Nacional	IV23-81	1	118,6734	8	1	1,002	29,0251	29,3103	0,29	28,46
	Finca Nely	Nacional	IV23-82	1	115,52	40	2	1,0025	30,6664	30,9805	0,31	31,33
	Finca Nely	Nacional	IV23-83	1	114,2	5	3	1,001	29,5601	29,8196	0,26	25,92

**Realizado por:** Cevallos, Angie, 2024.

#### 4.1.1. Análisis de varianza

##### 4.1.1.1. Lignina

De acuerdo con la Tabla 4-1, factor Variedad de Cacao, al presentar un p-valor mayor a 0,05, se acepta la  $H_0$ , por lo que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de lignina de las variedades de cacao estudiadas.

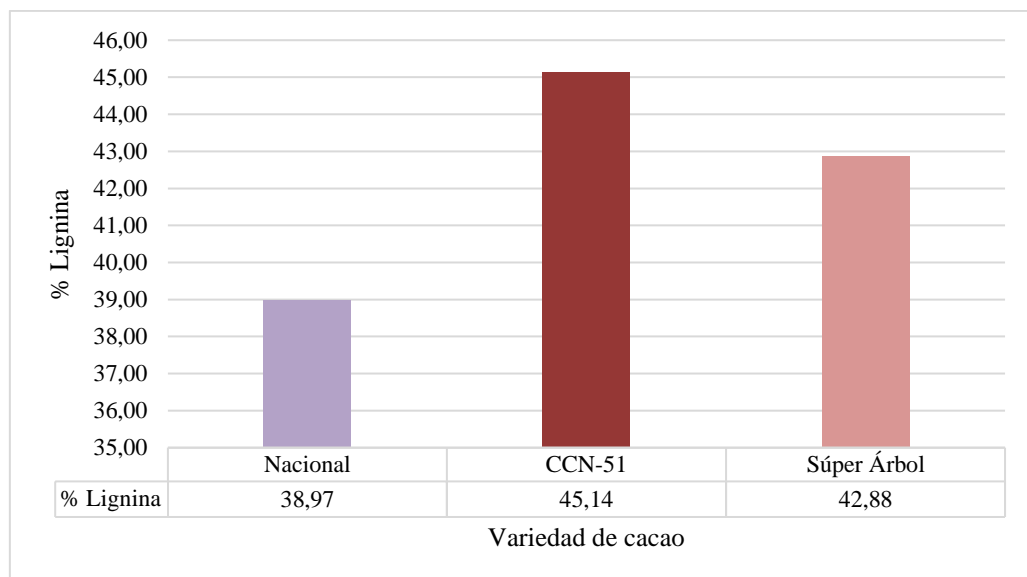
Los componentes de la tabla del ANOVA son: Fuente de Varianza (F.V.), Suma de Cuadrados (SC), Grados de Libertad (gl), Cuadrado Medio (CM), Estadístico F (F, cociente entre dos cuadrados medios) y p-valor (valor p asociado al estadístico F).

**Tabla 4-3:** ANOVA de los porcentajes de lignina

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	58,38	2	29,19	2,52	0,1607
Variedad de Cacao	58,38	2	29,19	2,52	0,1607
Error	69,59	6	11,59		
Total	127,93	8			

Realizado por: Cevallos, Angie, 2024.

Según la Ilustración 4-1, la variedad CCN-51 tuvo un porcentaje de lignina ligeramente mayor que las otras dos variedades, con 45,14%; además, la media de porcentaje de lignina de las tres variedades fue de 42,33%.



**Ilustración 4-1:** Porcentajes de lignina por variedad de cacao

Realizado por: Cevallos, Angie, 2024.



#### 4.1.1.2. Celulosa

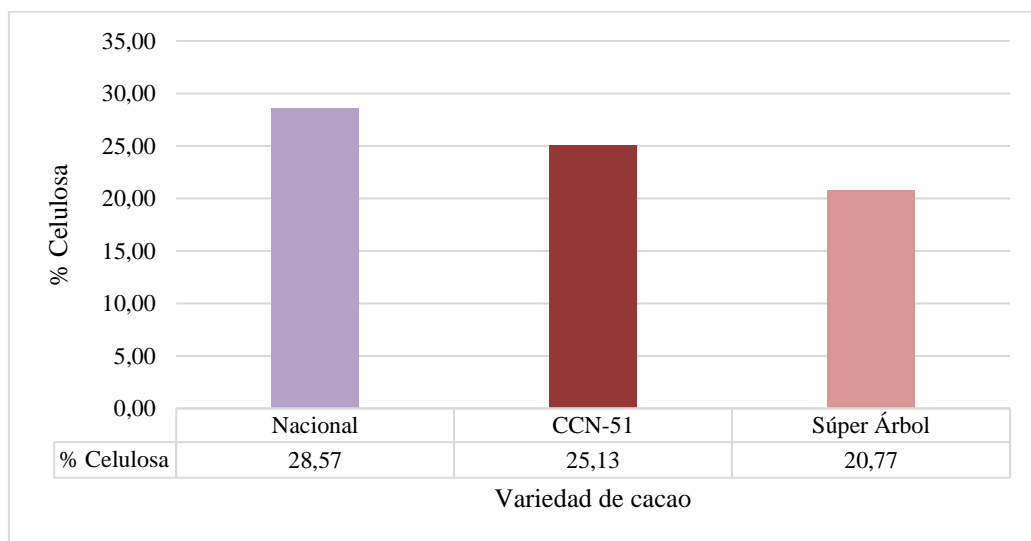
De acuerdo con la Tabla 4-2, factor Variedad de Cacao, al presentar un p-valor mayor a 0,05, se acepta la  $H_0$ , por lo que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de celulosa de las variedades de cacao estudiadas.

**Tabla 4-4:** ANOVA de los porcentajes de celulosa

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	91,83	2	45,91	4,90	0,0547
Variedad de Cacao	91,83	2	45,91	4,90	0,0547
Error	56,21	6	9,37		
Total	148,03	8			

**Realizado por:** Cevallos, Angie, 2024.

Según la Ilustración 4-2, la variedad Nacional tuvo un porcentaje de celulosa ligeramente mayor que las otras dos variedades, con 28,57%.



**Ilustración 4-2:** Porcentajes de celulosa por variedad de cacao

**Realizado por:** Cevallos, Angie, 2024.

#### 4.1.2. Comparación de resultados

Conociendo que el principal componente para la elaboración de papel Kraft es la celulosa, debido a que brinda resistencia y flexibilidad, a diferencia de la lignina que, aunque genera resistencia, no permite una mayor flexibilidad, por el contrario, favorece que el papel se quiebre con facilidad, esto quiere decir que la variedad Nacional con 28,57% de celulosa es la mejor opción para trabajar con sus residuos al momento de la elaboración de papel Kraft blanqueado.

De acuerdo con la Tabla 4-3, el porcentaje de celulosa de la variedad de cacao Nacional de la presente investigación fue mayor al estudio de Torres (2016, pág. 46), pero es menor a los obtenidos por Herrera et al. (2020, pág. 25), Díaz y Ramón (2022, pág. 97) y Barrezueta et al. (2023, pág. 19). Por otro lado, la lignina de CCN-51 de este estudio fue más alta pero similar a los valores de Torres, Herrera et al. y Díaz y Ramón, mientras que el valor reportado por Barrezueta et al. fue mucho menor. Se desconoce la variedad utilizada por este último autor, pero su composición química sería mucho más favorable para la elaboración de papel Kraft blanqueado.

**Tabla 4-5:** Comparación de porcentajes de lignina y celulosa con otros autores

<b>Variedad</b>	<b>% lignina</b>	<b>% celulosa</b>	<b>Autor</b>
Súper Árbol	42,88	20,77	Cevallos, 2024
CCN-51	45,14	25,13	Cevallos, 2024
Nacional	38,97	28,57	Cevallos, 2024
Indeterminada (cáscara)	45,39	27,04	Torres, 2016
Indeterminada (cáscara)	45,23	30,70	Herrera et al., 2020
CCN-51 (cáscara)	43,60	34,40	Díaz y Ramón, 2022
Indeterminada (cáscara)	27,07	56,12	Barrezueta et al., 2023

**Realizado por:** Cevallos, Angie, 2024.

## 4.2. Elaboración de papel Kraft blanqueado

El estudio experimental dedicado a la producción de papel Kraft, utilizando cascarilla de tres variedades de cacao y cuatro dosis de peróxido de hidrógeno como agente blanqueador, ha generado resultados prometedores. No obstante, durante la caracterización, se observaron niveles de celulosa en la cascarilla de cacao inferiores a las expectativas, lo que incide en las propiedades finales del papel.

Ante esta situación, se decidió abordar el problema incorporando un residuo ampliamente disponible y de alto volumen en el país: el bagazo de caña de azúcar. Este fue obtenido de un local comercial de elaboración de jugo de caña denominado “El Propio Jugo de Caña” ubicado en la parroquia García Moreno, en las coordenadas: -0.517221, -77.0126 (ANEXO F). Tras su caracterización, se obtuvieron valores significativos de celulosa y lignina, convirtiéndolo en un aditivo ideal para mejorar las propiedades del papel resultante, este tuvo 36,43% de lignina y 45,88% de celulosa.

El bagazo de caña se incorporó en una proporción del 50% con respecto a la cascarilla de cacao, lo que permitió mejorar la cantidad de celulosa en la mezcla y, por ende, las propiedades físicas y mecánicas del papel Kraft. Este enfoque innovador no solo resuelve el problema inicial de baja

celulosa, sino que también ofrece una solución sostenible al reutilizar un residuo de otra industria, promoviendo así la economía circular y la gestión responsable de los recursos naturales. En total, se obtuvieron 24 muestras de papel siguiendo el diseño experimental planteado (ANEXO E).

Un estudio realizado en Colombia por Afanasjeva et al. (2017, págs. 31-37) encontró porcentajes de lignina y celulosa del 13,42% y 44,06%, respectivamente. También, estos autores mencionan que, debido a su alta productividad por hectárea, abundancia, disponibilidad, utilización completa de las plantas, alto porcentaje de celulosa y hemicelulosa total y un contenido relativamente bajo de lignina, se ha previsto que, en un futuro, estas plantas de crecimiento rápido puedan ser dirigidas como cultivos energéticos.

Los valores de celulosa fueron similares a los encontrados en la presente investigación, pero el valor de lignina del estudio mencionado fue mucho menor. Se tendría que realizar una comparación a profundidad para conocer la razón de este hecho que podría beneficiar a la fabricación de papel Kraft usando el bagazo de caña como aditivo.

En cuanto al procedimiento de fabricación de papel Kraft, el proceso más relevante que se puede mencionar es la hidrólisis. La hidrólisis de una macromolécula ya sea lignina o celulosa, implica la ruptura de los enlaces beta ( $1 \rightarrow 4$ ) entre unidades específicas de D-glucosa. La hidrólisis descompone la macromolécula y forma monosacáridos y oligosacáridos. Este proceso reduce la dureza de la biomasa lignocelulósica permitiendo que el producto final del papel Kraft tenga una mayor flexibilidad, pero conservando características de dureza que le dan resistencia. Además, sin este proceso aumenta la coloración oscura, disminuye la resistencia a la tracción y baja la opacidad del producto final (Małachowska et al., 2021, pág. 1).

Con estas consideraciones, también se puede asumir que la hidrólisis reduce el consumo de energía, al ablandar el residuo se requiere menos energía para molerlo, mejora la eficiencia del proceso ya que reduce el tiempo necesario para cocción y aumenta la producción de pulpa. También, disminuye del impacto ambiental debido a que permite utilizar menos productos químicos en el proceso Kraft.

Para optimizar y facilitar la elaboración de papel, se diseñó y construyó un conjunto de equipos especializados. Los detalles específicos de cada equipo se encuentran en el ANEXO A.

### 4.3. Propiedades físicas y mecánicas del papel

#### 4.3.1. Propiedades físicas del papel

En la Tabla 4-4 se observan los valores obtenidos de las propiedades físicas en estudio, los valores corresponden a las medias de las repeticiones. Se halló que ninguno de los tratamientos presentó un valor dentro de la consideración de las normas o características encontradas para el porcentaje de blancura, el más cercano fue el T10 (50%, Nacional) con el 86,45%. En cuanto al espesor, todos los tratamientos presentaron valores dentro del rango deseado de 0,05-0,30 mm, esto demuestra que el procedimiento aplicado para la elaboración de papel Kraft da buenos resultados para el parámetro espesor.

**Tabla 4-6:** Comparación de propiedades físicas del papel

Parámetro	Descripción	Blancura (%)	Espesor (mm)
<b>Normas</b>		<b>88-100</b>	<b>0,05-0,30</b>
T1	Nacional + 0% blanqueador	42,72	0,105
T2	CCN 51 + 0% blanqueador	37,19	0,155
T3	Súper Árbol + 0% blanqueador	41,64	0,165
T4	Nacional + 30% blanqueador	82,19	0,175
T5	CCN 51 + 30% blanqueador	79,64	0,165
T6	Súper Árbol + 30% blanqueador	82,68	0,190
T7	Nacional + 40% blanqueador	82,49	0,175
T8	CCN 51 + 40% blanqueador	82,30	0,195
T9	Súper Árbol + 40% blanqueador	80,59	0,130
T10	Nacional + 50% blanqueador	86,45	0,180
T11	CCN 51 + 50% blanqueador	86,38	0,130
T12	Súper Árbol + 50% blanqueador	70,66	0,120

Realizado por: Cevallos, Angie, 2024.

#### 4.3.2. Análisis de varianza de las propiedades físicas según el tratamiento

##### 4.3.2.1. Blancura

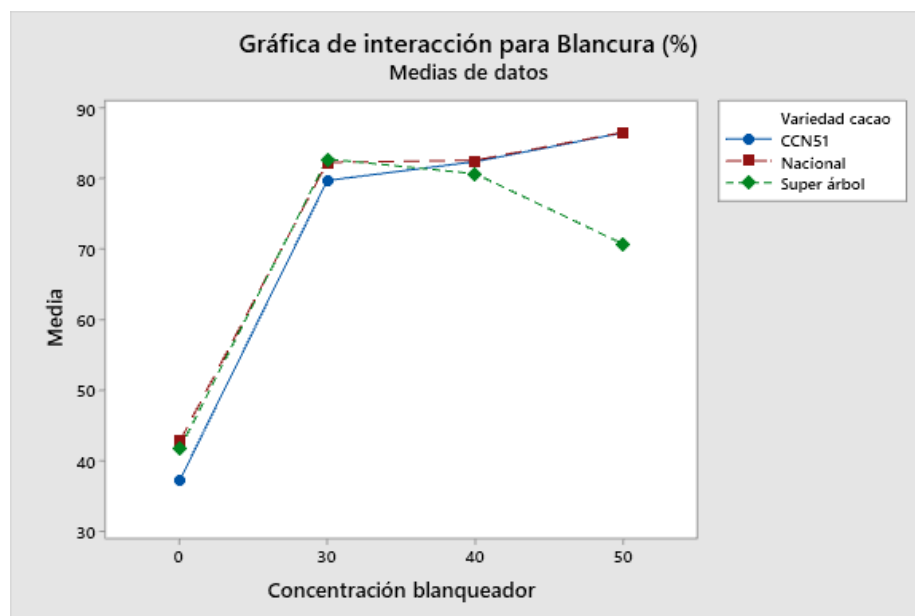
De acuerdo con la Tabla 4-5, se observa que el efecto de la concentración de blanqueador es significativo ( $p < 0,05$ ), por lo que la concentración sí influye en la blancura. Se observa que el efecto de la variedad de cacao es significativo ( $p < 0,05$ ), por lo que los tipos de cacao sí influyen en la blancura. Además, se observa que el efecto de la interacción es significativo ( $p < 0,05$ ), por lo tanto, la información relevante del experimento se obtiene de los gráficos de interacción.

**Tabla 4-7:** Análisis de varianza de la blancura

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	11	1,7E-03	9,51	0,0002
Concentración del blanqueador	0,01	3	1,8E-03	10,07	0,0013
Variedad cacao	4,3E-04	2	2,2E-04	1,21	0,3323
Concentración del blanqueador*Variedad cacao	0,01	6	2,2E-03	12,00	0,0002
Error	2,2E-03	12	1,8E-04		
Total	0,02	23			

**Realizado por:** Cevallos, Angie, 2024.

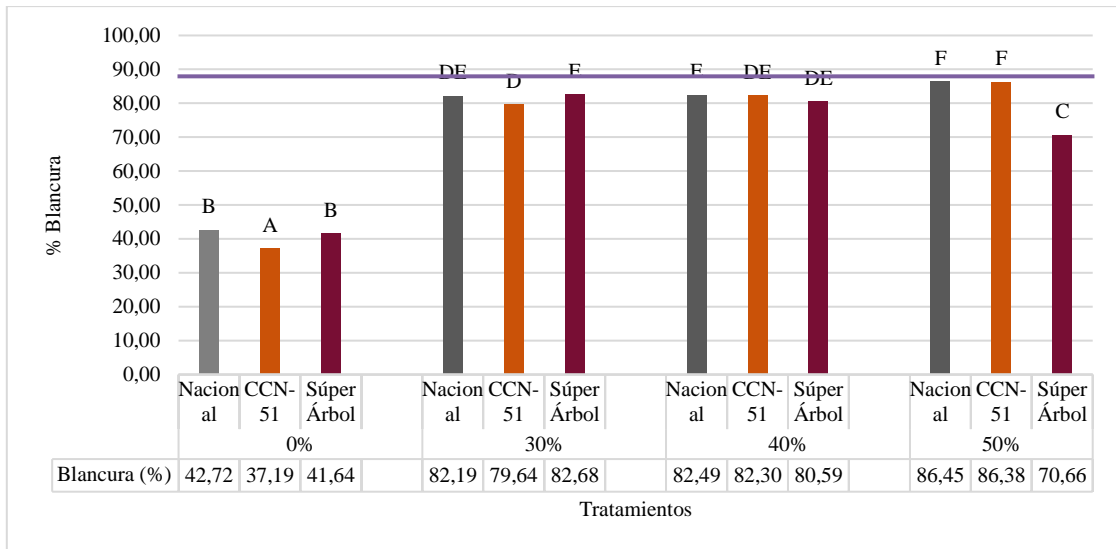
La Ilustración 4-3 sugiere que la blancura más baja se obtiene con las tres variedades de cacao y con la concentración de blanqueador del 0 %. Por otro lado, la blancura más alta se obtiene con las variedades CCN51 y Nacional a una dosis del 50%.



**Ilustración 4-3:** Interacción de la concentración del blanqueador con la variedad de cacao para la blancura

**Realizado por:** Cevallos, Angie, 2024.

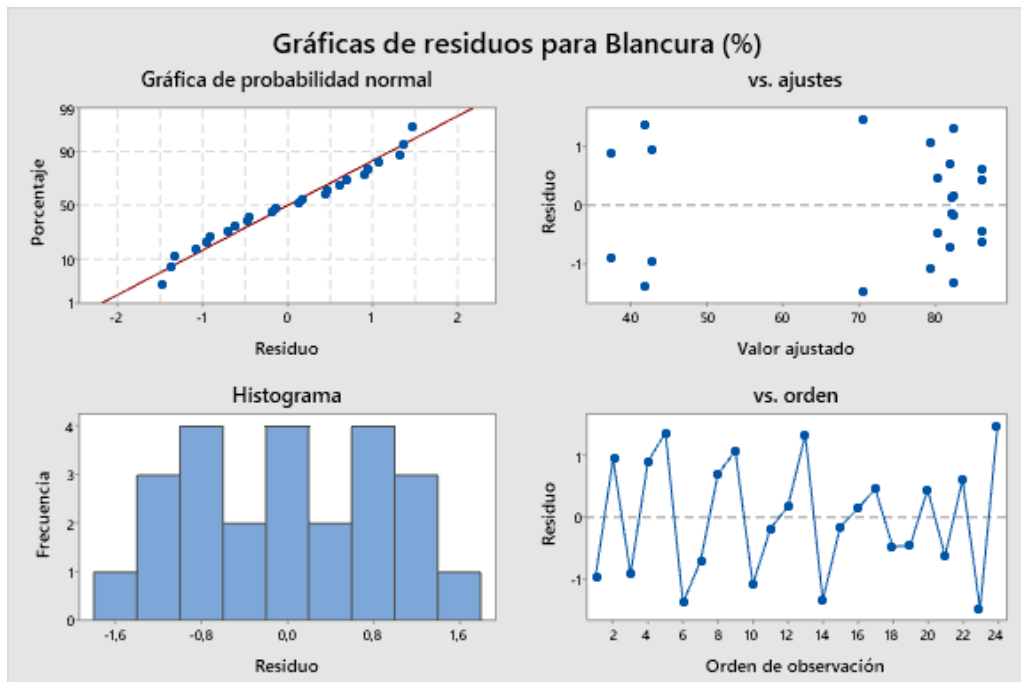
Según la Ilustración 4-4, de la representación gráfica de la prueba de LSD de Fisher, los tratamientos de las variedades Nacional y CCN-51 con 50% de blanqueador cada uno, son los que presentan un promedio de blancura más alto, esto concuerda con los resultados de la Ilustración 4-3. En otras palabras, estas combinaciones fueron las que produjeron papeles de tonalidad más blanca. Se debe destacar que en la prueba LSD, las medias que tienen la misma letra son estadísticamente iguales.



**Ilustración 4-4:** Gráfico de la prueba LSD de Fisher de la blancura

Realizado por: Cevallos, Angie, 2024.

El análisis de la Ilustración 4-5 permite validar tres supuestos fundamentales para la aplicación del modelo. La cercanía de los puntos a la diagonal en el gráfico de probabilidad normal comprueba la normalidad de la distribución. La disposición uniforme de la nube de puntos en el gráfico de residuos versus valores ajustados demuestra la homocedasticidad. Finalmente, la ausencia de patrones en el gráfico de residuos versus orden de observación confirma la independencia de las observaciones.



**Ilustración 4-5:** Gráficas de residuos para Blancura

Realizado por: Cevallos, Angie, 2024.

#### 4.3.2.2. Espesor

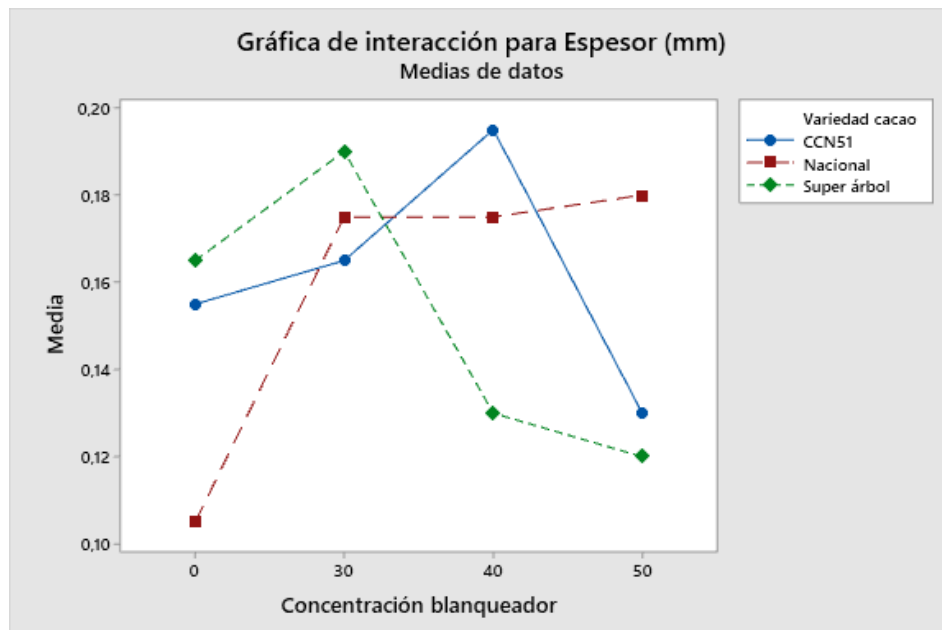
De acuerdo con la Tabla 4-6, se observa que el efecto de la concentración de blanqueador es significativo ( $p < 0,05$ ), por lo que las concentraciones sí influyen en el espesor. Se observa que el efecto de la variedad de cacao no es significativo ( $p > 0,05$ ), por lo que los tipos de cacao no influyen en el espesor. Además, se observa que el efecto de la interacción es significativo ( $p < 0,05$ ), por lo tanto, la información relevante del experimento se obtiene de los gráficos de interacción.

**Tabla 4-8:** Análisis de varianza del espesor

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	11	1,7E-03	9,51	0,0002
Concentración de blanqueador	0,01	3	1,8E-03	10,07	0,0013
Variedad cacao	4,3E-04	2	2,2E-04	1,21	0,3323
Concentración de blanqueador* Variedad cacao	0,01	6	2,2E-03	12,00	0,0002
Error	2,2E-03	12	1,8E-04		
Total	0,02	23			

**Realizado por:** Cevallos, Angie, 2024.

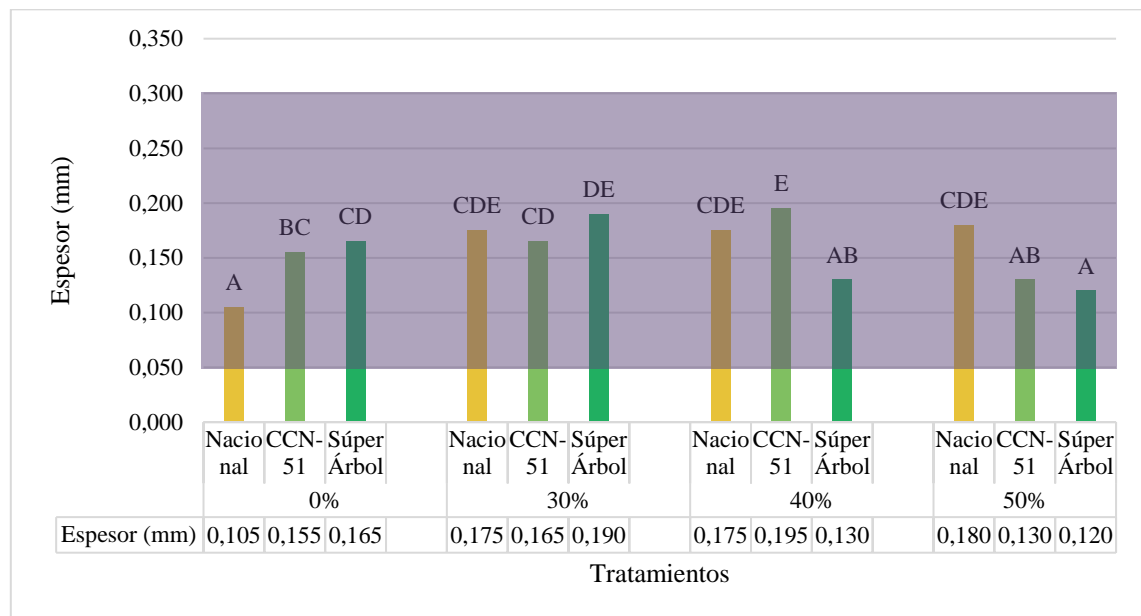
La Ilustración 4-6 sugiere que el espesor más bajo se obtiene con la variedad de cacao Nacional y con la concentración de blanqueador del 0 %. Por otro lado, el espesor más alto se obtiene con la variedad CCN-51 a una dosis del 40%.



**Ilustración 4-6:** Interacción de la concentración del blanqueador con la variedad de cacao para el espesor

**Realizado por:** Cevallos, Angie, 2024.

Según la Ilustración 4-7, de la representación gráfica de la prueba LSD de Fisher, la variedad CCN-51 con 40% de blanqueador fue la que presenta un promedio de espesor más alto, esto concuerda con los resultados de la Ilustración 4-6. En otras palabras, este tratamiento genera papeles con un mayor espesor, pero dentro de los estándares planteados de 0,05 a 0,30 mm. Se debe destacar que en la prueba LSD, las medias que tienen la misma letra son estadísticamente iguales.

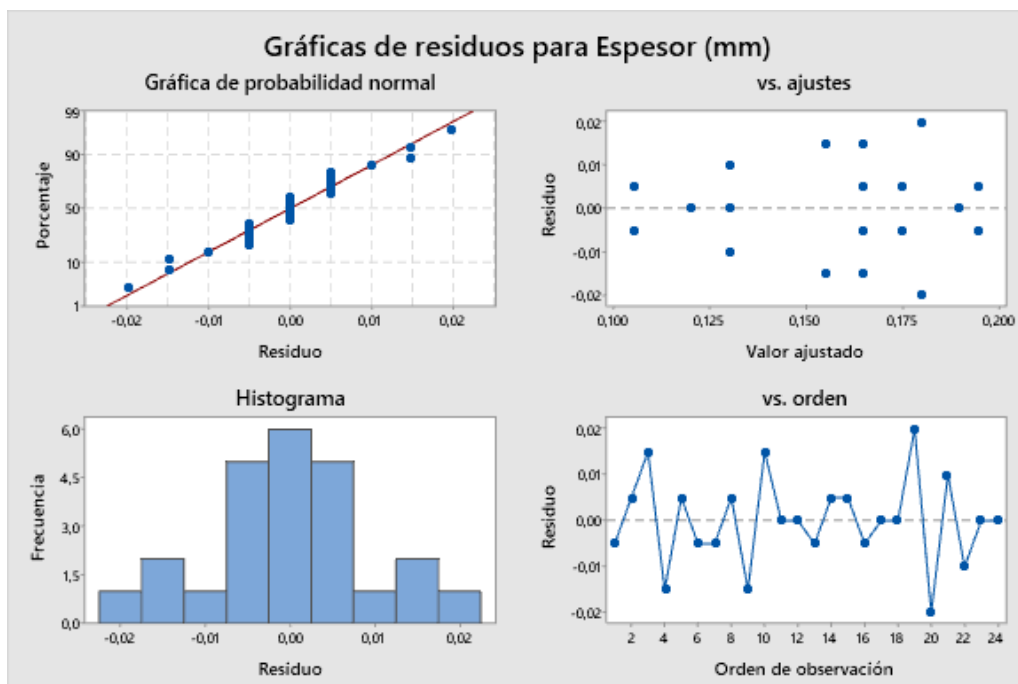


**Ilustración 4-7:** Gráfico de la prueba LSD de Fisher del espesor

**Realizado por:** Cevallos, Angie, 2024.

El análisis de la Ilustración 4-8 revela que se cumplen los tres supuestos esenciales para la aplicación del modelo. En primer lugar, la distribución normal de la variable queda evidenciada por la cercanía de los puntos a la diagonal en el gráfico de probabilidad normal. En segundo lugar, el supuesto de homocedasticidad se confirma por la disposición uniforme de la nube de puntos en el gráfico de residuos versus valores ajustados. Por último, la ausencia de tendencias en el gráfico de residuos versus orden de observación corrobora la independencia de las observaciones.





**Ilustración 4-8:** Gráficas de residuos para Espesor

Realizado por: Cevallos, Angie, 2024.

### 4.3.3. Propiedad mecánica del papel

En cuanto a la resistencia a la tensión, de acuerdo con la Tabla 4-7, ninguno de los tratamientos presentó una resistencia acorde a la norma, por lo que se los considera demasiado susceptibles a la fractura por tensión.

**Tabla 4-9:** Comparación de la resistencia a la tensión del papel

Parámetro	Descripción	Resistencia a la Tensión (N/m)
<b>Norma</b>		$\geq 88$
T1	Nacional + 0% blanqueador	25,18
T2	CCN 51 + 0% blanqueador	64,29
T3	Súper Árbol + 0% blanqueador	32,14
T4	Nacional + 30% blanqueador	35,75
T5	CCN 51 + 30% blanqueador	67,86
T6	Súper Árbol + 30% blanqueador	35,71
T7	Nacional + 40% blanqueador	42,86
T8	CCN 51 + 40% blanqueador	53,61
T9	Súper Árbol +40% blanqueador	14,29
T10	Nacional + 50% blanqueador	32,14
T11	CCN 51 + 50% blanqueador	10,71
T12	Súper Árbol + 50% blanqueador	25,00

Realizado por: Cevallos, Angie, 2024.

#### 4.3.4. Análisis de varianza de la propiedad física según el tratamiento

##### 4.3.4.1. Resistencia a la tensión

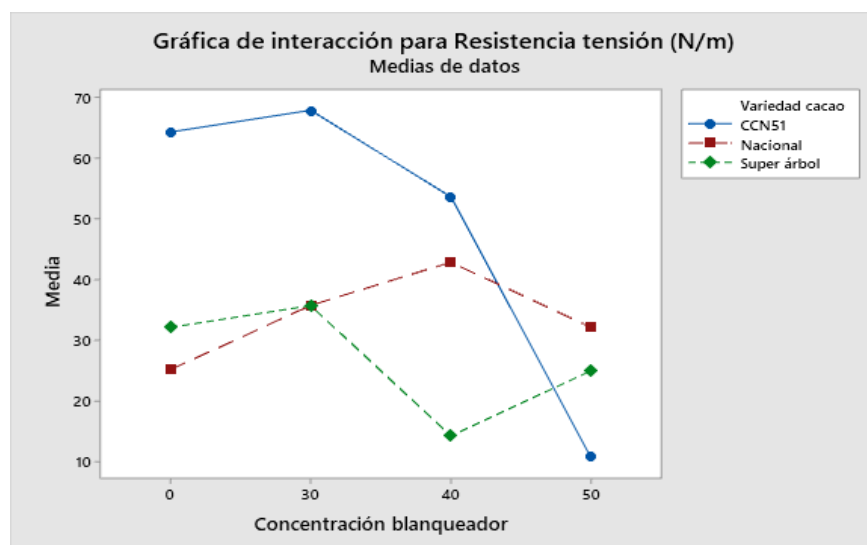
De acuerdo con la Tabla 4-8, se observa que el efecto de la concentración de blanqueador es significativo ( $p < 0,05$ ), por lo que las concentraciones sí influyen en la resistencia a la tensión. Se observa que el efecto de la variedad de cacao es significativo ( $p < 0,05$ ), por lo que los tipos de cacao sí influyen en la resistencia a la tensión. Además, se observa que el efecto de la interacción es significativo ( $p < 0,05$ ), por lo tanto, la información relevante del experimento se obtiene de los gráficos de interacción

**Tabla 4-10:** Análisis de varianza de la resistencia a la tensión

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7092,72	11	644,79	5,97	0,0023
Concentración de blanqueador	1847,56	3	615,85	5,71	0,0115
Variedad cacao	2079,02	2	1039,51	9,63	0,0032
Concentración de blanqueador*Variedad cacao	3166,14	6	527,69	4,89	0,0095
Error	1295,12	12	107,93		
Total	8387,84	23			

Realizado por: Cevallos, Angie, 2024.

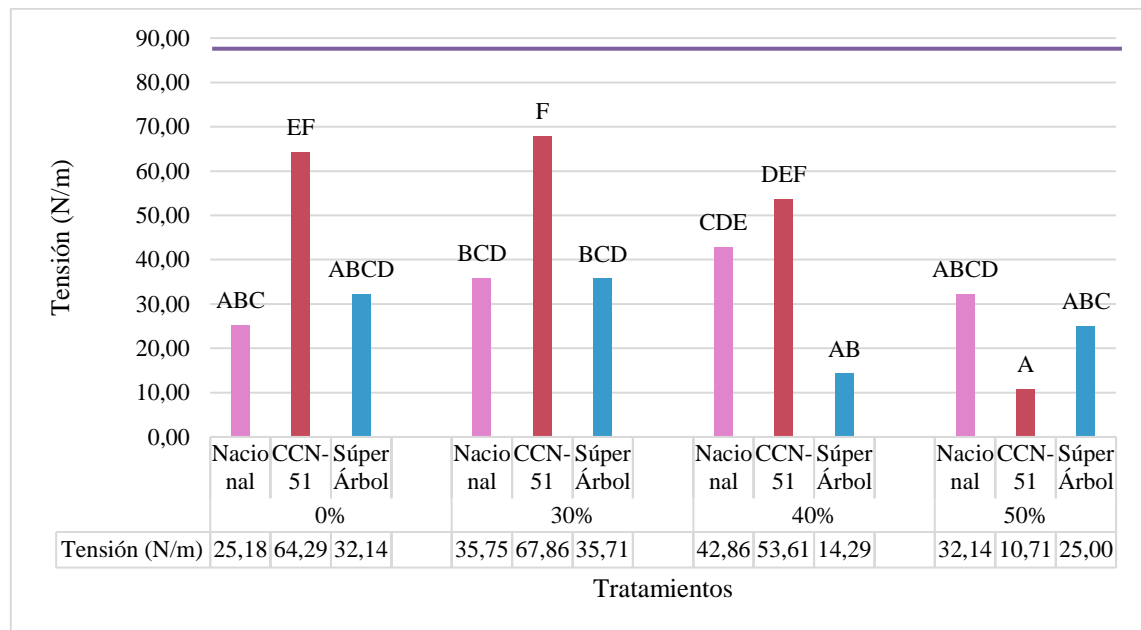
La Ilustración 4-9 sugiere que la resistencia a la tensión más baja se obtiene con la variedad de cacao Nacional y con la concentración de blanqueador del 0 %. Por otro lado, la resistencia a la tensión más alta se obtiene con la variedad CCN-51 a una dosis del 30%.



**Ilustración 4-9:** Interacción de la concentración del blanqueador con la variedad de cacao para la Resistencia a la tensión

Realizado por: Cevallos, Angie, 2024.

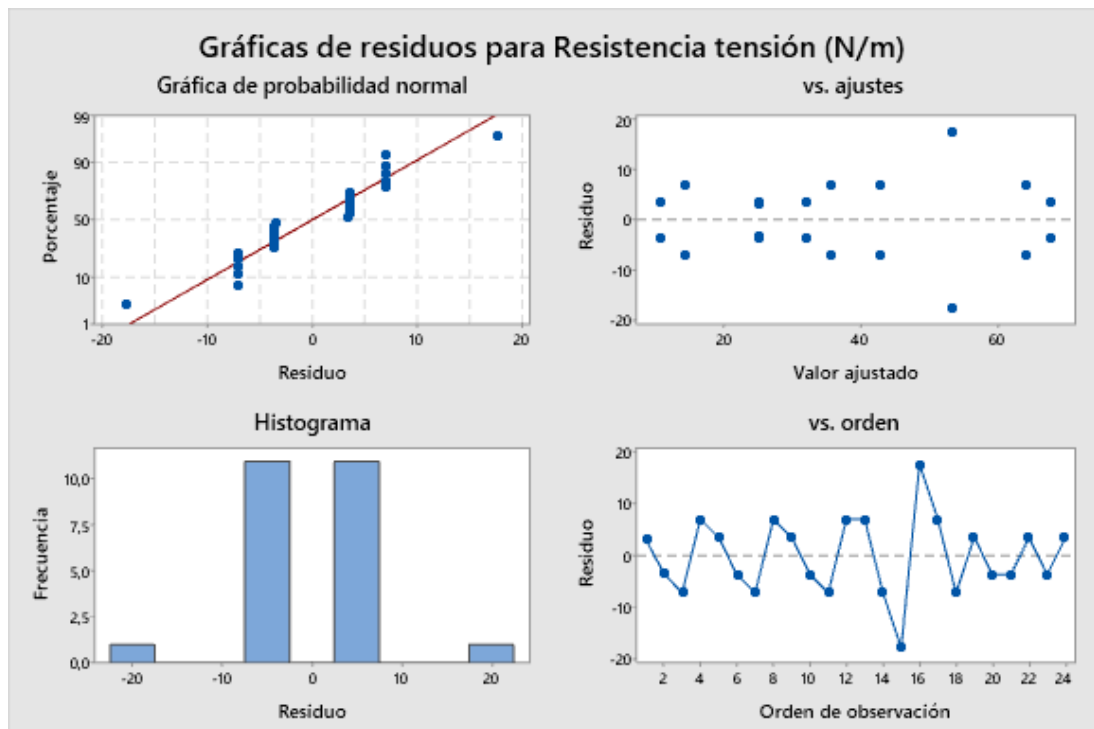
Según la Ilustración 4-10, de la representación gráfica de la prueba LSD de Fisher, la variedad CCN-51 con 30% de blanqueador presenta un promedio de resistencia a la tensión más alta, esto concuerda con los resultados de la Ilustración 4-9. En otras palabras, el papel este tratamiento tiene una mayor resistencia a la tensión, pero no alcanza el mínimo de resistencia establecido de 88 N/m.



**Ilustración 4-10:** Gráfico de la prueba LSD de Fisher de la resistencia a la tensión

**Realizado por:** Cevallos, Angie, 2024.

Según se aprecia en la Ilustración 4-11, en el diagrama de probabilidad normal, los puntos se sitúan próximos a la diagonal, lo que sugiere que se verifica el supuesto de normalidad. En el gráfico de residuos frente a valores ajustados, la dispersión de puntos se distribuye uniformemente a lo largo de una banda horizontal, indicando así que se satisface el supuesto de homocedasticidad. Por último, en el gráfico de residuos versus orden no se detecta ninguna tendencia, lo que confirma que se cumple el supuesto de independencia.



**Ilustración 4-11:** Gráficas de residuos para Resistencia a la tensión

**Realizado por:** Cevallos, Angie, 2024.

#### 4.3.5. *Discusión*

Se obtuvieron porcentajes de blancura por debajo del 88%, esto concuerda con otros estudios en los que se elaboraron papeles artesanales de distintos materiales, como el de fibras de vástago de plátano donde se consiguió un 68% de blancura o fibras de guadua con una blancura de hasta 64,3% (Popo, 2012, pág. 37; Popo, 2015, pág. 87). En el caso de las fibras de guadua, el autor menciona que se puede realizar un proceso de blanqueado de dos etapas, usando hipoclorito al 13% y luego peróxido de hidrógeno al 50%. Pero, sus niveles de blancura se encuentran incluso por debajo de los reportados en esta investigación, por lo que se puede asumir que la metodología seguida fue mejor que la de Popo en sus dos estudios.

En cuanto al espesor, el estudio de Chiluiza y Hernández (2009, pág. 111) menciona espesores entre 0,236 hasta 0,302 mm. Este estudio se llevó a cabo con materia prima de caña guadúa. Por otra parte, un estudio realizado con pseudo tallo de plátano encontró un grosor del papel de hasta 17  $\mu\text{m}$ , lo que correspondería a 0,017 mm (Montero et al., 2021, pág. 3140). El valor de 0,017 mm se encuentra incluso por debajo de las medidas mínimas de algunas normas, por lo que se lo puede considerar un papel demasiado delgado, mientras que el papel de Chiluiza y Hernández al igual que el elaborado en esta investigación, presentan valores dentro del rango para un buen papel bond.

La resistencia a la tensión presentó niveles más bajos a los mencionados por Guzmán y Játiva (2007, pág. 73), pero la variedad CCN-51 fue la que presentó un mayor nivel de tensión. Esto se puede deber a que se encontró un mayor porcentaje de lignina y celulosa en esta variedad, lo que le brinda al papel Kraft elaborado una estructura mucho más fuerte, por ende, más resistente a la tensión. Aunque no cumple con los valores mínimos, si se maneja correctamente con los debidos niveles de blanqueador, esta variedad podría llegar a generar un papel Kraft blanqueado con las mejores propiedades para usarlo como papel bond ecológico.

Se conoce que el blanqueador peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) puede debilitar los enlaces interfibrilares del papel, lo que reduce su resistencia a la tracción. La magnitud de la reducción depende de la concentración de  $H_2O_2$  utilizada, el tiempo de exposición y las condiciones del proceso; además, puede oxidar la celulosa, el principal componente del papel, lo que reduce su resistencia mecánica (Matthijs et al., 2000, párr. 5).

Minaya y Suarez (2018, pág. 73) en su estudio relacionado a la elaboración de papel con hojas de maíz encontraron que, un proceso con 1,85% de hidróxido de sodio y 22,58% de peróxido de hidrógeno permiten obtener una mayor resistencia en el papel. Además, estos autores mencionan que a mayor cantidad de los productos blanqueadores, las capacidades mecánicas del papel disminuyen, esto se sustenta con base en lo mencionado por Matthijs et al. (2000, párr. 5) y concuerda con lo observado en la presente investigación, donde a concentraciones de 50% de  $H_2O_2$  se presentaron las menores resistencias a la tensión, a diferencia del 30 % donde fue mayor la tensión.

#### **4.4. Respuesta a la hipótesis**

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Se encontró que el peróxido de hidrógeno sí influye en las propiedades del papel Kraft, particularmente en la blancura, evidenciando que, a mayor concentración de este blanqueador, mayor el porcentaje de blancura. También, influye en la resistencia a la tensión, a menor concentración del blanqueador, mayor la resistencia a la tensión.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

La biomasa lignocelulósica de la cascarilla de cacao en estudio estuvo caracterizada por un 42,33% de lignina y 24.82% de celulosa, en promedio para todas las variedades. Individualmente, la variedad con mayor porcentaje de celulosa fue la Nacional con un 28.57%. Este descubrimiento resalta el potencial de la variedad Nacional debido a su alto contenido de celulosa, que la perfila como la mejor posibilidad para la elaboración de papel Kraft blanqueado. Sin embargo, las características químicas en el contenido de celulosa y lignina de las tres variedades son estadísticamente similares, es decir, que con la intervención de un aditivo su utilización se considera viable para la elaboración de papel Kraft blanco.

La elaboración de papel Kraft blanqueado tuvo resultados positivos al adicionar bagazo de caña de azúcar, para aumentar el contenido de celulosa y mejorar las características físico-mecánicas del papel final, obteniendo un total de 24 muestras siguiendo el diseño bifactorial entre tres variedades de cascarilla de cacao y cuatro concentraciones de peróxido de hidrógeno. Visualmente los tratamientos que emplearon una concentración de 50% de peróxido de hidrógenos mostraron una tonalidad más clara frente a los demás tratamientos con concentraciones inferiores. Se destaca la importancia de la hidrólisis en el proceso de elaboración de papel debido a sus beneficios, como la reducción del consumo de productos químicos y la eliminación de interferentes presentes en la estructura de los residuos.

Basado en los hallazgos, se puede concluir que, los tratamientos que emplearon cascarilla de variedad Nacional y CCN-51 con una concentración de peróxido de hidrógeno de 50% estuvieron cerca de cumplir con la normativa en lo referente a la blancura con un 86.45% y 86.38% respectivamente. Pese a que las muestras de papel no cumplieron con las especificaciones para un papel bond de uso común en términos resistencia a la tensión, la variedad CCN-51 mostró los valores más altos de esta propiedad a una concentración de 30% de blanqueador. Esto sugiere que, con un método más efectivo para la fabricación de papel Kraft blanqueado, es factible producir hojas de papel tipo bond con propiedades equiparables a las del mercado. Estos resultados abren la puerta a futuras investigaciones orientadas a optimizar el proceso de fabricación para lograr un papel de mayor calidad.

## **5.2. Recomendaciones**

Ampliar la investigación para incluir otros residuos derivados del cacao como la cáscara, analizando su composición lignocelulósica y evaluando sus posibilidades para la elaboración de papel Kraft blanqueado. Esto permitiría identificar residuos adicionales con propiedades destacadas.

Repetir los análisis de Lignina en la pulpa blanqueada para evaluar la eficiencia del peróxido de hidrógeno en la remoción de lignina residual.

Investigar la compatibilidad y sinergias entre la cascarilla de cacao y otros residuos agrícolas, además del bagazo de caña de azúcar como bagazo de plátano, tallos de arroz, aserrín de diferentes especies forestales, entre otros.

Implementar un prensado a vapor para mejorar las características del papel resultante y optimizar el tiempo de elaboración. Este proceso aumentará la resistencia y la suavidad del papel, además permitirá un secado más uniforme y rápido, lo que incrementará la eficiencia general de la fabricación de papel.

Profundizar la investigación mediante la implementación de peróxido de hidrógeno a presión para evaluar posibles variaciones significativas en la blancura del papel Kraft bajo distintos tratamientos. Asimismo, se indagará otros métodos de blanqueo ecológicos con el fin de identificar alternativas amigables con el medio ambiente. Además, se ampliarán los parámetros de la caracterización física y mecánica del papel, incluyendo porosidad, resistencia al rasgado y pruebas de biodegradabilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **AMADOR, C.; et al.** “Caracterización morfológica del cacao nacional “*Theobroma cacao* L.” del cantón Naranjal, Ecuador”. *Revista Tecnológica-Espol* [en línea], 2022, (Ecuador) vol. 34 (4), págs. 80-97. [Consulta: 19 octubre 2023]. ISSN: 1390-3659. Disponible en: <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/978/675>.
2. **ANDY, L.** Elaboración de papel artesanal a base de los residuos vegetales de los tallos de maíz (*Zea mays* L) y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L) utilizando los métodos químicos de Jayme-Wise, Kurshner y Hoffner [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Agroindustrial. Riobamba-Ecuador. 2020, págs. 14-15. [Consulta: 15 noviembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/6567/1/Elaboraci%C3%B3n%20del%20papel%20artesanal%20a%20base%20de%20los%20residuos%20vegetales%20de%20los%20%20tallos%20de%20ma%C3%ADz%20y%20c%C3%A1scaras%20de%20pl%C3%A1tano%20utilizando%20los%20m%C3%A9todos%20qu%C3%ADmicos%20de.pdf>.
3. **BARREZUETA, S.; et al.** “Características principales del biocarbón derivado de restos de *Theobroma cacao* L. para su uso en suelos agrícolas”. *Revista Colombiana de Química* [en línea], 2023, (Ecuador) vol. 52 (1), págs. 19-24. [Consulta: 10 febrero 2024]. ISSN: 2357-3791. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/110591/90957>.
4. **BENITEZ, J.** “Calidad de papel artesanal a partir de fibras no convencionales de cinco especies colombianas”. *Revista de Ciencia y Tecnología* [en línea], 2019, (Colombia) vol. 1 (31), págs. 28-35. [Consulta: 05 octubre 2023]. ISSN: 1851-7587. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/recyt/n31/n31a05.pdf>.
5. **BUTTS, K.** *Cómo evaluar el color de los blancos fluorescentes* [blog]. DataColor, 2021. [Consulta: 02 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.datacolor.com/es/business-solutions/blog/como-evaluar-los-materiales-blancos-fluorescentes/>.
6. **CAF.** *Latinoamérica produce el 80% del cacao prime del mundo* [en línea]. CAF, 2017. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2017/11/latinoamerica-produce-el-80-del-cacao-prime-del-mundo/>.



7. **CALVA, A.; & RAMÍREZ, PÁG.** *Guía técnica para el establecimiento y manejo del cacao Súper Árbol* [en línea]. Quito-Ecuador: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2016, pág. 5. [Consulta: 02 marzo 2024]. Disponible en: [https://www.bivica.org/files/6054\\_Cacao\\_Guia\\_tecnica\\_final\\_18\\_10\\_16.pdf](https://www.bivica.org/files/6054_Cacao_Guia_tecnica_final_18_10_16.pdf).
8. **CARRASCO, L.** *Contaminantes ambientales derivados del pulpaje y blanqueo de la pulpa de madera* [en línea]. Montevideo-Uruguay: Rapaluruaguay.Org, 2008, pág. 6. [Consulta: 24 marzo 2023]. Disponible en: [http://www.rapaluruaguay.org/agrotoxicos/COPs/Prensa/Celulosa\\_Leonidas.pdf](http://www.rapaluruaguay.org/agrotoxicos/COPs/Prensa/Celulosa_Leonidas.pdf).
9. **CHILUIZA, C.; & HERNÁNDEZ, J.** *Elaboración de papel artesanal de caña guadua (Guadua angustifolia K)* [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Quito-Ecuador. 2009, pág. 111. [Consulta: 29 febrero 2024]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1901/1/CD-2457.pdf>.
10. **COMITÉ INTERINSTITUCIONAL PARA EL CAMBIO DE LA MATRIZ PRODUCTIVA.** *Diagnóstico de la Cadena Productiva del Cacao en el Ecuador* [en línea]. Quito-Ecuador: Secretaría Técnica del Comité Interinstitucional para el Cambio de la Matriz Productiva-Vicepresidencia del Ecuador, 2015, pág. 3. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.vicepresidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2015/07/Resumen-Cadena-de-Cacao-rev.pdf>.
11. **DÍAZ, A.; & RAMÓN, B.** “Caracterización fisico-química de la cáscara de mazorca de cacao como posible uso en la elaboración de tableros aglomerados”. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación* [en línea], 2022, (Colombia) vol. 12 (1), págs. 97-106. [Consulta: 10 febrero 2024]. ISSN: 2389-9417. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ridi/v12n1/2389-9417-ridi-12-01-97.pdf>.
12. **DIGITALPAPEL.** *Qué significan los certificados de papel* [blog]. DigitalPapel, 2018. [Consulta: 02 marzo 2024]. Disponible en: <https://digitalpapel.com/blog/que-significan-los-certificados-de-papel>.
13. **ECUADOR EN VIVO.** *Ecuador registra aumento de la exportación de cacao en primeros ocho meses de este 2023* [en línea]. Ecuador en Vivo, 2023. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.ecuadorenvivo.com/index.php/economia/item/169469-exportaciones-de-cacao-crecieron-14-este-2023-segun-ane cacao>.

14. **EL UNIVERSO.** *Día Mundial del Cacao: en Ecuador se espera que efectos de El Niño no se sientan en 2023 para poder romper récord de exportación* [en línea]. El Universo, 2023. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/dia-mundial-del-cacao-en-ecuador-se-espera-que-efectos-de-el-nino-no-se-sientan-en-2023-para-poder-romper-record-de-exportacion-nota/>.
15. **FAROPPA, V.** Utilización del peróxido de hidrógeno como primera etapa de blanqueo de una pulpa Kraft de *Eucalyptus* oxigenada [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Montevideo-Uruguay. 2018, pág. 1. [Consulta: 28 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/28229/1/FaroppaGinzoValent%C3%ADn.pdf>.
16. **FUENTES, J.; & URIBE, G.** “Aplicación de blanqueo TCF en mezclas de fibras químicas y mecánicas recicladas: alternativa para la industria papelera”. *Energética* [en línea], 2019, (Colombia) vol. 1 (42), págs. 9-19. [Consulta: 25 marzo 2023]. ISSN: 0120-9833. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1470/147012854001.pdf>.
17. **GADM FRANCISCO DE ORELLANA.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Francisco de Orellana 2023* [en línea]. Francisco de Orellana-Ecuador: GADM Francisco de Orellana, 2023, págs. 28-29. [Consulta: 02 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.orellana.gob.ec/docs/PDYOT%20/PDYOT%20DOC.pdf>.
18. **GUZMÁN, A.; & JÁTIVA, E.** Diseño de una máquina cortadora rebobinadora de papel [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito-Ecuador. 2007, pág. 73. [Consulta: 28 octubre 2023]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/723/1/CD-1112.pdf>.
19. **HERRERA, J.; et al.** “Extracción de almidón de cáscara de cacao *Theobroma cacao* L. como alternativa de bioprospección”. *Revista ION: Investigación, Optimización y Nuevos Procesos en Ingeniería* [en línea], 2020, (Colombia) vol. 33 (2), págs. 25-34. [Consulta: 16 noviembre 2023]. ISSN: 2145-8480. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/11851/11267>.

20. **LIMPE, PÁG.** Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de textiles ecológicos de algodón, funcionalizado con nanopartículas de plata carboximetilquitosano (NPsAgCMQ) [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Nacional de San Agustín, Escuela de Posgrado, Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Naturales y Formales. Arequipa-Perú. 2018, pág. 2. [Consulta: 07 enero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c9d7b911-e743-46e6-a638-4a41bec49e9f/content>.
21. **LOJA, PÁG.** Optimización de los residuos de cascarilla de arroz mediante pretratamiento por hidrólisis ácida para la obtención de azúcares reductores [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Escuela de Ingeniería Química. Cuenca-Ecuador. 2017, págs. 48-50. [Consulta: 05 octubre 2023]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26247/1/TRABAJO%20DE%20TITULACI%C3%93N.pdf>.
22. **MALACHOWSKA, E.; et al.** “Influence of lignin content in cellulose pulp on paper durability”. *Scientific Reports* [en línea], 2020, (Polonia) vol. 10 (19998), págs. 1-12. [Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN: 2045-2322. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-77101-2.pdf>.
23. **MALACHOWSKA, E.; et al.** “Paper Ageing: The Effect of Paper Chemical Composition on Hydrolysis and Oxidation”. *Polymers* [en línea], 2021, (Polonia) vol. 13 (7), págs. 1-15. [Consulta: 02 marzo 2024]. ISSN: 2073-4360. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8036582/pdf/polymers-13-01029.pdf>.
24. **MARCANO, D.** *Introducción a la Química de los Colorantes* [en línea]. Caracas-Venezuela: Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, 2018, pág. 105. [Consulta: 10 noviembre 2023]. ISBN: 978-980-6195-59-2. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/19390/1/colorantes%20listo%20%2Bisbn.pdf>.
25. **MARTÍN, N.** Estudio técnico-económico de la biorrefinería de los residuos de industrialización primaria de la madera y agroindustriales [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Doctorado en Ciencias Aplicadas. Posadas-Argentina. 2019, pág. 9. [Consulta: 02 marzo 2024]. Disponible en: <https://rid.unam.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12219/2379/CLAUSER%20Nicol%c3%a1>

[s%20Mart%20adn\\_2019\\_%20Estudio%20t%20a%20cnico-econ%20b3mico%20de%20la%20biorrefiner%20ada....pdf?sequence=1&isAllowed=y.](https://patents.google.com/patent/ES2223462T3/es)

26. **MATTHIJS, J.; et al.** *Procedimiento para la oxidación selectiva de la celulosa* [en línea]. Zeist-Países Bajos: Google Patents, 2000. [Consulta: 07 marzo 2024]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/ES2223462T3/es>.
27. **MILTON, F.** Evaluación de la resistencia a la absorción de agua, ataque de termitas *Nasutitermes comiger* y propiedades mecánicas de un material lignocelulósico [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Posgrado en Materiales Poliméricos. Yucatán-México. 2015, pág. 70. [Consulta: 05 octubre 2023]. Disponible en: [https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/415/1/PCM\\_M\\_Tesis\\_2015\\_Milton\\_Jimenez.pdf](https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/415/1/PCM_M_Tesis_2015_Milton_Jimenez.pdf).
28. **MONTERO, A.** “Desarrollo de papel artesanal a base de desechos agroindustriales tomando en cuenta el ciclo de vida del producto”. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* [en línea], 2021, (Brasil) vol. 4 (3), págs. 3134-3145. [Consulta: 29 febrero 2024]. ISSN: 2595-573X. Disponible en: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/33257/26041>.
29. **MONTOYA, J., GIRALDO, G. & LUCAS, J.** “Determinación del índice de blancura en harina de trigo comercial”. *Vitae* [en línea], 2012, (Colombia) vol. 19 (1), págs. 415-416. [Consulta\_ 15 noviembre 2023]. ISSN: 0121-4004. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914130.pdf>.
30. **MUÑOZ, M.** *Proceso factible para la producción de pulpa a partir de bagazo de caña de azúcar* [en línea]. Escuintla-Guatemala: Cengicana, 2018, pág. 519. [Consulta: 11 noviembre 2023]. Disponible en: <https://cengicana.org/files/20190930122734893.pdf>.
31. **NTE INEN 1399.** *Papeles y cartones. Determinación del espesor.*
32. **ODRIOZOLA, V.** *Impactos de la producción de papel: La industria, el gobierno y los consumidores pueden tener un mejor papel* [en línea]. Buenos Aires-Argentina: Greenpeace, 1197, pág. 5. [Consulta: 24 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.administracion.usmpag.edu.pe/institutoconsumo/wp-content/uploads/2013/08/Impactos-de-la-produccion-de-Papel->

[GREENPEACE.pdf](#).

33. **OECTODAY**. *Papel Kraft blanqueado* [en línea]. OEC, 2021. [Consulta: 23 octubre 2023]. Disponible en: <https://oec.world/es/profile/hs/bleached-Kraft-paper>.
34. **PALOMBO, V.** Valorización de la madera de Pino mediante la producción de pulpa para papel de embalaje [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Instituto de Ingeniería Química. Montevideo-Uruguay. 2021, pág. 9. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/28810/1/PAL21.pdf>.
35. **PECOT, G.; & AGUDO, A.** Puro cacao ecuatoriano, justo y sostenible [en línea]. Quito-Ecuador: El País, 2017. [Consulta: 02 marzo 2024]. Disponible en: [https://elpais.com/elpais/2017/05/25/album/1495713957\\_720141.html](https://elpais.com/elpais/2017/05/25/album/1495713957_720141.html).
36. **POPO, M.** “Elaboración de papel artesanal a partir de fibras de guadua”. *I+ T+ C- Research, Technology and Science* [en línea], 2015, (Colombia) vol. 1 (9), págs. 87-91. [Consulta: 29 febrero 2024]. ISSN:2805-7201. Disponible en: [https://revistas.unicomfaucauca.edu.co/ojs/index.php/itc/article/view/itc2015\\_pag\\_87\\_91/166](https://revistas.unicomfaucauca.edu.co/ojs/index.php/itc/article/view/itc2015_pag_87_91/166).
37. **POPO, M.** “Elaboración de papel artesanal a partir de fibras de vástago de Plátano”. *I+ T+ C- Research, Technology and Science* [en línea], 2012, (Colombia) vol. 1 (6), págs. 37–40. [Consulta: 29 febrero 2024]. ISSN:2805-7201. Disponible en: [https://revistas.unicomfaucauca.edu.co/ojs/index.php/itc/article/view/itc2012\\_pag\\_37\\_40/22](https://revistas.unicomfaucauca.edu.co/ojs/index.php/itc/article/view/itc2012_pag_37_40/22).
38. **POSADA, J.; et al.** *Material compuesto de celulosa obtenida a partir de cascarilla de café o cacao, artículo que comprende el mismo y proceso de obtención* [en línea]. Medellín-Colombia: Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, 2016, pág. 3. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/d3/ef/75/7649cbcc78d772/WO2017221055A1.pdf>.
39. **PRADO, A.** Evaluación del peróxido de hidrógeno como biocida alternativo al tratamiento de aguas de lastre [en línea]. (Trabajo de titulación) (Biología). Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Departamento Tecnologías del Medio

- Ambiente. Puerto Real-España. 2022, pág. 9. [Consulta: 11 noviembre 2023]. Disponible en: [https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/27248/FINAL\\_TFG\\_ANA%20I%20PRADO%20VAZQUEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/27248/FINAL_TFG_ANA%20I%20PRADO%20VAZQUEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
40. **QUIROZ, J.; et al.** *Catálogo de cultivares de cacao en Ecuador* [en línea]. Quito-Ecuador: INIAP, 2021, pág. 59. [Consulta: 02 marzo 2024]. ISBN: 978-9942-22-550-4. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5810/1/Iniapeelsbtp66.pdf.pdf>.
41. **RHOTON, S.** *Cadena Alimenticia Acuática* [en línea]. Significados, 2023. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.significados.com/cadena-alimenticia-acuatica/>.
42. **RICANO, J.; et al.** “Genotipado por secuenciación de variedades nativas de *Theobroma cacao* (Malvaceae) de los Estados de Tabasco y Chiapas, México”. *Botanical Sciences* [en línea], 2019, (México) vol. 97 (3), págs. 381-397. [Consulta: 19 octubre 2023]. ISSN: 2007-4298. Disponible en: <https://www.uv.mx/personal/ehipolito/files/2022/06/45.-Paper-Botanical-Science-Agosto-2019.pdf>.
43. **RÍOS, L.; & CONTRERAS, A.** “Lesiones musculoesqueléticas de extremidades superiores en trabajadores de una fábrica de cartón”. *Revista Colombiana De Salud Ocupacional* [en línea], 2018, (Colombia) vol. 8 (1), págs. 5175-5175. [Consulta: 25 marzo 2023]. ISSN: 2322-634X. Disponible en: [https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/rc\\_salud\\_ocupa/article/view/5175/4393](https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/rc_salud_ocupa/article/view/5175/4393).
44. **RUEDA, M.** *Especificaciones técnicas. “Adquisición de 750 resmas de papel bond A4 de 75 gr para uso institucional del registro de la propiedad del cantón Quinindé”* [en línea]. Quinindé-Ecuador: Registro de la Propiedad del Cantón Quinindé, 2023, pág. 1. [Consulta: 13 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/GE/ExeGENBajarArchivoGeneral.cpe?Archivo=HYPtMT233Fn9cnfYDKCz4oIE6c9WfJ8kJ5yZICmTCw.&idPath=QlkJX5xj-4KzhhkBy75G76MLXM5WtdvjvLNUZg4PtBI,>.
45. **SALAZAR, I.** Análisis de la incompatibilidad de materiales con dióxido de cloro en la empresa Egestec S.A.S localizada en la ciudad de Bogotá D.C. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Fundación Universidad de América, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Química. Bogotá-Colombia. 2023, pág. 22. [Consulta: 24 marzo 2023]. Disponible en: <http://52.0.229.99/bitstream/20.500.11839/9152/4/6171197-2023-1->

[IQ.pdf](#).

46. **SAPPI NORTH AMERICA.** *Understanding Paper Brightness* [en línea]. Sappi North America, 2017, págs. 1-7. [Consulta: 02 marzo 2024]. Disponible en: <https://cdn-s3.sappi.com/s3fs-public/sappietc/Understanding%20Paper%20Brightness.pdf>.
47. **SOHLDEN, S.** *¿Qué sustancias químicas se usan para limpiar el papel reciclado?* [en línea]. Geniolandia, 2018. [Consulta: 02 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.geniolandia.com/13172353/que-sustancias-quimicas-se-usan-para-limpiar-el-papel-reciclado>.
48. **TAMAYOYCIA.** *Información sobre el papel Kraft: tipos, características y elaboración* [blog]. Tamayoycia, 2018. [Consulta: 19 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.tamayoycia.com/blog/informacion-papel-Kraft-tipos/>.
49. **TERÁN, F.** Aprovechamiento de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) para la elaboración de un producto agroindustrial [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de las Américas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Quito-Ecuador. 2019, págs. 9-10. [Consulta: 28 octubre 2023]. Disponible en: <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/10599/1/UDLA-EC-TIAG-2019-14.pdf>.
50. **TORRES, Y.** Caracterización de biomasa lignocelulósica (*Theobroma cacao* L.) para su uso en la obtención de etanol por vía fermentativa [en línea]. (Trabajo de titulación) (Química). Universidad Santo Tomás, División de Ingenierías y Arquitectura, Facultad de Química Ambiental. Bucaramanga-Colombia. 2016, págs. 45-46. [Consulta: 10 febrero 2024]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9170/TorresLealYeniferJasneidy2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
51. **TREJOS, J.; & VALENCIA, V.** Productos del sector de alimentos que usan empaques biodegradables: una caracterización del mercado [en línea]. (Trabajo de titulación) (Profesional). Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Administración, Programa Mercadeo y Negocios Internacionales. Santiago de Cali-Colombia. 2023, págs. 34-35. [Consulta: 05 octubre 2023]. Disponible en: [https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/14815/T10638\\_Productos%20del%20sector%20de%20alimentos%20que%20usan%20empaques%20biodegradables:%20una%20caracterizaci%C3%B3n%20del%20mercado.pdf?sequence=1](https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/14815/T10638_Productos%20del%20sector%20de%20alimentos%20que%20usan%20empaques%20biodegradables:%20una%20caracterizaci%C3%B3n%20del%20mercado.pdf?sequence=1).

52. **TROPICOS.** *Theobroma cacao L.* [en línea]. San Luis-Estados Unidos: Jardín Botánico de Missouri, 2023. [Consulta: 23 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.tropicos.org/name/30400642>.
53. **UNE-EN ISO 1924-2.** *Papel y cartón. Determinación de las propiedades de tracción.*
54. **VAN HOOFF, B.; et al.** *Producción más limpia: paradigma de gestión ambiental* [en línea]. Bogotá-Colombia: Alfaomega Colombiana S.A., 2008, pág. 5. [Consulta: 11 noviembre 2023]. ISBN: 978-958-682-724-9. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=Hd30DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.
55. **YACUZZI, S.; et al.** *Biomasa Lignocelulósica: Una Plataforma Alternativa Sustentable a los Recursos Fósiles* [en línea]. Córdoba-Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, 2019, págs. 1-2. [Consulta: 15 noviembre 2023]. Disponible en: <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/6390/Falcon%20Congreso%20de%20Ingenier%C3%ADas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
56. **ZARAGOZA, A.; et al.** “Repercusiones del uso de los organoclorados sobre el ambiente y salud pública”. *Abanico veterinario* [en línea], 2016, (México) vol. 6 (1), págs. 43-55. [Consulta: 24 marzo 2023]. ISSN: 2448-6132. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/av/v6n1/2448-6132-av-6-01-00043.pdf>.

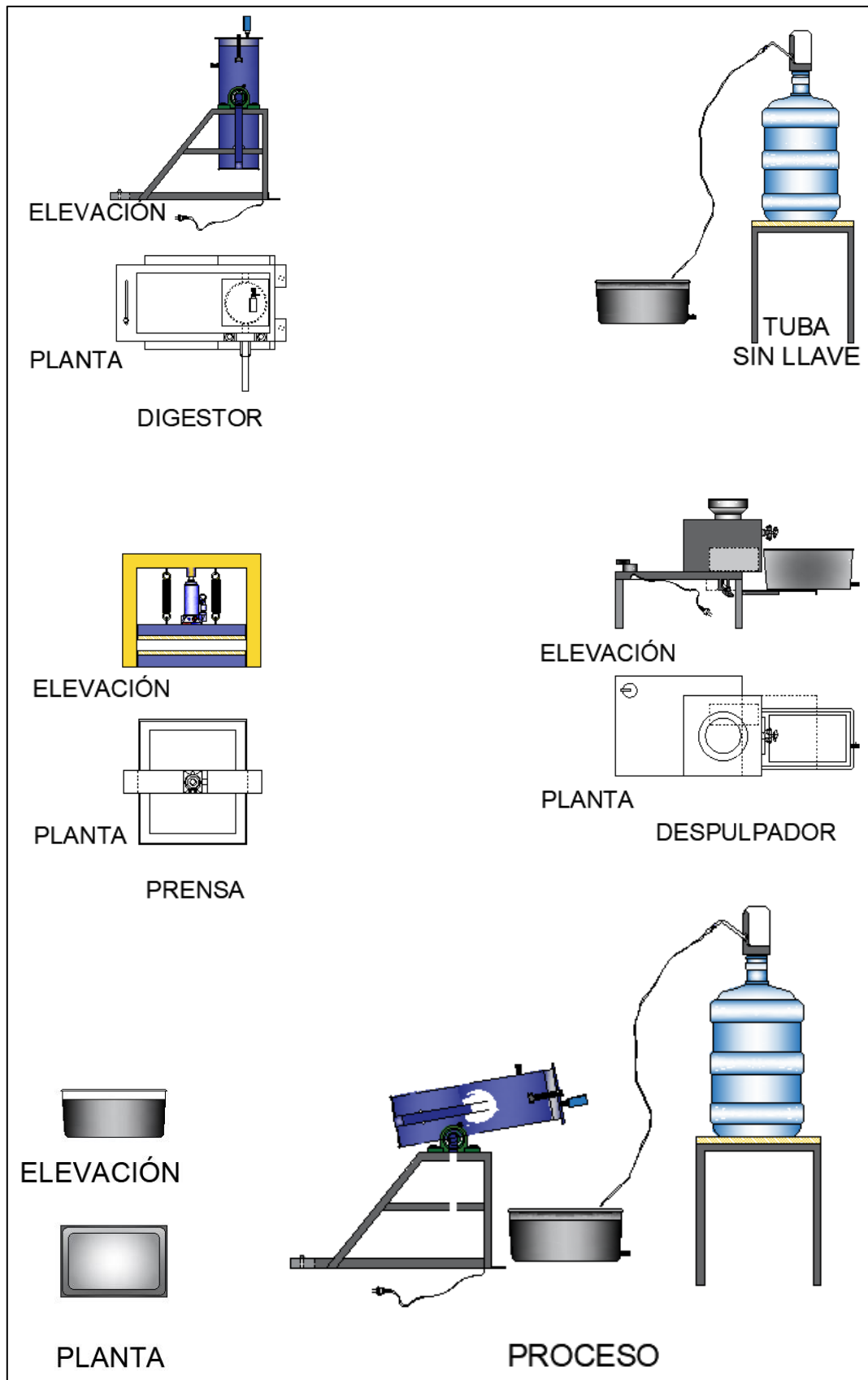
Cristian Tenelanda S.





# ANEXOS

## ANEXO A: ESQUEMA DEL EQUIPO PARA LA ELABORACIÓN DEL PAPEL KRAFT



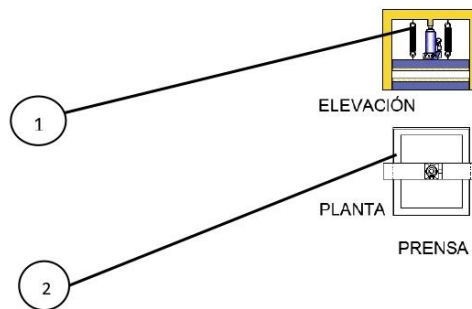
## ANEXO B: FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS Y ACCESORIOS

	<b>FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS Y ACCESORIOS</b>		Fecha: 19/01/2024
			Versión: 01
			Ficha No: 03

<b>NOMBRE DEL EQUIPO:</b>	PRENSA		
<b>MODELO:</b>	-----	<b>FECHA DE COMPRA:</b>	-----
<b>MARCA:</b>	-----	<b>FABRICANTE:</b>	MAJESQUIM
<b>SERIAL:</b>	-----	<b>UBICACIÓN:</b>	RIOBAMBA
<b>CÓD. INVENTARIO:</b>	003	<b>CANTIDAD:</b>	3

Foto del equipo con identificación de sus partes:

1. RESORTES Y GATA HIDRAUHLICA.
2. SUPERFICIE PLANA DE LA PRENSA.



**NOMBRE DEL EQUIPO:** PRENSA.

### FUNCIÓN Y USOS

La prensa para papel hidráulica es una de las mejores soluciones ayudando a reducir el volumen líquido contenidos en la celulosa.

Prensa hidráulica para el prensado de hojas húmedas de pasta y papel bajo condiciones normalizadas. Utilizada cuando obtenemos las hojas en los formadores manuales y semiautomáticos. Se realiza el prensado de las hojas manualmente utilizando la máxima presión de prensado en dos fases, una primera con tela y en medio el papel de celulosa húmeda hasta obtener un papel secante y una segunda retirando los papeles ya deshidratados, sustituyéndolos por nuevos. Tiempo de prensado de 5 y 2 min a 200 kPa de presión.

### DESCRIPCION FISICA:

Prensa hidráulica en acero capaz de presionar hasta 2 kilos de papel de celulosa en forma apilada

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

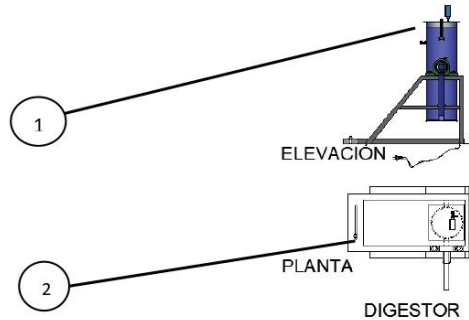
Material: acero negro con pintura epoxica  
Capacidad: 2 kilos

<b>Elaboró:</b>	<b>Revisó:</b>	<b>Aprobó:</b>
-----------------	----------------	----------------

<b>NOMBRE DEL EQUIPO:</b>	DIGESTOR		
<b>MODELO:</b>	-----	<b>FECHA DE COMPRA:</b>	-----
<b>MARCA:</b>	-----	<b>FABRICANTE:</b>	MAJESQUIM
<b>SERIAL:</b>	-----	<b>UBICACIÓN:</b>	RIOBAMBA
<b>CÓD. INVENTARIO:</b>	001	<b>CANTIDAD:</b>	1

Foto del equipo con identificación de sus partes:

1. DIGESTOR DE PAPEL KRAFT.
2. ESTRUCTURA DE ELEVACION.



**NOMBRE DEL EQUIPO:** DIGESTOR.

**FUNCIÓN Y USOS**

El proceso de obtención de pulpa Kraft implica cocinar haciendo uso del digester. Durante la cocción, las virutas y el licor de cocción se introducen en un digester para que la reacción de obtención de pulpa tenga lugar bajo presión y alta temperatura. Después de la cocción, la pulpa pasa a la sección de lavado donde las arandelas difusoras separan el licor negro de las fibras mediante el lavado con licor de lavado o agua.

**DESCRIPCION FISICA:**

Digester tipo olla para capacidad de 5 litros de agua y 5 kilos de material maderable en estado triturado.

**ESPECIFICACIONES TECNICAS:**

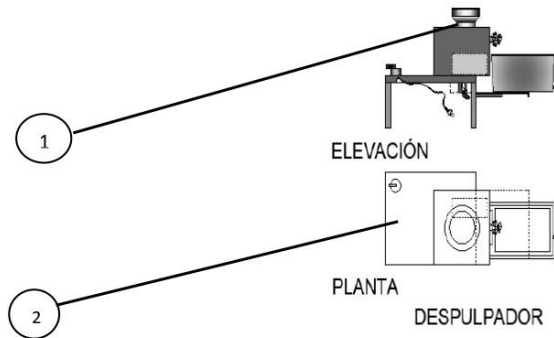
Material: acero negro recubierto en su interior con pintura epoxica  
 Capacidad: 5 litros

<b>Elaboró:</b>	<b>Revisó:</b>	<b>Aprobó:</b>
-----------------	----------------	----------------

<b>NOMBRE DEL EQUIPO:</b>	DESPULPADOR		
<b>MODELO:</b>	-----	<b>FECHA DE COMPRA:</b>	-----
<b>MARCA:</b>	-----	<b>FABRICANTE:</b>	MAJESQUIM
<b>SERIAL:</b>	-----	<b>UBICACIÓN:</b>	RIOBAMBA
<b>CÓD. INVENTARIO:</b>	002	<b>CANTIDAD:</b>	2

Foto del equipo con identificación de sus partes:

1. TOLVA Y TORNILLO GIRATORIO
2. MESA.



<b>NOMBRE DEL EQUIPO:</b>	DESPULPADOR.
---------------------------	--------------

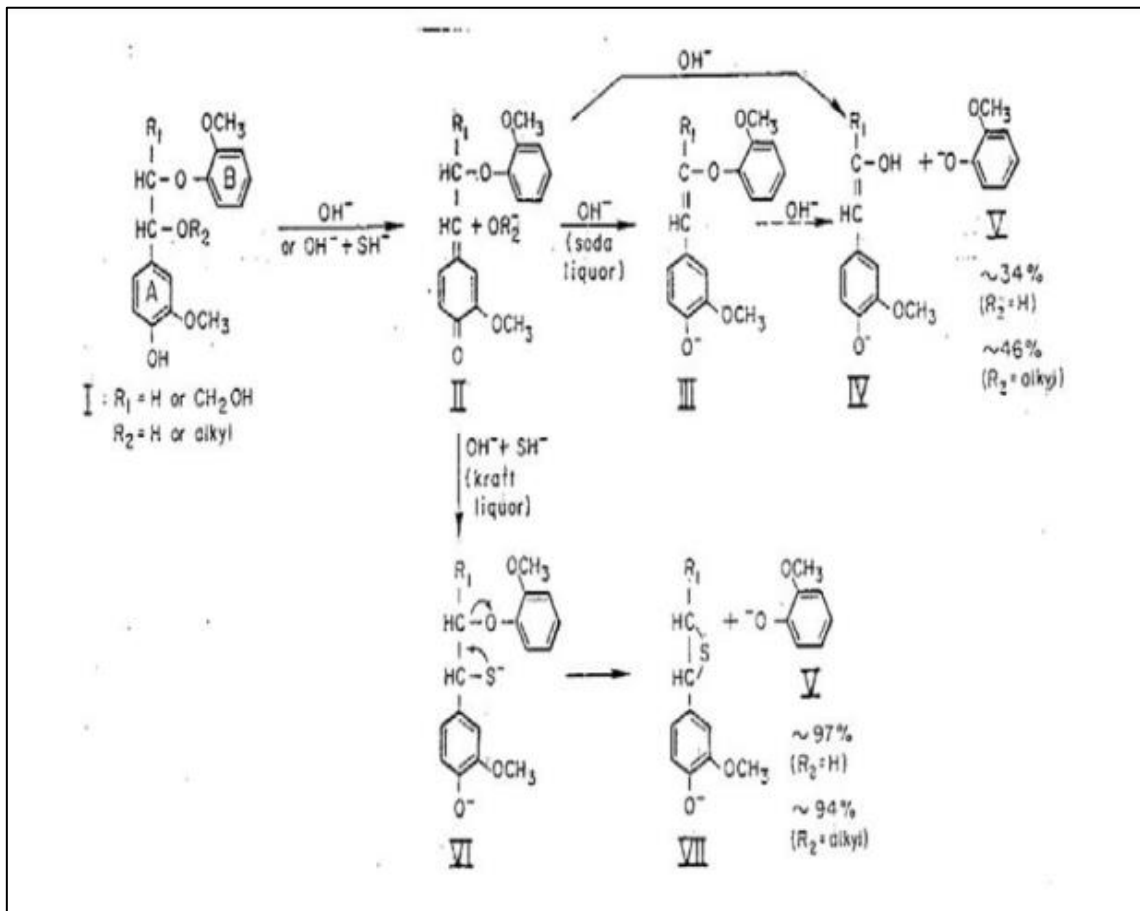
**FUNCIÓN Y USOS**  
 Despulpadora de Cilindro horizontal centrifugado que permite un despulpado de La celulosa uniforme, fabricado en aluminio para hacerlo más resistente al desgaste, impactos y corrosión; pechero continuo mecanizado en fresadora, con profundidad de vena constante a lo largo y ancho de la vena para evitar trilla y cascaneo; Cuerpos en lámina en acero inoxidable y el chasis recibe tratamiento con pintura electrostática. Volante mixto de 2 pulgadas que permite ser accionada desde el motor de ½ hp con banda plana o banda en V.

**DESCRIPCION FISICA:**  
 Despulpador para capacidad de pulverizar 1 kilo x minuto.

**ESPECIFICACIONES TECNICAS:**  
 Material: , fabricado en aluminio, Cuerpos en lámina en acero inoxidable y el chasis recibe pintura electrostática.  
 Volante mixto de 2 pulgadas que permite ser accionada desde el motor de ½ hp con banda plana o banda en V.  
 Capacidad: pulverizar 1 kilo x minuto

<b>Elaboró:</b>	<b>Revisó:</b>	<b>Aprobó:</b>
-----------------	----------------	----------------

### ANEXO C: REACCIÓN QUE OCURRE EN LA ELABORACIÓN DE PAPEL KRAFT



## ANEXO D: ELABORACIÓN DE PAPEL KRAFT BLANCO



**Imagen 1:** Pesaje de la cascarilla de Cacao



**Imagen 2:** Pesaje del bagazo de caña de azúcar



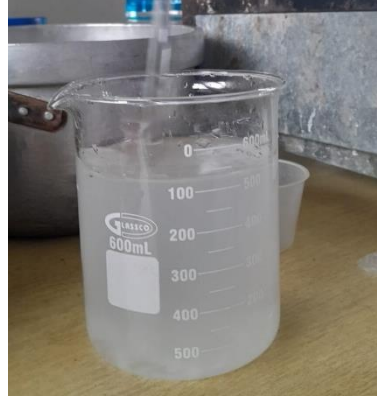
**Imagen 3:** Hidrólisis de la cascarilla con Bagazo de Caña



**Imagen 4:** Filtrado de la hidrólisis



**Imagen 5:** Pesado del Hidróxido de Sodio para la cocción



**Imagen 6:** Medición del agua papelox para la cocción.



**Imagen 7:** Cocción de los residuos en el digester Schaltleistung



**Imagen 8:** Filtrado de la pulpa del agua con lignina



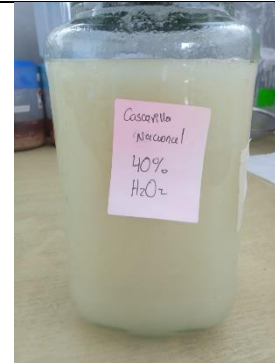
**Imagen 9:** Lavado de la pulpa



**Imagen 10:** Pulpeado



**Imagen 11:** Adición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>



**Imagen 12:** Proceso de blanqueo



**Imagen 13:** Separación del peróxido de hidrógeno de la pulpa





**Imagen 14:** Lavado de la pulpa blanqueada



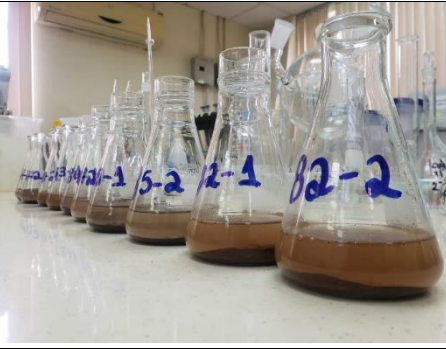





**Imagen 15:** Disgregación de la pulpa de celulosa blanqueada



**Imagen 16:** Recolección de la pulpa con el bastidor

	
<p><b>Imagen 17:</b> Prensado</p>	<p><b>Imagen 18:</b> Secado</p>

**ANEXO E: CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA**

	
<p><b>Imagen 1:</b> Extracción de azúcares solubles y grasas</p>	<p><b>Imagen 2:</b> Determinación del contenido de Lignina/Preparación de la muestra</p>
	
<p><b>Imagen 3:</b> Separación de la lignina de la Pulpa de Celulosa en el equipo Dosi Fiber</p>	<p><b>Imagen 4:</b> Secado de la pulpa de celulosa en la Estufa</p>
	
<p><b>Imagen 5:</b> Determinación de Celulosa</p>	<p><b>Imagen 6:</b> Determinación de Celulosa/Muestra con peso constante</p>



## ANEXO F: OBTENCIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR



**Imagen 1:** Negocio de Jugos "El propio Jugo de Caña"









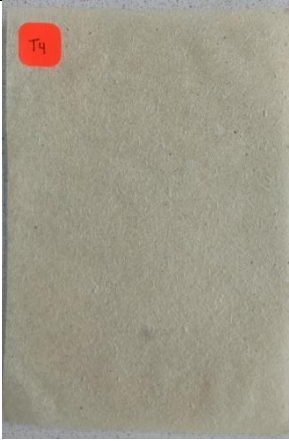



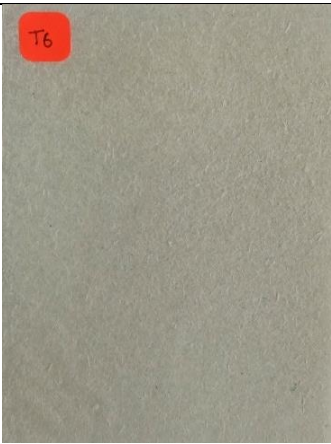
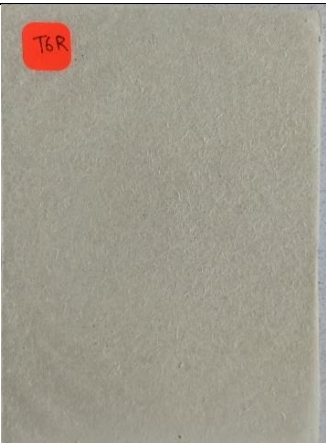
**Imagen 2:** Recolección del Bagazo de Caña

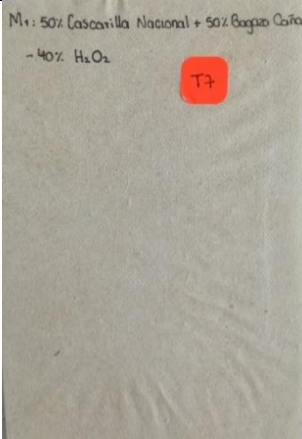
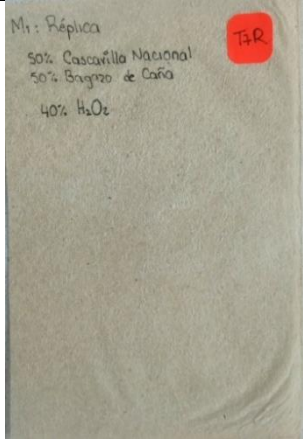
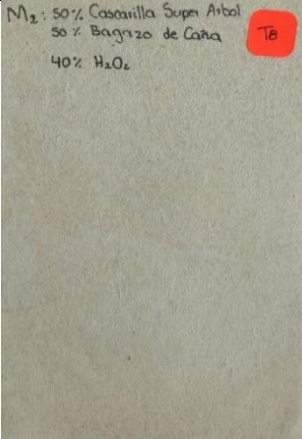

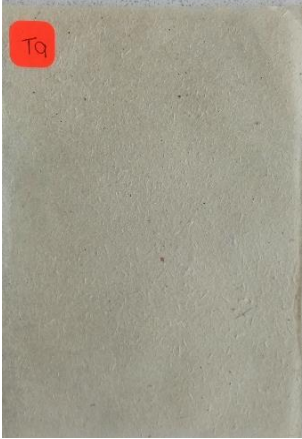





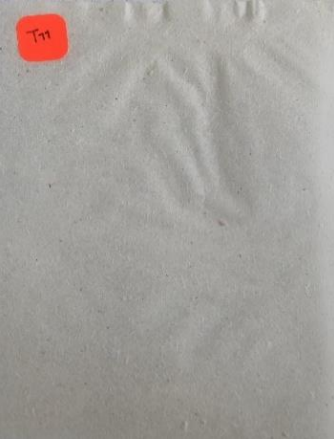

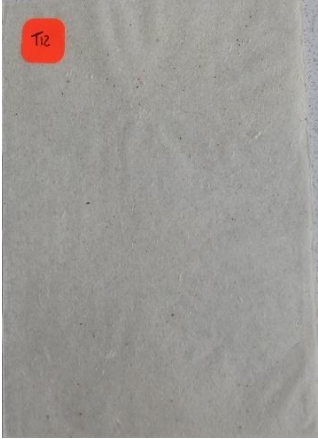

**Imagen 3:** Mapa de ubicación del sitio de muestreo del bagazo de caña

**ANEXO G: PAPEL ELABORADO POR TRATAMIENTOS**


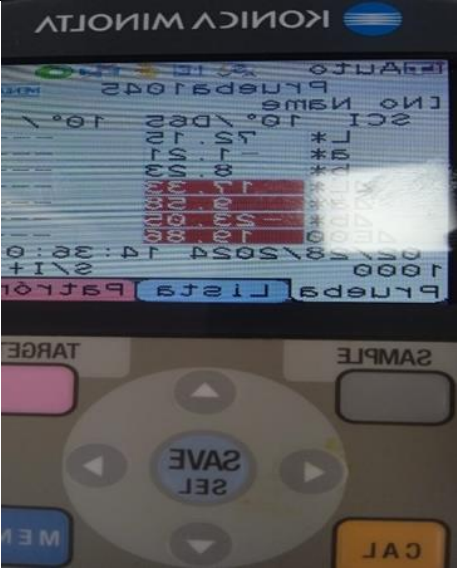


	
<p><b>Imagen 1:</b> T1 (Cascarilla Nacional + Bagazo de Caña +0% blanqueador)</p>	<p><b>Imagen 2:</b> T1R (Repetición de la muestra T1)</p>
	
<p><b>Imagen 3:</b> T2 (Cascarilla CCN 51+Bagazo de Caña + 0% blanqueador)</p>	<p><b>Imagen 4:</b> T2R (Repetición de la muestra T2)</p>
	
<p><b>Imagen 5:</b> T3 (Cascarilla Súper Árbol + Bagazo de Caña+0% blanqueador)</p>	<p><b>Imagen 6:</b> T3R. Repetición de la muestra T3</p>

	
<p><b>Imagen 7:</b> T4 (Cascarilla Nacional + Bagazo de Caña+ 30% blanqueador)</p>	<p><b>Imagen 8:</b> T4R (Repetición de la muestra T4)</p>
	
<p><b>Imagen 9:</b> T5 (Cascarilla CCN 51+Bagazo de Caña + 30% blanqueador)</p>	<p><b>Imagen 10:</b> T5R (Repetición de la muestra T5)</p>
	
<p><b>Imagen 11:</b> T6 (Cascarilla Súper Árbol + Bagazo de Caña+ 30% blanqueador)</p>	<p><b>Imagen 12:</b> T6R (Repetición de la muestra T6)</p>

	
<p><b>Imagen 13:</b> T7 (Cascarilla Nacional+ Bagazo de Caña + 40% blanqueador)</p>	<p><b>Imagen 14:</b> T7R (Repetición de la muestra T7)</p>
	
<p><b>Imagen 15:</b> T8. Cascarilla CCN 51 + Bagazo de Caña+ 40% blanqueador</p>	<p><b>Imagen 16:</b> T8R. Repetición de la muestra T9</p>
	
<p><b>Imagen 17:</b> T9 (Súper Árbol +40% blanqueador)</p>	<p><b>Imagen 18:</b> T9R (Repetición de la muestra) T9</p>

	
<p><b>Imagen 19:</b> T10 (Cascarilla Nacional + Bagazo de Caña 50% blanqueador)</p>	<p><b>Imagen 20:</b> Repetición de la muestra T10</p>
	
<p><b>Imagen 21:</b> T11 (Cascarilla Nacional CCN 51 + 50% blanqueador)</p>	<p><b>Imagen 22:</b> Repetición de la muestra T11</p>
	
<p><b>Imagen 23:</b> T12 (Cascarilla Súper Árbol + 50% blanqueador)</p>	<p><b>Imagen 24:</b> Repetición de la muestra T12</p>



## ANEXO H: MEDICIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

	
<p><b>Imagen 1:</b> Procedimiento de medición de Blancura</p>	<p><b>Imagen 2:</b> Valores de las coordenadas obtenidas en Colorímetro</p>
	
<p><b>Imagen 3:</b> Medición de Espesor</p>	<p><b>Imagen 4:</b> Pruebas de Resistencia a la tensión</p>



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 23/07/2024

<b>INFORMACIÓN DE LA AUTORA</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Angie Gabriela Cevallos Vera
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Ambiental
<div style="text-align: center;"> <b>Ing. Greys Carolina Herrera Morales, MSc.</b> <b>Director del Trabajo de Titulación</b></div> <div style="text-align: center;"> <b>Ing. Pablo Danilo Carrera Oscullo, MSc</b> <b>Asesor del Trabajo de Titulación</b></div>