



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

**EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA KURSCHNER Y  
HOFFNER EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL KRAFT A PARTIR  
DE LA CASCARILLA DE CACAO (*Theobroma cacao*)  
UTILIZANDO ADITIVOS DERIVADOS DEL PSEUDOTALLO DE  
PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) Y JACARANDÁ (*Jacaranda copaia*)**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES:** LUIS MAXIMILIANO MORENO PALACIOS  
JUAN ANDRÉS RAMOS CAPUZ

**DIRECTOR:** Ing. PABLO DANILO CARRERA OSCULLO, MSc.

El Coca – Ecuador

2024

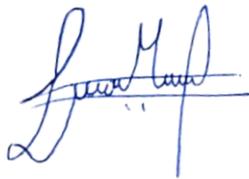
© 2024, Luis Maximiliano Moreno Palacios & Juan Andrés Ramos Capuz

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

Nosotros, Luis Maximiliano Moreno Palacios y Juan Andrés Ramos Capuz, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

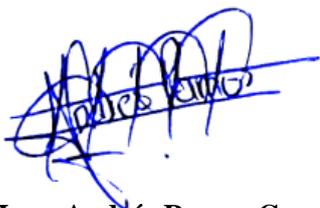
Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El Coca, 28 de junio de 2024



**Luis Maximiliano Moreno Palacios**

**225004447-2**



**Juan Andrés Ramos Capuz**

**180531478-6**

**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 LA METODOLOGÍA KURSCHNER Y HOFFNER EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL KRAFT A PARTIR DE LA CASCARILLA DE CACAO (*Theobroma cacao*) UTILIZANDO ADITIVOS DERIVADOS DEL PSEUDOTALLO DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) Y JACARANDÁ (*Jacaranda copaia*)**, realizado por los señores: **LUIS MAXIMILIANO MORENO PALACIOS & JUAN ANDRÉS RAMOS CAPUZ**, 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.

	FIRMA	FECHA
Ing. Carlos Mestanza Ramón, PhD <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2024-06-28
Ing. Pablo Danilo Carrera Oscullo, MSc. <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-06-28
Ing. Mirian Yolanda Jiménez Gutiérrez, MSc. <b>ASESORA DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-06-28

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Shirley Palacios y Luis Moreno, quienes han sido una fuente constante de inspiración y apoyo a lo largo de este viaje académico brindándome de su amor, sabiduría y aliento inquebrantable me han guiado en los momentos de dificultad dotándome de sabiduría, fuerza y coraje para finalizar mis estudios, ya que siempre me apoyaron a pesar de todas las dificultades que se presentaron, comprendiendo que todo sacrificio tiene su recompensa. A mis mejores amigos Miguel, Mario, Cristhian, Loana, Camila y Alice a quienes considero como mis hermanos a pesar de que no cuento con uno que con sus palabras llenas de motivación y momentos únicos de alegría siempre me mantuvieron firme y enfocado de lograr este objetivo personal de vida. A todos los profesores que me brindaron su conocimiento y me guiaron en el camino del saber. A mí mismo por nunca rendirme en el proceso de cumplir mis sueños. A aquellas personas cuyas acciones, tanto individuales como colectivas, han demostrado su compromiso con la transformación del entorno en el que habitamos. Su influencia benevolente ha sido evidente en los momentos de prosperidad y adversidad de mi camino académico. Reconozco y valoro su contribución en la construcción de un mundo mejor, y este trabajo representa un tributo a su impacto en mi desarrollo personal y académico.

Luis

Este trabajo lo dedico a mis padres Wady Ramos y Manuela Capuz que han sido mi inspiración y apoyo en toda mi formación académica, motivándome a seguir adelante a pesar de todas las circunstancias presentadas en mi trayecto universitario. A mi hijo César, a mi pareja Belén por estar siempre conmigo y nunca dejarme decaer. A mis abuelas Hilda y Natividad, mi hermano en el cielo Rolando, mis hermanas Katherine e Irma, primos y mis tíos que supieron siempre ser un apoyo a pesar de la distancia, a mis amigos Bryan, Hernán, Vinicio, Christian, Damián que con sus chistes y palabras de motivación me mantenían firme para alcanzar esta meta propuesta. A todos los profesores que me impartieron sus enseñanzas y me orientaron en el camino del conocimiento. Y sobre todo a mí mismo por nunca haber dejado de luchar por cumplir mis sueños. A todas las personas que con sus acciones tanto directas o indirectamente tratan de cambiar la realidad del mundo en el que vivimos, y que de una forma u otra me supieron ayudar en las buenas y en las malas.

Juan

## AGRADECIMIENTO

Ante todo agradezco infinita y profundamente a Dios por bendecirme y guiarme siempre desde mi existencia en los mejores caminos de la vida brindándome de sabiduría, humildad, constancia y responsabilidad para lograr lo que hoy en día considero una de mis metas de vida personal. A mis padres Shirley y Luis por el arduo sacrificio, esfuerzo, apoyo y confianza que depositaron en mi día a día desde que llegue a este mundo sin importar las dificultades que siempre se van presentando a lo largo de la vida, forjándome a ser quien soy, una persona con inmensos valores, ética y moral. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darme la oportunidad de estudiar y permitirme culminar una de las etapas de mi vida tan anhelada. A los profesores de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Sede Orellana que fueron parte fundamental de mi formación profesional. Al Ing. Pablo Carrera, Ing. Mirian Jiménez y a la Ing. Greys Herrera por dedicar de su tiempo, conocimiento y apoyo en la elaboración del presente Trabajo de Integración Curricular.

Luis

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por la vida, por bendecirme con sabiduría, responsabilidad, paciencia y fe de poder lograr las metas que me he propuesto, ya que Él siempre ha estado conmigo y nunca me ha dejado decaer en momentos difíciles que he tenido que sobrellevar. Infinitamente a mis padres Wady y Manuela por el sacrificio, esfuerzo, apoyo y confianza que depositaron en mi día tras día sin importar las dificultades que se presentaban, por regalarme su conocimiento de seguir creciendo de a poco, gracias por ayudarme económica y emocionalmente para lograr esta meta, ya que ellos son los mejores padres que Dios me pudo dar. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darme la oportunidad de estudiar y permitirme culminar una de las etapas de mi vida tan anhelada. A los profesores de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Sede Orellana que fueron parte fundamental de mi formación profesional. A mi tutor Ing. Pablo Carrera, a mi asesora Mirian Jiménez por dedicar tiempo de calidad y colaborar con sus conocimientos en el desarrollo y finalización de esta investigación, a la Ing. Greys Herrera por sus conocimientos y apoyo brindado en realizar el presente Trabajo de Investigación Curricular.

Juan

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Objetivos .....	3
1.1.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.1.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.3. Justificación .....	3
1.4. Hipótesis.....	4
1.4.1. <i>Hipótesis nula</i> .....	4
1.4.2. <i>Hipótesis alternativa</i> .....	4

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Papel Kraft.....	5
2.1.1. <i>Composición química del papel Kraft</i> .....	5
2.1.1.1. <i>Celulosa</i> .....	5
2.1.1.2. <i>Hemicelulosas</i> .....	6
2.1.1.3. <i>Lignina</i> .....	7
2.1.2. <i>Propiedades físicas</i> .....	7
2.1.2.1. <i>Gramaje</i> .....	7

2.1.2.2.	<i>Espesor</i> .....	8
2.1.2.3.	<i>Densidad</i> .....	8
2.1.2.4.	<i>Contenido de humedad</i> .....	8
2.1.2.5.	<i>Capacidad de adsorción de agua</i> .....	8
2.1.2.6.	<i>Resistencia a la tensión</i> .....	9
2.1.2.7.	<i>Resistencia a la comprensión</i> .....	9
2.1.2.8.	<i>Resistencia al rasgado</i> .....	10
2.2.	<b>Método de Kurschner y Hoffner</b> .....	10
2.3.	<b>Cacao (<i>Theobroma cacao</i>)</b> .....	11
2.3.1.	<i>Morfología</i> .....	11
2.3.2.	<i>Partes del fruto</i> .....	12
2.3.3.	<i>Variedades</i> .....	12
2.3.3.1.	<i>Nacional</i> .....	12
2.3.3.2.	<i>CCN51</i> .....	12
2.3.3.3.	<i>Super árbol (ESS)</i> .....	13
2.4.	<b>Plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)</b> .....	13
2.4.1.	<i>Morfología</i> .....	14
2.5.	<b>Jacarandá (<i>Jacaranda copaia</i>)</b> .....	14
2.5.1.	<i>Morfología</i> .....	15
2.6.	<b>Análisis estadísticos</b> .....	15
2.6.1.	<i>Hipótesis</i> .....	15
2.6.2.	<i>Diseño factorial AxB</i> .....	16
2.6.3.	<i>Análisis de la varianza (ANOVA)</i> .....	17
2.6.4.	<i>Supuestos del ANOVA</i> .....	17
2.6.4.1.	<i>Normalidad</i> .....	17
2.6.4.2.	<i>Homogeneidad de varianzas</i> .....	18
2.6.4.3.	<i>Independencia</i> .....	19

### CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.</b>	<b>Tipo de investigación .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.</b>	<b>Ubicación.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.</b>	<b>Materiales .....</b>	<b>22</b>
<b>3.4.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>22</b>
<b>3.4.1.</b>	<i>Determinación del contenido de lignina y celulosa en la cascarilla de varias variedades de cacao, en los residuos del pseudotallo de plátano y de madera de jacarandá, para la identificación de su potencial para la producción de papel Kraft .....</i>	<i>22</i>
<b>3.4.1.1.</b>	<i>Paso 1. Extracción de azúcares solubles y grasas.....</i>	<i>22</i>
<b>3.4.1.2.</b>	<i>Paso 2. Determinación de lignina.....</i>	<i>23</i>
<b>3.4.1.3.</b>	<i>Paso 3. Determinación de celulosa.....</i>	<i>23</i>
<b>3.4.2.</b>	<i>Elaboración de papel Kraft utilizando la metodología Kurschner y Hoffner, mediante un diseño experimental que involucre el uso de la cascarilla de varias variedades de cacao y de diferentes proporciones de los residuos del pseudotallo de plátano y de madera de jacarandá. ....</i>	<i>24</i>
<b>3.4.2.1.</b>	<i>Diseños experimentales.....</i>	<i>24</i>
<b>3.4.2.2.</b>	<i>Procedimiento para la elaboración del papel Kraft .....</i>	<i>25</i>
<b>3.4.3.</b>	<i>Establecimiento del espesor y la resistencia a la tensión del papel Kraft mediante una metodología adecuada, para la verificación del cumplimiento de los lineamientos del papel de uso industrial de las normas INEN, ISO y TAPPI.....</i>	<i>27</i>
<b>3.4.3.1.</b>	<i>Determinación del espesor.....</i>	<i>28</i>
<b>3.4.3.2.</b>	<i>Determinación de la resistencia a la tensión.....</i>	<i>28</i>
<b>3.4.3.3.</b>	<i>Análisis estadístico.....</i>	<i>28</i>

### CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1.</b>	<b>Contenido de lignina y celulosa en la cascarilla de varias variedades de cacao, en los residuos del pseudotallo de plátano y de madera de jacarandá, para la identificación de su potencial para la producción de papel Kraft. ....</b>	<b>30</b>

4.1.1.	<i>Determinación del contenido de lignina y celulosa de las variedades de cacao</i> .....	30
4.1.1.1.	<i>Contenido de lignina de las variedades de cacao</i> .....	30
4.1.1.2.	<i>Contenido de celulosa de las variedades de cacao</i> .....	32
4.1.2.	<i>Determinación del contenido de lignina y celulosa de los aditivos (madera de jacarandá y pseudotallo de plátano)</i> .....	34
4.1.2.1.	<i>Contenido de lignina de los aditivos</i> .....	34
4.1.2.2.	<i>Contenido de celulosa de los aditivos</i> .....	36
4.2.	<b>Papel Kraft elaborado utilizando la metodología Kurschner y Hoffner, mediante un diseño experimental que involucra el uso de la cascarilla de varias variedades de cacao y de diferentes proporciones de los residuos del pseudotallo de plátano y de madera de jacarandá</b> .....	37
4.3.	<b>Espesor y resistencia a la tensión del papel Kraft para la verificación del cumplimiento de los lineamientos del papel de uso industrial de las normas INEN, ISO y TAPPI</b> .....	39
4.3.1.	<i>Análisis estadístico del espesor y resistencia a la tensión del papel Kraft elaborado con pseudotallo de plátano</i> .....	41
4.3.1.1.	<i>Espesor del papel Kraft elaborado con pseudotallo de plátano</i> .....	42
4.3.1.2.	<i>Resistencia a la tensión del papel Kraft elaborado con pseudotallo de plátano</i> .....	45
4.3.2.	<i>Análisis estadístico del espesor y resistencia a la tensión del papel Kraft elaborado con madera de jacarandá</i> .....	47
4.3.2.1.	<i>Espesor del papel Kraft elaborado con madera de jacarandá</i> .....	47
4.3.2.2.	<i>Resistencia a la tensión del papel Kraft elaborado con madera de jacarandá</i> .....	49
4.3.3.	<i>Comparación del espesor y de la resistencia a la tensión frente a las normas INEN, ISO Y TAPPI</i> .....	52
4.4.	<b>Discusión</b> .....	54
4.5.	<b>Comprobación de la hipótesis</b> .....	57

## CAPÍTULO V

5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	58
5.1.	<b>Conclusiones</b> .....	58
5.2.	<b>Recomendaciones</b> .....	59

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Ensayos para evaluar la resistencia a compresión del papel.....	9
<b>Tabla 2-2:</b> Tipos de cocción para el método Kurschner y Hoffner.....	10
<b>Tabla 2-3:</b> Taxonomía del Cacao ( <i>Theobroma cacao</i> ) .....	11
<b>Tabla 2-4:</b> Morfología del Cacao ( <i>Theobroma cacao</i> ) .....	11
<b>Tabla 2-5:</b> Partes del fruto de Cacao ( <i>Theobroma cacao</i> ) .....	12
<b>Tabla 2-6:</b> Taxonomía del plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ).....	13
<b>Tabla 2-7:</b> Morfología del plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ).....	14
<b>Tabla 2-8:</b> Taxonomía del Jacarandá ( <i>Jacaranda copaia</i> ).....	15
<b>Tabla 2-9:</b> Morfología del Jacarandá ( <i>Jacaranda copaia</i> ).....	15
<b>Tabla 3-1:</b> Ubicación de las materias primas .....	21
<b>Tabla 3-2:</b> Compuestos, materiales y equipos/instrumentos empleados en la investigación .....	22
<b>Tabla 3-3:</b> Combinación de porcentajes de materia prima con pseudotallo de plátano .....	24
<b>Tabla 3-4:</b> Combinación de porcentajes de materia prima con madera de jacarandá .....	25
<b>Tabla 3-5:</b> Límites de propiedades de papel según normativa para uso industrial .....	28
<b>Tabla 4-1:</b> Porcentaje de lignina de las variedades de cacao .....	30
<b>Tabla 4-2:</b> Análisis descriptivo de los porcentajes de lignina de las variedades de cacao.....	31
<b>Tabla 4-3:</b> Análisis ANOVA de los porcentajes de lignina de las variedades de cacao .....	31
<b>Tabla 4-4:</b> Porcentaje de celulosa de las variedades de cacao .....	32
<b>Tabla 4-5:</b> Análisis descriptivo de los porcentajes de celulosa de las variedades de cacao.....	33
<b>Tabla 4-6:</b> Análisis ANOVA de los porcentajes de celulosa de las variedades de cacao .....	33
<b>Tabla 4-7:</b> Porcentaje de lignina de los aditivos .....	34
<b>Tabla 4-8:</b> Análisis descriptivo de los porcentajes de lignina de los aditivos.....	35
<b>Tabla 4-9:</b> Análisis ANOVA de los porcentajes de lignina de los aditivos .....	35
<b>Tabla 4-10:</b> Porcentaje de celulosa de los aditivos .....	36
<b>Tabla 4-11:</b> Análisis descriptivo de los porcentajes de celulosa de los aditivos.....	36
<b>Tabla 4-12:</b> Análisis ANOVA de los porcentajes de celulosa de los aditivos .....	37
<b>Tabla 4-13:</b> Hojas de papel Kraft elaborados con pseudotallo de plátano .....	38

<b>Tabla 4-14:</b> Hojas de papel Kraft elaborados con madera de jacarandá .....	38
<b>Tabla 4-15:</b> Propiedades físicas del papel Kraft elaborado con pseudotallo de plátano .....	40
<b>Tabla 4-16:</b> Propiedades físicas del papel Kraft elaborado con madera de jacarandá .....	41
<b>Tabla 4-17:</b> Análisis ANOVA del espesor de los papeles Kraft con pseudotallo de plátano ....	42
<b>Tabla 4-18:</b> Prueba LSD de Fisher para la media de espesor de las variedades de cacao. ....	42
<b>Tabla 4-19:</b> Prueba LSD de Fisher para la media de espesor de la dosis del aditivo.....	43
<b>Tabla 4-20:</b> Prueba LSD de Fisher para el espesor con pseudotallo de plátano .....	44
<b>Tabla 4-21:</b> Análisis ANOVA de la resistencia a la tensión de los papeles Kraft con pseudotallo de plátano.....	45
<b>Tabla 4-22:</b> Prueba LSD de Fisher para la resistencia a la tensión con pseudotallo de plátano	46
<b>Tabla 4-23:</b> Análisis ANOVA del espesor de los papeles Kraft con madera de jacarandá .....	47
<b>Tabla 4-24:</b> Prueba LSD de Fisher para el espesor con madera de jacarandá .....	48
<b>Tabla 4-25:</b> Análisis ANOVA de la resistencia a la tensión de los papeles Kraft con madera de jacarandá.....	49
<b>Tabla 4-26:</b> Prueba LSD de Fisher para la media de resistencia a la tensión de las variedades de cacao.....	50
<b>Tabla 4-27:</b> Prueba LSD de Fisher para la media de resistencia a la tensión de la dosis del aditivo .....	50
<b>Tabla 4-28:</b> Prueba LSD de Fisher para la resistencia a la tensión con madera de jacarandá ...	51
<b>Tabla 4-29:</b> Propiedades físicas frente a normativas con el aditivo pseudotallo de plátano .....	53
<b>Tabla 4-30:</b> Propiedades físicas frente a normativas con el aditivo madera de jacarandá .....	54
<b>Tabla 4-31:</b> Porcentaje de celulosa de materias prima con otras investigaciones.....	55
<b>Tabla 4-32:</b> Porcentaje de lignina de materias prima con otras investigaciones.....	55

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b> Estructura química de la celulosa .....	6
<b>Ilustración 2-2:</b> Estructura química de las hemicelulosas .....	6
<b>Ilustración 2-3:</b> Estructura química de la lignina .....	7
<b>Ilustración 3-1:</b> Ubicación de los sitios de recolección de las materias primas .....	21
<b>Ilustración 3-2:</b> Diagrama de flujo para la elaboración de papel Kraft .....	26
<b>Ilustración 4-1:</b> Porcentaje de lignina de las variedades de cacao.....	32
<b>Ilustración 4-2:</b> Porcentaje de celulosa de las variedades de cacao.....	34
<b>Ilustración 4-3:</b> Porcentaje de lignina de los aditivos.....	35
<b>Ilustración 4-4:</b> Porcentaje de celulosa de los aditivos.....	37
<b>Ilustración 4-5:</b> Papel Kraft elaborado con madera jacarandá (T <sub>6</sub> ) .....	39
<b>Ilustración 4-6:</b> Interacción para el espesor con pseudotallo de plátano .....	43
<b>Ilustración 4-7:</b> Residuos para espesor con pseudotallo de plátano .....	44
<b>Ilustración 4-8:</b> Interacción para la resistencia a la tensión con pseudotallo de plátano .....	45
<b>Ilustración 4-9:</b> Residuos para resistencia a la tensión con Pseudotallo de plátano .....	47
<b>Ilustración 4-10:</b> Interacción para el espesor con madera de jacarandá .....	48
<b>Ilustración 4-11:</b> Residuos para espesor con madera de jacarandá .....	49
<b>Ilustración 4-12:</b> Interacción para la resistencia a la tensión con madera de jacarandá .....	51
<b>Ilustración 4-13:</b> Residuos para resistencia a la tensión con madera de jacarandá .....	52
<b>Ilustración 4-14:</b> Espesor con pseudotallo de plátano con respecto a normativas y usos.....	56
<b>Ilustración 4-15:</b> Espesor con madera de jacarandá con respecto a normativas y usos.....	56

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** EXTRACCIÓN DE AZÚCARES SOLUBLES Y GRASAS DE LAS  
VARIEDADES DE CACAO Y ADITIVOS

**ANEXO B:** DETERMINACIÓN DE LIGNINA DE LAS VARIEDADES DE CACAO Y  
ADITIVOS

**ANEXO C:** DETERMINACIÓN DE CELULOSA DE LAS VARIEDADES DE CACAO Y  
ADITIVOS

**ANEXO D:** ELABORACIÓN DEL PAPEL KRAFT

**ANEXO E:** PAPEL KRAFT CON PSEUDOTALLO DE PLÁTANO

**ANEXO F:** PAPEL KRAFT CON MADERA DE JACARANDÁ

**ANEXO G:** MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LAS HOJAS DE PAPEL KRAFT  
ELABORADOS

**ANEXO H:** MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE LAS HOJAS DE PAPEL  
KRAFT ELABORADOS

## RESUMEN

La demanda de producción de papel no sostenible se ha convertido en una amenaza para los recursos naturales. También se suma los residuos agrícolas que no se aprovechan. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la metodología Kurschner y Hoffner en la producción de papel Kraft a partir de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*), utilizando aditivos derivados del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*) y de la madera jacarandá (*Jacaranda copaia*). Para ello, se analizó el contenido de lignina y celulosa de la cascarilla de varias variedades de cacao y de los aditivos. Segundo, para cada tipo de aditivo, se utilizó un diseño experimental AxB para elaborar papel Kraft, donde los factores fueron la variedad de cacao (CCN51, Nacional, Super Árbol) y la dosis del aditivo (0, 25, 50, 75) por ciento. Tercero, se analizaron el espesor y la resistencia a la tensión de los papeles Kraft elaborados con las normas para uso industrial. Los resultados mostraron que, en la materia prima, el contenido de lignina y celulosa de todas las variedades de cacao fue estadísticamente igual. En cuanto a los aditivos, la madera jacarandá tuvo un mayor contenido de lignina y celulosa que el pseudotallo de plátano. Por otra parte, en los papeles elaborados con pseudotallo de plátano como aditivo, se observó que todos los papeles cumplieron con los valores de espesor establecidos en las normas, pero no cumplieron con los límites de resistencia a la tensión para uso industrial. Finalmente, en los papeles elaborados con madera de jacarandá como aditivo, sólo los tratamientos Super Árbol-0 por ciento, Nacional-0 por ciento y CCN51-0 por ciento cumplieron con los valores de espesor establecidos en las normas; sin embargo, se observó que ningún papel cumplió con los valores de resistencia a la tensión para uso industrial.

**Palabras clave:** <PAPEL KRAFT>, <KURSCHNER Y HOFFNER>, <CELULOSA>, <CACAO (*Theobroma cacao*)>, <PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) >, <JACARANDÁ (*Jacaranda copaia*) >.

Cristian Tenelanda S.

Ing. Cristian Sebastian Tenelanda S.

0604686709



0949-DBRA-UPT-2024

## ABSTRACT

The demand for unsustainable paper production has become a threat to natural resources. Besides, agricultural residues are not used. The outcome of this research was to evaluate the Kurschner and Hoffner methodology in the production of Kraft paper from cocoa husk (*Theobroma cacao*), using additives derived from banana pseudostem (*Musa paradisiaca*) and jacaranda wood (*Jacaranda copaia*). For this reason, lignin and cellulose husk content in several cocoa varieties were analyzed. Second, for each type of additive, an AxB experimental design was used to produce Kraft paper, where the factors were the cocoa variety (CCN51, Nacional, Super Árbol) and the additive dose (0, 25, 50, 75) percent. Third, the thickness and tensile strength of the Kraft papers produced with the standards for industrial use were analyzed. The final results showed that, in the raw material, the lignin and cellulose content of all cocoa varieties was statistically equal. As for the additives, jacaranda wood had a higher lignin and cellulose content than banana pseudostem. On the other hand, for papers made with banana pseudostem as an additive, it was observed that all papers complied with the thickness values established in the standards, but did not comply with the tensile strength limits for industrial use. Finally, for papers made with jacaranda wood as an additive, only the Super Árbol-0 percent, Nacional-0 percent, and CCN51-0 percent treatments complied with the thickness values established in the standards; however, it was observed that no paper complied with the tensile strength values for industrial use.

**Key words:** <KRAFT PAPER>, <KURSCHNER AND HOFFNER>, <CELLULOSE>, <CACAO (*Theobroma cacao*)>, <PLATANO (*Musa paradisiaca*) >, <JACARANDÁ (*Jacaranda copaia*) >.



Reviewed by

Lic. Licett Ramos I., Mgs.

**ENGLISH PROFESSOR**

C.I 0603066960

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de los siglos, la industria del papel ha sido un pilar fundamental en el desarrollo humano y cultural, sin embargo, este progreso se ha realizado a un costo considerable para el medio ambiente por la cantidad de recursos que conllevan sus procesos de producción (Abengózar, 2022, págs. 30-31). La creciente conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad y la conservación de los recursos naturales ha llevado a la industria a reconsiderar sus prácticas y explorar métodos innovadores para la producción de papel (Accornero et al., 2020, págs. 97-117).

La búsqueda de alternativas ecológicas y económicamente viables ha llevado a la investigación y desarrollo de técnicas que aprovechan los residuos agrícolas y forestales como materias primas para la producción de papel (López et al., 2020, págs. 35-46). Por ejemplo, uno de los residuos que mayor uso ha tenido en las últimas décadas, es el que proviene de la planta de cacao (*Theobroma cacao*), en especial, la cascarilla del grano, la misma que no tiene un uso como tal dentro de la industria, ya que a menudo se desecha, se quema o se utiliza de manera limitada en aplicaciones como fertilizantes (Baldera et al., 2021, pág. 14).

La cascarilla del grano de cacao contiene fibras celulósicas que tienen el potencial de convertirse en papel de alta calidad a través de técnicas adecuadas de procesamiento y fabricación (Baldera et al., 2021, pág.16) como la metodología Kurschner y Hoffner. La cual ha surgido como una técnica innovadora para la producción de papel Kraft a partir de diversas materias primas celulósicas, ya que se basa en la hidrólisis ácida y la posterior extracción de lignina y hemicelulosa, demostrando ser eficaz en la descomposición de la estructura compleja de la celulosa, proporcionando así fibras de alta calidad (Andy, 2020, págs. 2-3).

La aplicación de esta metodología a la cascarilla del grano de cacao se presenta como una oportunidad para aprovechar este recurso y transformarlo en papel Kraft, combinándolo con otros aditivos como los derivados del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*) y del jacarandá (*Jacaranda copaia*). Los pseudotallos de plátano son un residuo abundante, mientras que el jacarandá es un árbol de gran importancia económica que contienen compuestos que pueden mejorar las propiedades del papel como el espesor (Ruiz, 2021, pág. 67; Cardozo et al., 2020, pág.20).

En este contexto, el presente trabajo de integración curricular se enfoca en aplicar y evaluar la metodología Kurschner y Hoffner en la producción de papel Kraft, analizando específicamente el uso de los residuos del pseudotallo de plátano y jacarandá como aditivos para la cascarilla de cacao mediante una propuesta de diseño experimental, con la finalidad de determinar sus propiedades físicas para uso industrial.

## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del problema

La producción de papel ha sido una de las principales fuentes de contaminación y agotamiento de recursos naturales en el mundo, ya que su demanda continua a pesar de ser esencial en innumerables aplicaciones industriales y diarias ejerce una presión significativa sobre los bosques y otros ecosistemas (Ordóñez y Sepúlveda, 2019, pág. 16). Por otra parte, la incineración de residuos agrícolas también es uno de los problemas que provocan impactos negativos al medio ambiente y la salud humana a través de la liberación de diversos gases como dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, mercurio, furanos y otros contaminantes (Rendón, 2021, pág. 4).

En Ecuador, se considera que la producción agrícola produce una gran cantidad de residuos que son desaprovechados, por ejemplo, en el caso específico de la industria cacaotera se hace uso solamente del grano de cacao, lo que genera alrededor del 90% de residuos si se compara con el peso del fruto (Bernal, 2021, págs. 14-15). También, el problema que presenta este residuo es que no tiene un valor comercial por sus características y su contenido orgánico, además, la falta de capacidad y recursos económicos hacen que no tengan un destino productivo (Lock, 2018, pág. 30).

El plátano y la madera también son productos que se cultivan en todo el mundo y después de su cosecha generan grandes cantidades de residuos tales como el pseudotallo de plátano y el aserrín, respectivamente (Ruiz, 2021, pág. 67; Cardozo et al., 2020, pág. 20). No obstante, debido a la escasa investigación, se desconoce si a estos residuos se les puede extraer varios componentes como la celulosa, lignina, hemicelulosa y holocelulosa, los cuales al pasar por un proceso químico, podrían convertirse en excelentes materiales para la elaboración de cartón y papel. Además, estas materias primas podrían ser fortificadas con compuestos celulósicos, potenciando aún más sus propiedades (Huamán y Tapia, 2020, pág. 36).

Actualmente, es innegable la necesidad de encontrar materias primas para la producción de papel más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, por lo que se requiere la exploración de materiales y técnicas innovadoras que minimicen el impacto ambiental y maximicen la eficiencia en el uso de recursos (García et al., 2021, págs. 1-13). En este sentido, la cascarilla del grano de cacao surge como un recurso potencialmente valioso para la producción de papel, no obstante, convertirlo en papel Kraft de alta calidad implica desafíos significativos debido a su compleja estructura química y fibrosa.

## **1.2. Objetivos**

### ***1.1.1. Objetivo general***

Evaluar la metodología Kurschner y Hoffner en la producción de papel Kraft a partir de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*) y de residuos del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*) y de madera de jacarandá (*Jacaranda copaia*), para la comprensión de su viabilidad para uso industrial.

### ***1.1.2. Objetivos específicos***

- Determinar el contenido de lignina y celulosa en la cascarilla de varias variedades de cacao, en los residuos del pseudotallo de plátano y de madera de jacarandá, para la identificación de su potencial para la producción de papel Kraft.
- Elaborar papel Kraft utilizando la metodología Kurschner y Hoffner, mediante un diseño experimental que involucre el uso de la cascarilla de varias variedades de cacao y de diferentes proporciones de los residuos del pseudotallo de plátano y de madera de jacarandá.
- Establecer el espesor y la resistencia a la tensión del papel Kraft mediante una metodología adecuada, para la verificación del cumplimiento de los lineamientos del papel de uso industrial de las normas INEN, ISO y TAPPI.

## **1.3. Justificación**

El papel Kraft o Kraftliner, es un material que se caracteriza por ser lignocelulósico y se elabora mediante un proceso químico usando compuestos como el hidróxido de sodio (NaOH) y el sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S) en un medio alcalino (Atúncar, 2022, págs. 7-8). Además, se compone en su mayoría de celulosa y posee bajos porcentajes de lignina y hemicelulosa, por lo que se usa mayormente en productos eléctricos y de embalajes (Cevallos et al., 2021, págs. 1-7).

Las propiedades físicas del papel Kraft pueden ser mejoradas si la materia prima contiene una gran cantidad de celulosa como ocurre en la cascarilla del grano de cacao (Lengowski et al. 2019, pág. 1027). Por lo que este residuo se presenta como un excelente recurso si también se toma en cuenta la introducción de aditivos derivados del pseudotallo de plátano y del jacarandá, ya que también poseen porcentajes considerables de celulosa que pueden aportar a la resistencia hacia la humedad, la mecánica y la estabilidad dimensional, resultando en un producto final de calidad (Ruiz, 2021, pág. 67; Sarango, 2021, págs. 54-56).

Por otra parte, la aplicación de la metodología Kurschner y Hoffner para elaboración de papel Kraft a base de la cáscara de cacao en conjunto con los aditivos es la técnica más adecuada, ya que al descomponer las estructuras complejas de la materia prima, demuestra su eficacia para generar fibras celulósicas, el componente esencial del papel (Andy, 2020, pág. 14). De este modo, revalorizar los residuos de cacao, resulta una opción viable, económica y amigable con el medio ambiente ya que también se busca reducir la tala de árboles para la elaboración de papel y cartón, preservando los valiosos ecosistemas forestales amazónicos. Es importante tomar en cuenta que, de acuerdo con el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), en el 2018 la deforestación de superficie de la provincia de Orellana fue de 13704,61 hectáreas (GADPO, 2019, pág. 103).

Considerando el periodo de producción del papel, resulta inevitable que se fomente el reciclaje, el cual aproveche los residuos generados durante la producción de algún tipo de papel que sea sostenible. Dada la importancia de la revalorización, los aportes de este estudio contribuirán a la producción de un subproducto de mayor valor agregado y de aprovechamiento en la actividad de los productores de cacao. Además, se propicia una cultura para que se siga con un desarrollo sostenible en la industria de papel con productos de alta calidad, así como de beneficios económicos y ecológicos para las presentes generaciones y las venideras.

## **1.4. Hipótesis**

### ***1.4.1. Hipótesis nula***

El papel Kraft elaborado con la metodología Kurschner y Hoffner a partir de la cascarilla de cacao y derivados del pseudotallo de plátano y jacarandá se ajusta a las normas establecidas para su uso industrial.

### ***1.4.2. Hipótesis alternativa***

El papel Kraft elaborado con la metodología Kurschner y Hoffner a partir de la cascarilla de cacao y derivados del pseudotallo de plátano y jacarandá no se ajusta a las normas establecidas para su uso industrial.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Papel Kraft

El vocablo del papel proviene del latín “papyrus”, que hace referencia a la hoja elaborada por delgadas secciones pegadas continuamente de la caña egipcia (*Cyperus papyrus*). Este material se usó para la escritura entre el tiempo comprendido de los siglos III a.C y VII d.C (Gutierrez, 2019, págs. 2-4). No obstante, en la actualidad, la expresión de “papel” no ha tenido un cambio sustancial del significado, ya que indica un conglomerado de fibras celulósicas adheridas una tras otra. Cabe mencionar que los papeles se fabrican con fibras vegetales madereras y fibras vegetales no madereras, sin embargo, la primera opción es la principal fuente para la producción de papel (Parra, 2022, pág. 10).

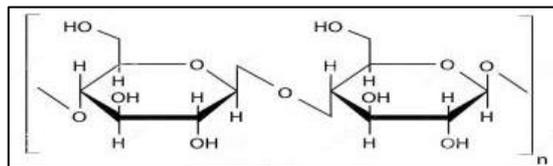
Por otra parte, el papel Kraft, es un combinado de celulosa con sulfato en porcentajes pequeños que se elabora mediante un proceso químico donde los árboles son la materia prima (Flores et al., 2020, págs. 26-27). Estos son reducidos a través de un proceso mecánico a astillas y posteriormente tamizados para obtener un tamaño promedio y uniforme, luego, las astillas en combinación con hidróxido de sodio y sulfuro de sodio son procesados a alta temperatura, alrededor de 140 °C, para que sean posteriormente lavados y se separe la pulpa de la madera de otros compuestos o sustancias resultantes. Finalmente, el papel Kraft se somete a un proceso de blanqueamiento y secado (Andy, 2020, págs. 14-25).

#### 2.1.1. Composición química del papel Kraft

##### 2.1.1.1. Celulosa

La celulosa (Ilustración 2-1) es un biopolímero y es el componente principal de las fibras vegetales ya que se encuentran en las paredes celulares; además, se sintetiza a partir de la  $\beta$ -D-glucosa mediante un enlace O-glucosídico (Zambrano, 2021, pág. 424). Dependiendo del procedimiento para separar las fibras de la celulosa con respecto a otros compuestos de la madera, esta puede recibir varios nombres como celulosa química y celulosa mecánica (Velasco et al., 2020, págs. 385-399).

La celulosa química se obtiene mediante un procedimiento de cocción de las astillas de madera con diferentes productos químicos a temperaturas de hasta 170 °C, dicho proceso se realiza para disolver la lignina de la madera con una disolución alcalina, obteniendo solamente las fibras celulósicas (Fernández y Rocha, 2022, págs. 43-44). Mientras que, la celulosa mecánica, se obtiene desfibrando la madera, la cual se tiene que someter a un molido y triturado de forma mecánica, sin embargo, conlleva un consumo excesivo de energía (Velasco et al., 2020, págs. 385-399).



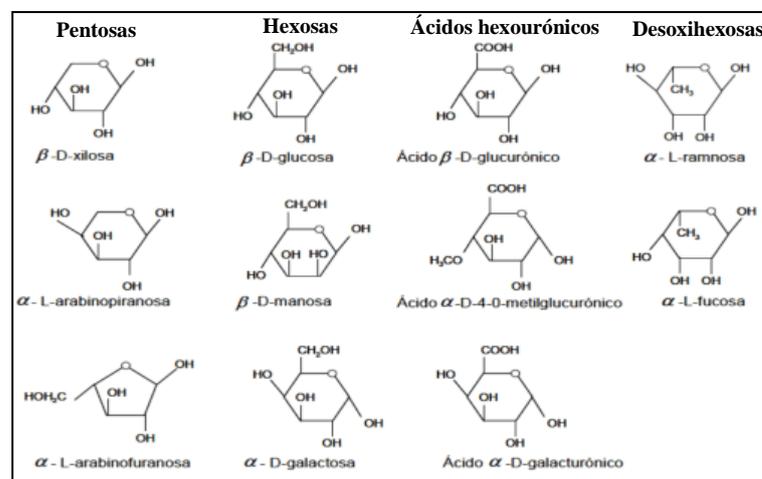
**Ilustración 2-1:** Estructura química de la celulosa

**Fuente:** (Velasco et al., 2020, págs. 385-399)

### 2.1.1.2. Hemicelulosas

Las hemicelulosas son polisacáridos heterogéneos que actúan como soporte a las microfibras de la celulosa, facilitando la unión que existe entre aquella y la lignina (Martínez y Prieto, 2021, págs. 19-21). Además, es uno de los compuestos más importantes ya que es un refuerzo de las uniones entre cada fibra del papel. Por otra parte, se diferencia de la celulosa porque su naturaleza depende de los materiales lignocelulósicos (Nahún, 2021, pág. 7).

En el grupo de las hemicelulosas, al estar conformadas por cadenas ramificadas de azúcares y cadenas cortas, destacan las pentosas, hexosas, ácidos hexourónicos y desoxihexosas (Ilustración 2-2). Adicional, también cumplen la función de almacenar sustancias de reserva y ejecutar funciones estructurales, reguladoras y de control con respecto a la expansión celular, ya que las hemicelulosas se componen principalmente de xilanos (Rosario, 2021, págs. 15-21).

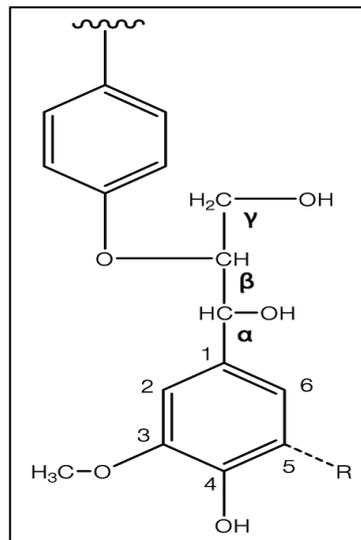


**Ilustración 2-2:** Estructura química de las hemicelulosas

**Fuente:** (Rivas, 2014, pág. 61)

### 2.1.1.3. Lignina

La lignina (Ilustración 2-3) es una sustancia natural que compone las paredes celulares, por lo cual, funciona como reguladora de la permeabilidad de los tejidos conductores, aglomerante entre las microfibrillas, protectora frente a microorganismos y brinda resistencia mecánica ante fuerzas externas a la pared de las células (Maceda et al., 2021, págs. 1-16). En el papel Kraft, el contenido de esta sustancia representa aproximadamente un 6% y se distingue por los diferentes grupos funcionales como: hidroxilos alifáticos y fenólicos, metoxilos, carboxilos, sulfatos y carbonilos (Chacán y Quispe, 2022, pág. 32).



**Ilustración 2-3:** Estructura química de la lignina

**Fuente:** (Cocero et al., 2010, págs. 89-102)

### 2.1.2. Propiedades físicas

#### 2.1.2.1. Gramaje

Es una magnitud que hace referencia al peso base de la cantidad de fibra contenida por cada metro cuadrado en una hoja de papel, por lo que se expresa en masa por unidad de área (Liana, 2020, págs. 13-14). Su medición es necesaria realizarla a nivel de laboratorio a través de mediciones lineales y el correcto pesaje de la hoja. De este modo, algunos factores que pueden afectar el gramaje son: áreas muy grandes, bandas levemente pesadas y livianas, distancias cortas y manchas diferentes consecutivas (Montes, 2019, pág. 21).

#### *2.1.2.2. Espesor*

El espesor o también conocido como “calibre”, representa la distancia perpendicular que existe entre las caras principales que componen el papel, por lo que se mide en unidades de longitud mediante un tornillo micrométrico (Lliana, 2020, pág. 14). Es importante destacar que la medición exacta es muy compleja por la presencia de muchas irregularidades en la superficie, sin embargo, es necesario porque proporciona una base tanto de esfuerzo como de deformación que posee el papel (García et al., 2019, págs. 3-9).

#### *2.1.2.3. Densidad*

En los papeles, la densidad se comprende como un parámetro de la estructura entre 300 hasta 1000 kg/m<sup>3</sup>, y se entiende como un parámetro de la estructura muy importante del papel (Taco et al., 2023, págs. 9980-9994). En este sentido, controlar esta magnitud depende del control de calidad del producto, puesto que influye o depende del tipo de fibra que se usa y de las operaciones de producción. Además, se calcula mediante la división del gramaje entre el espesor de la hoja, procurando trabajar en las unidades más convencionales (Hernández y Guidos, 2020, pág. 43).

#### *2.1.2.4. Contenido de humedad*

El contenido de humedad expresa la cantidad de agua que es absorbida en el papel, obteniéndose como un porcentaje con respecto al peso seco. En este sentido, resulta importante su cálculo ya que las estructuras del papel, independientemente del uso destinado, absorben humedad por el ambiente (Tejeda, 2018, pág. 242). En tal caso de que el contenido de humedad sea muy bajo, los enlaces de hidrógeno que unen las fibras son reemplazadas por los enlaces contenidos en el agua, debilitando la estructura del papel y como resultado, un papel de baja calidad que compromete el uso del mismo (Aedo et al., 2020, págs.1-10).

#### *2.1.2.5. Capacidad de adsorción de agua*

La capacidad de adsorción de agua se la puede medir aplicando el método de Cobb, que considera el peso de agua que fue adsorbido luego de un tiempo de exposición al agua en un área específica (Asurza et al., 2023, págs. 27-30). Esta magnitud se la toma en cuenta ya que el papel puede estar frecuentemente en contacto con el agua, sin embargo, se la puede minimizar como un recubrimiento a las fibras del papel donde dicho materia repela al agua o un recubrimiento externo aplicado en el lugar de manufactura (Fetiva y González, 2021, pág. 35).

### 2.1.2.6. Resistencia a la tensión

La resistencia a tensión del papel se lleva a cabo mediante muestras rectangulares que varían dimensionalmente dependiendo de la metodología de ensayo aplicado, para ello es importante considerar lo establecido en las siguientes normas de forma referente: TAPPI 494, ISO 1942-2, ASTM D828, NMX-N-047, GB/T 12914. Para la medición de esta magnitud medida en milímetros existen equipos especializados tanto para sujeción de papel de forma horizontal como vertical (Jiménez, 2015, págs. 20-22).

El papel al ser sometido a pruebas con fuerzas de tensión, muestran un pequeño porcentaje de comportamiento elástico, esto se traduce a que la carga que se aplica se convierte a proporcional con respecto a la elongación generada por la fuerza ejercida, a este comportamiento lo describe la Ley de Hooke. Por otra parte, la rigidez a tensión del papel, la longitud a la ruptura a tensión y la adsorción de energía a tensión, son parámetros que se toman en cuenta en la determinación de la resistencia a tensión ya que influyen directamente en aquella (Andy, 2020, pág. 20).

### 2.1.2.7. Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión es prácticamente lo inverso a la resistencia a tensión si hablamos en una dirección de fuerza. Por ende, es necesario seguir los estándares y protocolos establecidos y sugeridos para lograr una resistencia óptima y adecuada, para ello se pueden tomar en cuenta las siguientes normas: TAPPI 818, TAPPI 822, TAPPI 824, TAPPI 826, TAPPI 843, ISO 12192, SCAN P-42-8 Y NXM-N-104. No obstante, las diferencias entre métodos o ensayo (Tabla 2-1) para evaluar esta propiedad difieren solamente en el diseño geométrico (Jiménez, 2015, págs. 27-32).

**Tabla 2-1:** Ensayos para evaluar la resistencia a compresión del papel.

<b>Ensayo</b>	<b>Descripción</b>
Compresión de la Tira Corta	La muestra de papel se coloca en medio de dos mordazas, considerando una longitud libre de sujeción de 0,7 milímetros. Aplicado para papel a corrugar y hojas planas.
Compresión de la Tira Recta	Determina la compresión de papeles no corrugados. Para ello, la muestra se sujeta de forma vertical en un equipo de sujeción y se realiza el ensayo.
Aplastamiento de Anillo	Determina la compresión en papeles con un valor de espesor entre 0,27 y 0,50 milímetros mediante la aplicación de una fuerza sobre la muestra mantenida en forma de anillo.

Fuente: (Elías et al., 2019, págs. 169-185)

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

### 2.1.2.8. Resistencia al rasgado

Este tipo de resistencia se suele realizar para medir que calidad tiene el papel con la finalidad de prevenir daños y deterioro por el uso común o en las líneas de producción. Sin embargo, es necesario que la materia tienda a rasgarse, pero de forma uniforme, con el objetivo de que se tenga acceso de manera oportuna al contenido. Al igual que la resistencia a la tensión y compresión, existen normas para medir este tipo de característica, como: TAPPI 414, ASTM D689, NMX-EE-108, BS EN 1974, GB/T 455 y JIS P8116 (Jiménez, 2015, pág. 32).

Los métodos mencionados, calculan la fuerza de forma perpendicular al plano de la hoja de papel con la finalidad de propagar una falla en la misma mediante el espacio luego de que se haya iniciado el rasgado. Es importante destacar que dicha magnitud se expresa como la carga en promedio que se necesita para realizar un rasgado en una hoja, y por lo general, se realiza dos acciones: el rasgado inicial que rompe las orillas y el rasgado interno que continúa en dirección al centro de la hoja. Adicional, en este tipo de medida, se usa un equipo llamado Elmendorf que garantiza dicha medición (Andy, 2020, pág. 34).

## 2.2. Método de Kurschner y Hoffner

El método de Kurschner y Hoffner es un procedimiento que utiliza hidróxido de potasio (KOH) en un medio ácido, donde el material se disuelve en agua y se somete a calor y presión, cuya temperatura ronda entre 135 a 140 °C, con la finalidad de eliminar la lignina en su totalidad y otras sustancias que no son requeridas para la elaboración de papel Kraft. Posteriormente, el proceso se alterna con aproximadamente cinco baños de vapor con peróxido ( $\text{Na}_2\text{O}_2$ ) o acetato de sodio ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2$ ), con el objetivo de controlar el blanqueo. Además, para ser sometido a calor y presión existen dos tipos de cocciones, los cuales se describen en la Tabla 2-2 (Andy, 2020, pág. 14).

**Tabla 2-2:** Tipos de cocción para el método Kurschner y Hoffner.

Cocción	Descripción
Intensa	Se aplica para la fabricación de papeles higiénicos y papeles blancos con una resistencia limitada.
Menos intensa	Se aplica para la fabricación de papeles de embalaje y, en combinación con otros materiales, papeles de escritura. Adicional, poseen una buena calidad y resistencia.

Fuente: (Andy, 2020, pág. 14)

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

### 2.3. Cacao (*Theobroma cacao*)

El cacao es una planta de clima tropical por lo que necesita de calor, humedad, un suelo nutritivo y poroso, tiene la capacidad de crecer en altura hasta ocho metros y sus ramas se caracterizan por su dimorfismo (Alcivar et al., 2021, págs. 2430-2444). Además, su fruto es muy peculiar ya que es una mazorca que contiene aproximadamente 50 granos, los mismos que contienen una pulpa en el exterior debido al integumento externo generado dentro de la mazorca (Souza et al., 2018, págs. 69-76). En este sentido, resulta importante conocer su taxonomía, lo cual se detalla en la Tabla 2-3:

**Tabla 2-3:** Taxonomía del Cacao (*Theobroma cacao*)

<b>Taxonomía</b>	<b>Descripción</b>
División	Espermatofita
Clase	Angiosperma
Subclase	Dicotiledónea
Orden	Malvades
Suborden	Submalvades
Familia	Esterculiáceas
Género	Theobroma
Especie	<i>Theobroma cacao</i>

**Fuente:** (Souza et al., 2018, págs. 69-76)

**Realizado por:** Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

#### 2.3.1. Morfología

La morfología hace referencia a las características y estructura de la planta, de tal manera que facilita el reconocimiento de la misma. En este sentido para el cacao, las características morfológicas son las siguientes (Tabla 2-4):

**Tabla 2-4:** Morfología del Cacao (*Theobroma cacao*)

<b>Partes de la planta</b>	<b>Descripción</b>
Raíz	Tiene forma pivotante y suelen tener longitudes de 1,5 a 2 metros.
Tallo	Crece de forma vertical hasta que es detenida por ramas secundarias entre los 12 y 15 meses de crecimiento.
Hoja	Poseen forma de limbo y pueden ser elíptica con peciolo
Flor	Hermafroditas, forma estrellada, y de color rosa/blanca/púrpura
Fruto	Se compone con aproximadamente 50 granos la mazorca.

**Fuente:** (García, 2019, págs.12-16)

**Realizado por:** Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

### 2.3.2. Partes del fruto

El fruto de la planta de cacao, la cual es la mazorca, se compone de cuatro partes fundamentales, donde se destaca la cascarilla del grano de cacao que se pretende utilizar en la presente investigación (Tabla 2-5).

**Tabla 2-5:** Partes del fruto de Cacao (*Theobroma cacao*)

Partes del fruto	Descripción
Cáscara de cacao	Miden desde 15 a 25 centímetros, manteniendo un grosor de 7 a 10 centímetros.
Mucílago	Es de tipo carnosa y viscosa, tiene un color cremoso y suele ser comestible. Además, es la sustancia que envuelve a los granos de la mazorca.
Granos	Poseen un tamaño variado que va desde 1 a 3 centímetros con sabor, aroma y cierto grado de acidez.
Cascarilla del grano	Aporta todo los micro y macronutrientes hacia los granos en el interior de la mazorca.

**Fuente:** (García, 2019, págs. 12-16)

**Realizado por:** Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

### 2.3.3. Variedades

#### 2.3.3.1. Nacional

El cacao Nacional es una variedad nativa de Ecuador, se considera como un cacao fino y de aroma peculiar, ya que lo distingue su sabor que denota tonos florales y afrutadas. Por otra parte, sus granos se valoran únicamente por su calidad en cuanto a producción de chocolate de la más alta calidad (Erazo et al., 2021, págs. 42-55). Sin embargo, la planta posee una baja resistencia a enfermedades, por lo que su productividad se ha visto afectada y por ende, el surgimiento de nuevas variedades con mejores resultados (Morales et al., 2018, págs. 63-69).

#### 2.3.3.2. CCN51

El nombre del cacao CCN51 proviene de las primeras iniciales del "Centro de Cacao Nacional", lugar donde se llevó a cabo la investigación de la variedad, mientras que el número 51, representa el número de planta que fue seleccionado (Bentrán, 2021, pág. 7). Esta variedad híbrida en Ecuador es altamente resistente a enfermedades y se caracteriza por ser muy productiva. No obstante, el sabor de sus granos tiene tonos amargos y poco aromáticos, por lo cual su chocolate no es de alta calidad (Abad et al., 2018, págs. 20-30).

### 2.3.3.3. Super árbol (ESS)

La variedad de cacao Super árbol (ESS) ha sido desarrollada mediante técnicas de mejoramiento genético para combinar las cualidades deseables del cacao Nacional y otras variedades como el CCN-51 (Guamán y Ramírez, 2020, pág. 5). Motivo por el cual, es altamente resistente a enfermedades, es productiva y se distingue porque sus granos poseen un buen sabor. En otras palabras, se ha tratado de encontrar el equilibrio entre la calidad del sabor y la resistencia de la planta a agentes externos, mejorando la producción de cacao. Adicional, su denominación homenajea a su descubridor, el señor Edwin Sánchez del cantón Joya de los Sachas, Orellana (Viteri, 2022, pág. 1).

### 2.4. Plátano (*Musa paradisiaca*)

El plátano (*Musa paradisiaca*) es una planta originaria de Asia que se propagó primero a África, luego a Europa y finalmente al continente americano (Hernández et al., 2019, pág. 14). Motivo por el cual, es uno de los cultivos con mayor importancia alrededor del mundo ya que su fruto es utilizado para fines alimenticios, convirtiéndose en un alimento básico. Además, se caracteriza por ser un arbusto monocotiledóneo perenne que alcanza alturas de hasta ocho metros (Agila y Canales, 2023, pág. 11). En este sentido, es importante destacar su taxonomía, la cual se muestra en la Tabla 2-6, a continuación:

**Tabla 2-6:** Taxonomía del plátano (*Musa paradisiaca*)

<b>Taxonomía</b>	<b>Descripción</b>
División	Magnoliophyta
Subdivisión	Spermatophyta
Clase	Liliopsidea
Subclase	Zingiberidae
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Género	Musa
Especie	<i>Musa paradisiaca</i>

**Fuente:** (Agila y Canales, 2023, pág. 12)

**Realizado por:** Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

### 2.4.1. Morfología

El plátano, al ser un cultivo único que ronda entre las 9 a 13 semanas, va a depender de factores externos como la temperatura y el clima, por ende, su morfología juega un papel importante para su desempeño y productividad. A continuación, en la Tabla 2-7 se describe su morfología.

**Tabla 2-7:** Morfología del plátano (*Musa paradisiaca*)

Partes de la planta	Descripción
Raíz	Crece a partir del bulbo y alcanzan hasta los 40 centímetros de longitud y 10 milímetros de circunferencia.
Bulbo o verdadero tallo	Es un rizoma gigante con un alto contenido de almidón, se caracteriza por estar coronado por yemas y ser subterráneo erecto. Las yemas se desarrollan hasta el punto de que el rizoma alcance su respectiva floración y fructificación. Además, su forma depende de la estructura y textural del suelo.
Pseudotallo	Comienza a partir del tallo subterráneo y se trata de un rizoma sobre el que está insertado las bases de las hojas. Además, tiene forma cónica y termina en donde las hojas comienzan a expandirse.
Hojas	Comprende la vaina, el pecíolo, la nervadura y el limbo o lámina.
Inflorescencias	Su origen proviene de la yema vegetativa, la cual surge por el centro del pseudotallo y constituye un eje que no tiene brácteas persistentes.
Racimo	Puede estar constituido de hasta 8 manos y entre 25 y 42 frutos, los cuales de desarrollan entre 75 y 85 días.
Frutos	Los plátanos pueden tener hasta 6 centímetros de diámetro y hasta 25 centímetros de largo.

Fuente: (Loor, 2023, págs. 4-5)

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

### 2.5. Jacarandá (*Jacaranda copaia*).

El jacarandá (*Jacaranda copaia*) es un árbol nativo de Sudamérica y se caracteriza por ser usada como combustible y poseer propiedades medicinales como de cicatrizante, diurética, emética y laxante (Cardozo et al., 2020, pág. 20). Por otra parte, se conoce que puede medir hasta 35 metros de altura, posee una copa cónica con ramas horizontales, tiene plenitud en climas suaves y prolifera mejor en suelos franco-arcillosos. Adicional, posee la taxonomía descrita en la Tabla 2-8 (Caicedo, 2021, pág. 26):

**Tabla 2-8:** Taxonomía del Jacarandá (*Jacaranda copaia*)

<b>Taxonomía</b>	<b>Descripción</b>
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Lamiales
Familia	Bignoniaceae
Tribu	Jacarandae
Género	Jacaranda
Especie	<i>Jacaranda copaia</i>

Fuente: (Caicedo, 2021, pág. 26)

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

### 2.5.1. Morfología

Es necesario mencionar la morfología del jacaranda (Tabla 2-9) ya que determina sus características y por ende, el saber acumulativo que se le ha dado a esta especie.

**Tabla 2-9:** Morfología del Jacarandá (*Jacaranda copaia*).

<b>Partes de la planta</b>	<b>Descripción</b>
Raíz	Posee un sistema de raíces robusto y profundo, lo cual le permite soportar fuertes vientos y sequías.
Tronco	Es recto y ramificado, por lo cual es usado en ebanistería y carpintería.
Corteza	Es de color gris, posee grietas verticales y es rugosa y áspera. Además, puede su grosor puede ser aproximadamente de 1,5 cm.
Hojas	Son bipinnadas, parecidas a las hojas de un helecho, miden hasta 30 cm de largo con aproximadamente 15 pares divisores. Además, son de color verde grisáceo.
Flores	Son de color azul-púrpura y se agrupan en los extremos de las ramas.
Frutos	Se caracterizan por su forma de cápsulas elípticas y ser de color marrón oscuro, son de 8 a 15 cm de largo con un ancho que va de 1 a 2 cm.

Fuente: (Fernandes, 2021, págs. 375-387)

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

## 2.6. Análisis estadísticos

### 2.6.1. Hipótesis

Una hipótesis estadística es una afirmación que se hace sobre una propuesta o interrogante de investigación basada en la información proporcionada (Sangrador, et al., 2020, págs. 1-8). De esta forma, la hipótesis se utiliza en la inferencia estadística para tomar decisiones sobre los parámetros de una dicha propuesta, como la media, la proporción o la varianza (Hurtado, 2023, págs. 31-41).

De acuerdo con Sangrador et al. (2020, págs. 1-8), existen dos tipos principales de hipótesis estadísticas:

Hipótesis nula ( $H_0$ ): Es la hipótesis que se postula inicialmente y que se pretende contrastar o refutar mediante pruebas estadísticas. Por lo general, se establece como una afirmación de que no hay efecto o diferencia significativa entre grupos o condiciones.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Es la hipótesis que se opone a la hipótesis nula y sugiere que hay una diferencia significativa o un efecto real en la población que está siendo estudiada.

Adicional, el proceso de prueba de hipótesis implica recolectar datos de una muestra, calcular un estadístico de prueba y luego compararlo con un valor crítico o un intervalo de confianza para determinar si se rechaza la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa (Huamán, et al. 2021, págs. 310-317).

### **2.6.2. Diseño factorial $A \times B$**

El diseño factorial  $A \times B$  es una técnica utilizada en experimentos y estudios de investigación para analizar los efectos de dos variables independientes (factores) en una o más variables dependientes (o variables de respuesta) (Arias, et al., 2022, págs. 177-188). Este diseño implica dos factores principales: el factor A con "a" niveles o condiciones, y el factor B con "b" niveles o condiciones (Salazar, 2022, pág. 29). La combinación de los niveles de ambos factores forma varias condiciones experimentales o tratamientos (Miranda, 2022, pág. 26). El número de tratamientos es igual al producto de  $A \times B$ .

Por otra parte, el diseño factorial  $A \times B$  es útil para estudiar cómo diferentes variables afectan una variable dependiente y cómo interactúan entre sí (Arias, et al., 2022, págs. 177-188). Además, permite examinar no solo los efectos principales de cada factor, sino también las posibles interacciones entre los factores, lo cual es fundamental para comprender fenómenos complejos y el diseño de experimentos más efectivos (Hurtado, 2023, págs. 2-3).

En un diseño factorial  $A \times B$ , se prueban las siguientes hipótesis:

$H_0$ : Efecto factor A = 0

$H_1$ : Efecto factor A  $\neq$  0

$H_0$ : Efecto factor B = 0

$H_1$ : Efecto factor B  $\neq$  0

H0: Efecto interacción  $A \times B = 0$

H1: Efecto interacción  $A \times B \neq 0$

Para decidir si se rechaza o no las hipótesis nulas (H0) se siguió la regla del valor pág.

Si valor  $p <$  nivel de significancia ( $\alpha$ ), se rechaza H0

Si valor  $p \geq$  nivel de significancia ( $\alpha$ ), no se rechaza H0

### **2.6.3. *Análisis de la varianza (ANOVA)***

El ANOVA es una técnica estadística utilizada para comparar las medias de tres o más grupos independientes y determinar si existen diferencias significativas entre ellas (Miranda, 2021, págs. 97-118). Su objetivo es evaluar si las diferencias observadas entre las medias de los grupos son debidas a la variabilidad aleatoria o si reflejan diferencias reales entre los grupos (Pérez, 2021, págs. 207-217).

Por otra parte, descompone la variabilidad total de los datos en diferentes fuentes de variación: la variación entre los grupos y la variación dentro de los grupos (Gutiérrez, et al., 2023, págs. 115-134). Para esto, utiliza el cociente entre la varianza entre grupos y la varianza dentro de grupos (denominada también como error), si este cociente, llamado estadístico F, es grande y significativo, indica que las medias de al menos dos grupos son diferentes (Miranda, 2021, págs. 97-118).

### **2.6.4. *Supuestos del ANOVA***

#### **2.6.4.1. *Normalidad***

Este supuesto se refiere a la distribución de los datos en una muestra o población, por ello, se asume que los datos siguen una distribución normal, lo que significa que la mayoría de los datos se concentran alrededor de la media y siguen una forma de campana simétrica (Barrios, et al., 2022, págs. 591-600). Por otra parte, la normalidad es importante porque muchos métodos estadísticos, como la prueba t de Student o el ANOVA, requieren que los datos provengan de una distribución normal para que los resultados sean válidos y confiables (Flores y Flores, 2021, págs. 83-106).

Adicional, cuando los datos no siguen una distribución normal, es posible que se necesiten transformaciones o métodos estadísticos alternativos (Zhindon, et al., 2024, págs. 428-446). En este sentido, el supuesto de normalidad se puede probar mediante dos técnicas: la primera es la prueba

de Shapiro-Wilk, la cual evalúa si una muestra de datos proviene de una población con una distribución normal, donde se considera que los datos son normalmente distribuidos si el valor  $p$  de la prueba es mayor que un nivel de significancia predefinido (Flores y Flores, 2023, págs. 113-127); y la segunda es la prueba de Kolmogórov-Smirnov, la cual evalúa la normalidad de los datos comparando la distribución empírica con una teórica (Ramírez y Polack, 2020, págs. 191-208).

Para interpretar las gráficas de supuesto de normalidad, se debe observar la distribución de los datos representados en el eje horizontal y la frecuencia o densidad en el eje vertical (Barrios, et al., 2022, págs. 591-600). Si la gráfica muestra una distribución simétrica, con la mayor concentración de datos en el centro y una dispersión uniforme hacia los extremos, se puede inferir que los datos siguen una distribución normal (Zhindon, et al., 2024, págs. 428-446).

#### *2.6.4.2. Homogeneidad de varianzas*

También conocido como homocedasticidad, este supuesto se refiere a la igualdad de las varianzas de las diferentes muestras o grupos que se están comparando en un análisis estadístico (Meza, 2021, págs. 318-335). En otras palabras, se asume que las varianzas de las poblaciones subyacentes son iguales entre sí, este supuesto es especialmente importante en el ANOVA y en pruebas como la prueba  $F$  de Fisher (Castillo, 2022, págs. 1-15). Cuando las varianzas no son iguales entre grupos, puede afectar la interpretación de los resultados y la validez de las conclusiones estadísticas, en tales casos, pueden utilizarse técnicas como las pruebas no paramétricas (Vall, et al., 2021, págs. 345-364).

La comprobación del supuesto de homogeneidad de varianzas se lo puede realizar mediante la prueba de Levene y la prueba de Bartlett. Por un lado, la prueba de Levene se utiliza para evaluar si las varianzas de dos o más grupos son iguales cuando el valor  $p$  es mayor que el nivel de significancia (Gómez, et al., 2022, págs. 103-111). Mientras que, la prueba de Bartlett, al ser similar a la anterior, solo se utiliza para comparar la homogeneidad de varianzas en varios grupos (Pizarro y Martínez, 2020, págs. 903-924).

Para interpretar las gráficas de supuesto de homogeneidad de varianzas, se debe observar los puntos dispersos a lo largo de la línea central, representando la media de cada grupo (Gómez, et al., 2022, págs. 103-111). Luego, se examina la dispersión de los puntos alrededor de esta línea; si los puntos están distribuidos de manera uniforme y la dispersión es similar en todos los grupos, se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas (Meza, 2021, págs. 318-335). Por otro lado, si existe un patrón donde los puntos están más dispersos en algunos grupos que en otros, indicaría una violación de este supuesto (Vall, et al., 2021, págs. 345-364).

#### *2.6.4.3. Independencia*

La independencia se refiere a la condición en la que las observaciones o los datos no están relacionados entre sí, es decir, el resultado o la medición de un dato no afecta ni está influenciado por el resultado o la medición de otro dato en la misma muestra (Sagaró y Zamora, 2020, págs. 1-23). La independencia es crucial en muchos análisis estadísticos, ya que garantiza que cada observación contribuya de manera independiente a las conclusiones del estudio (Boza, et al., 2022, págs. 1-32).

Cuando existe dependencia entre las observaciones, como en el caso de datos temporales o datos de series temporales, se deben utilizar métodos estadísticos apropiados que tengan en cuenta esta dependencia, como modelos de series temporales o análisis de datos longitudinales (Padilla, et al., 2022, págs. 1-26). Es así como el supuesto de independencia se puede probar mediante una correlación de Pearson, la cual consiste en la evaluación entre dos variables (Santabárbara, 2020, págs. 1-7).

Para interpretar las gráficas de supuesto de independencia, se debe prestar atención a la dispersión de puntos o a las frecuencias en las diferentes categorías de las variables (Boza, et al., 2022, págs. 1-32). Si los puntos tienden a formar una distribución aleatoria o si las frecuencias son uniformes en todas las categorías, se sugiere que las variables son independientes (Sagaró y Zamora, 2020, págs. 1-23). Por otro lado, si se observan patrones o agrupamientos significativos en la gráfica, esto podría indicar una dependencia entre las variables, lo que requiere un análisis más detallado para determinar la naturaleza y el grado de la relación (Padilla, et al., 2022, págs. 1-26).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Tipo de investigación

El presente Trabajo de Integración Curricular, al enmarcarse en la elaboración de papel Kraft a base de la cascarilla del grano de cacao junto con aditivos del pseudotallo de plátano y jacarandá, es una investigación experimental, ya que se manipularon los porcentajes de los aditivos mediante un diseño experimental. Así mismo, es una investigación aplicada, ya que se relaciona con descubrimientos y mejoras para la industria del papel. Además, se aplicaron los métodos: exploratorio, descriptivo y explicativo, como se detalla a continuación.

- **Método exploratorio:** Este método se basa en la búsqueda de información con la finalidad de determinar problemas dentro de una investigación para su posterior solución (Ramos, 2020, págs. 1-5). De este modo, fue aplicado por la necesidad de investigar nuevos materiales sostenibles para la elaboración de papel Kraft a partir de residuos vegetales y de cultivo.
- **Método descriptivo:** Se fundamenta en la recolección y análisis de la información en la investigación (Campoverde y Balladares, 2022, págs. 714-730). En este sentido, fue aplicado para especificar el tipo de papel a elaborar, así como la metodología con la cual fue elaborado y las propiedades físicas como producto final.
- **Método explicativo:** El principal objetivo de este método es la de explicar las causas de los hechos o fenómenos, para lo que los investigadores proponen hipótesis que luego se prueban usando métodos experimentales (Moscoso et al., 2022, pág. 59). En la presente investigación, fue aplicado para corroborar si se rechaza o no la hipótesis de la investigación en base a los resultados de las propiedades físicas del papel como producto final.

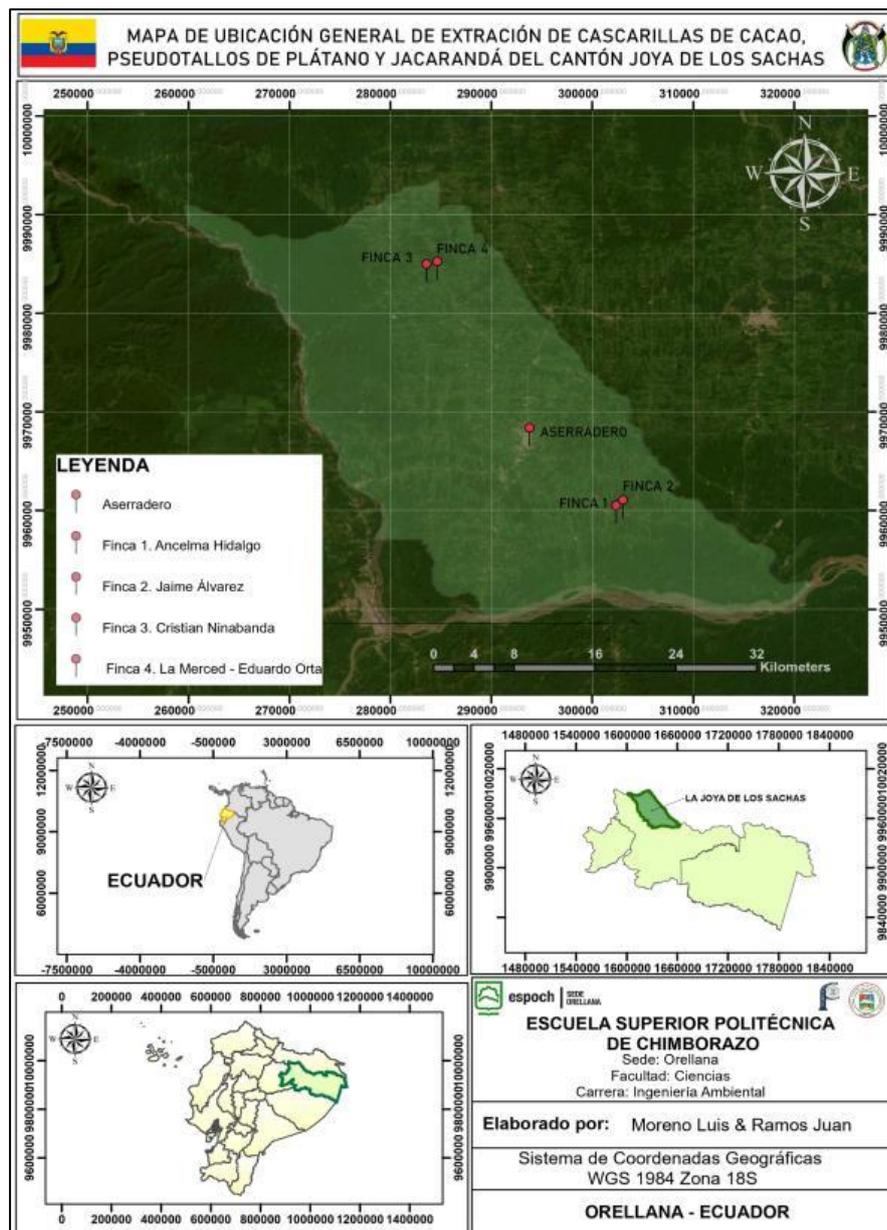
#### 3.2. Ubicación

La fase experimental de la extracción de azúcares solubles y grasas, y la caracterización de lignina y celulosa de la cascarilla de cacao de las tres variedades, así como de los aditivos, 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. Por otra parte, la elaboración del papel Kraft, así como la determinación de las propiedades físicas del papel se llevó a cabo en el laboratorio de Ciencias Básicas y Especialización de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana Campus Norte, ubicado en el cantón Francisco de Orellana, vía Sacha km 1 ½. Adicional, la ubicación donde se obtuvo las materias primas para el desarrollo de la presente investigación se detalla en la Tabla 3-1 y se visualiza en la Ilustración 3-1:

**Tabla 3-1:** Ubicación de las materias primas

Materia prima		Ubicación	Propietario
	CCN51	Finca en la comunidad La Pakinza de la parroquia Tres de Noviembre, cantón Joya de los Sachas.	Cristian Ninabanda
Cacao	Nacional	Finca - vía a la parroquia Unión Milagreña km 14, cantón Joya de los Sachas.	Jaime Álvarez
	Super Árbol	Finca Agroturística "El Porvenir" - vía a la parroquia Unión Milagreña km 14, cantón Joya de los Sachas.	Ancelma Hidalgo
Pseudotallo de plátano		Finca "La Merced" en la comunidad La Pakinza de la parroquia Tres de Noviembre, cantón Joya de los Sachas.	Eduardo Orta
Aserrín de jacarandá		Aserradero ubicado en el cantón Joya de los Sachas.	-

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024



**Ilustración 3-1:** Ubicación de los sitios de recolección de las materias primas

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

### 3.3. Materiales

Los compuestos, materiales y equipos/instrumentos utilizados en el desarrollo de la presente investigación se mencionan en la Tabla 3-2, a continuación:

**Tabla 3-2:** Compuestos, materiales y equipos/instrumentos empleados en la investigación

Compuestos	Materiales	Equipos/Instrumentos
Alcohol etílico al 80%	Pipetas	Estufa
Agua destilada	Vasos de precipitación	Balanza analítica
Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) al 95%	Pinzas	Prensa y Filtro
Etanol (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O)	Matraz – Erlenmeyer de 100 mL 250 mL y 500 mL	Trituradora y Prensa de hierro nodular
Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> )	Probeta de 1000 mL	Agitador
Acetato de sodio (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> NaO <sub>2</sub> )	Espátula pequeña	Centrifuga - Refrigerada
Hidróxido de potasio (KOH)	Tubos Falcon	Pesas de aluminio
Papelox	Ligas	Baño María
	Cinta Adhesiva	Dosi Fiber
	Marcador	Refrigerante
	Piezas de tela	Digestor Schottleistung
	Crisol Poroso P2	Dinamómetro y tornillo micrométrico

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

### 3.4. Metodología

#### 3.4.1. *Determinación del contenido de lignina y celulosa en la cascarilla de varias variedades de cacao, en los residuos del pseudotallo de plátano y de madera de jacarandá, para la identificación de su potencial para la producción de papel Kraft.*

##### 3.4.1.1. *Paso 1. Extracción de azúcares solubles y grasas*

Para la extracción de azúcares solubles y grasas (ANEXO A) se realizó una solución de alcohol etílico al 80%. Luego, se pesó 4 g de la muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml y se añadió 90 ml de alcohol. Dicho contenido se ubicó en el agitador, donde se dejó actuar por un lapso de 1 hora. Posteriormente, el contenido fue transferido a dos tubos Falcon hasta un volumen de 45 ml y se colocaron en una centrifuga-refrigerada a una velocidad de 3000 revoluciones por minuto por un lapso de 12 minutos a 15 °C. A continuación, el líquido de los tubos Falcon se vació en un vaso de precipitación para que sea desechado con la finalidad de que solo quede el residuo sólido. Dichos tubos se colocaron en una gradilla y se añadió 45 ml de agua destilada para enjuagar la muestra y nuevamente se colocaron en centrifuga-refrigerada con los mismos parámetros mencionados anteriormente. Como penúltimo paso, se desechó el líquido de cada tubo para conservar solo el residuo sólido, el cual fue extraído con una cucharilla de los tubos y se colocó en una pesa de aluminio. Finalmente, se secó la pesa 12 horas a 65 °C (Ruiz, 2019, págs. 8-11).

#### 3.4.1.2. Paso 2. Determinación de lignina

Para la determinación de lignina se realizó una solución de ácido sulfúrico al 72 %, para ello, en 250 ml de agua destilada, se añadió levemente 750 ml de ácido sulfúrico concentrado. Luego, se pesó 1 g de la muestra obtenida en el proceso del apartado 3.4.1.1. y se colocó en un vaso de precipitación, donde se añadió 15 ml de ácido sulfúrico. El contenido se mantuvo en agitación y en baño maría a una temperatura de 20 +/-1 °C por un lapso de 2 horas hasta que la muestra tomó una tonalidad oscura. Posteriormente, se pesó el contenido en el crisol poroso P2 y se transfirió el contenido al equipo Dosi Fiber, tomando en cuenta de que el nivel del agua se encuentre hasta la última línea del equipo con la finalidad de obtener ácido sulfúrico al 4 %. A continuación, se sometió el contenido a ebullición por 4 horas desde que comenzó a hervir. Como penúltimo paso, se decantó la muestra y se lavó con agua destilada caliente el residuo del crisol poroso P2. Finalmente, se secó la muestra en una estufa por un lapso de 24 horas a una temperatura de 105 +/- 3 °C hasta obtener un peso constante y se dejó enfriar en un desecador para que sea pesado de forma adecuada. El resultado se obtuvo de la siguiente forma (Chota, 2023, pág. 26):

$$\% \text{ Lignina} = (\text{Peso residuo seco (g)}/\text{Peso muestra original libre extracto (g)}) \times 100$$

#### 3.4.1.3. Paso 3. Determinación de celulosa

Para la determinación de la celulosa, se pesó 1 g de la muestra obtenida en el proceso del apartado 3.4.1.1. en el crisol poroso P2 y se colocó en el equipo Dosi Fiber, donde se añadió 20 ml de etanol y 5 ml de ácido nítrico concentrado. Luego, el contenido se calentó a reflujo por un tiempo de 30 minutos y luego se filtró al vacío. A continuación, el residuo sólido se digirió nuevamente con 20 ml de etanol y 5 ml de ácido nítrico concentrado por un lapso de 30 minutos. Posteriormente, se decantó la solución y el residuo sólido fue sometido a una tercera digestión, pero con 100 ml de agua destilada en un lapso de 1 hora. Como penúltimo paso, se filtró el líquido y se lavó el residuo con agua destilada caliente, se calentó a ebullición por 30 minutos con 100 ml de solución saturada de acetato de sodio, se decantó la solución y se lavó el residuo con 500 ml de agua destilada caliente. Finalmente, se secó la muestra en una estufa por un lapso de 24 horas a una temperatura de 105 +/- 3 °C hasta obtener un peso constante y se dejó enfriar en un desecador para que sea pesado de forma adecuada. El resultado se interpretó de la siguiente forma (Leyton, 2017, pág. 52):

$$\% \text{ Celulosa} = (\text{Peso residuo seco (g)}/\text{Peso muestra original libre extracto (g)}) \times 100$$

**3.4.2. Elaboración de papel Kraft utilizando la metodología Kurschner y Hoffner, mediante un diseño experimental que involucre el uso de la cascarilla de varias variedades de cacao y de diferentes proporciones de los residuos del pseudotallo de plátano y de madera de jacarandá.**

Para la elaboración del papel Kraft se utilizó como materia prima los residuos de la cascarilla del grano de cacao y como aditivos los residuos del pseudotallo de plátano y madera de jacarandá. Por lo que, en la presente investigación, se utilizaron dos diseños experimentales bifactoriales AxB. En el primer diseño, el factor A es la variedad de cascarilla del grano de cacao y el factor B es la dosis del pseudotallo de plátano; mientras que, en el segundo diseño, el factor A es la variedad de cascarilla del grano de cacao y el factor B es la dosis del aserrín de la madera de jacarandá.

**3.4.2.1. Diseños experimentales**

**3.4.2.1.1. Diseño experimental con el aditivo pseudotallo de plátano**

De acuerdo con el diseño experimental bifactorial AxB, el factor A es la variedad de la cascarilla del grano de cacao con tres niveles que son: CCN51, Nacional y Super árbol. Mientras que, el factor B, es la dosis del aditivo del pseudotallo de plátano con cuatro niveles que son: 0%, 25%, 50% y 75% con respecto a 50 g usados como materia prima. Los niveles de los factores se combinaron y dieron como resultado un total de 12 tratamientos, tal como se muestra en la Tabla 3-3. Adicional, cada tratamiento se probó por duplicado, por lo que se realizaron 24 corridas experimentales.

**Tabla 3-3:** Combinación de porcentajes de materia prima con pseudotallo de plátano

Tratamiento	Materia prima		Tratamiento en %	
	Tipo de cacao (g)	Aditivo (g)		
T <sub>1</sub>	CCN51	50 g	0 g	T <sub>1</sub> : 100% CCN51 / 0% aditivo
T <sub>2</sub>		37,5 g	12,5 g	T <sub>2</sub> : 75% CCN51 / 25% aditivo
T <sub>3</sub>		25 g	25 g	T <sub>3</sub> : 50% CCN51 / 50% aditivo
T <sub>4</sub>		12,5 g	37,5 g	T <sub>4</sub> : 25% CCN51 / 75% aditivo
T <sub>5</sub>	Nacional	50 g	0 g	T <sub>5</sub> : 100% Nacional / 0% aditivo
T <sub>6</sub>		37,5 g	12,5 g	T <sub>6</sub> : 75% Nacional / 25% aditivo
T <sub>7</sub>		25 g	25 g	T <sub>7</sub> : 50% Nacional / 50% aditivo
T <sub>8</sub>		12,5 g	37,5 g	T <sub>8</sub> : 25% Nacional / 75% aditivo
T <sub>9</sub>	Super Árbol	50 g	0 g	T <sub>9</sub> : 100% Super Árbol / 0% aditivo
T <sub>10</sub>		37,5 g	12,5 g	T <sub>10</sub> : 75% Super Árbol / 25% aditivo
T <sub>11</sub>		25 g	25 g	T <sub>11</sub> : 50% Super Árbol / 50% aditivo
T <sub>12</sub>		12,5 g	37,5 g	T <sub>12</sub> : 25% Super Árbol / 75% aditivo

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

### 3.4.2.1.2. *Diseño experimental con el aditivo madera de jacarandá*

Al igual que el diseño experimental con el aditivo de pseudotallo de plátano, se aplicó el bifactorial AxB. El factor A es la variedad de la cascarilla del grano de cacao con tres niveles que son: CCN51, Nacional y Super árbol. Mientras que, el factor B, corresponde a la dosis del aditivo del aserrín de la madera de jacarandá con cuatro niveles que son: 0%, 25%, 50% y 75% con respecto a 50 g usados como materia prima. Los niveles de los factores se combinaron y dieron como resultado un total de 12 tratamientos, como se muestra en la Tabla 3-4. Adicional, cada tratamiento se probó por duplicado, por lo que se realizaron 24 corridas experimentales.

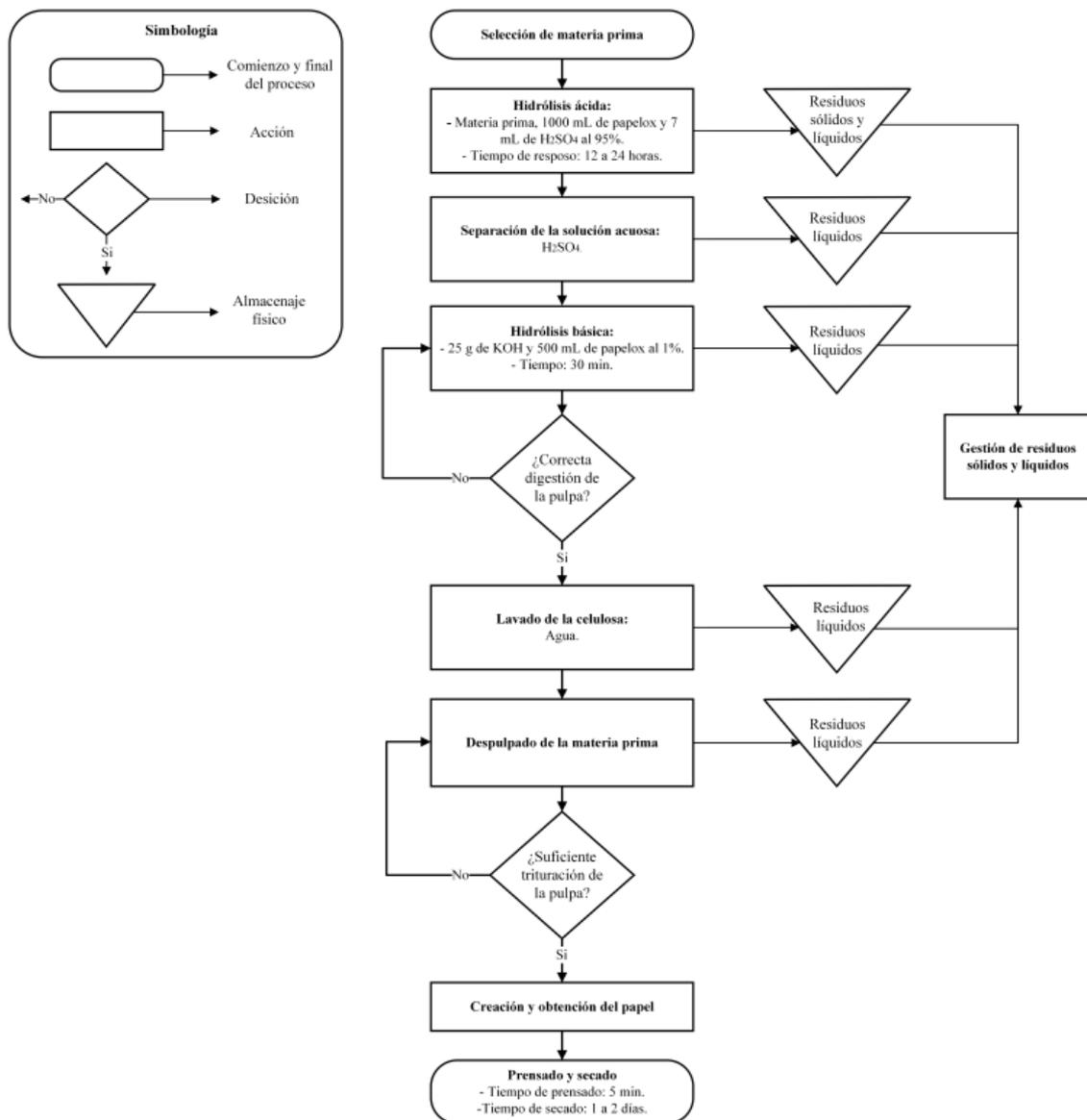
**Tabla 3-4:** Combinación de porcentajes de materia prima con madera de jacarandá

Tratamiento	Materia prima		Tratamiento en %	
	Tipo de cacao (g)	Aditivo (g)		
T <sub>1</sub>	CCN51	50 g	0 g	T <sub>1</sub> : 100% CCN51 / 0% aditivo
T <sub>2</sub>		37,5 g	12,5 g	T <sub>2</sub> : 75% CCN51 / 25% aditivo
T <sub>3</sub>		25 g	25 g	T <sub>3</sub> : 50% CCN51 / 50% aditivo
T <sub>4</sub>		12,5 g	37,5 g	T <sub>4</sub> : 25% CCN51 / 75% aditivo
T <sub>5</sub>	Nacional	50 g	0 g	T <sub>5</sub> : 100% Nacional / 0% aditivo
T <sub>6</sub>		37,5 g	12,5 g	T <sub>6</sub> : 75% Nacional / 25% aditivo
T <sub>7</sub>		25 g	25 g	T <sub>7</sub> : 50% Nacional / 50% aditivo
T <sub>8</sub>		12,5 g	37,5 g	T <sub>8</sub> : 25% Nacional / 75% aditivo
T <sub>9</sub>	Super Árbol	50 g	0 g	T <sub>9</sub> : 100% Super Árbol / 0% aditivo
T <sub>10</sub>		37,5 g	12,5 g	T <sub>10</sub> : 75% Super Árbol / 25% aditivo
T <sub>11</sub>		25 g	25 g	T <sub>11</sub> : 50% Super Árbol / 50% aditivo
T <sub>12</sub>		12,5 g	37,5 g	T <sub>12</sub> : 25% Super Árbol / 75% aditivo

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

### 3.4.2.2. *Procedimiento para la elaboración del papel Kraft*

Para la elaboración el papel Kraft, se utilizó y modificó la metodología aplicada por Andy (2020, págs. 23-25) en su trabajo de titulación sobre la elaboración de papel artesanal (Ilustración 3-2). Sin embargo, es importante mencionar que se realizaron 48 tipos de papel con diferentes combinaciones de porcentajes en materia prima cada uno: 24 se basan en la cascarilla del grano de cacao (CCN51, Nacional y Super Árbol) y pseudotallo del plátano como se muestra en la Tabla 3-3; y los 24 restantes se basan en la cascarilla del grano de cacao (CCN51, Nacional y Super Árbol) y aserrín de madera de jacarandá como se muestra en la Tabla 3-4. No obstante, para cada tratamiento se aplica el mismo procedimiento descrito en el diagrama de flujo representado en la Ilustración 3-2.



**Ilustración 3-2:** Diagrama de flujo para la elaboración de papel Kraft

**Realizado por:** Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

**Selección de materia prima:** La cascarilla del grano de cacao, el pseudotallo de plátano y el aserrín de jacarandá se seleccionaron en los sitios descritos en la Tabla 3-2, verificando que no haya otras sustancias que puedan afectar el proceso del papel. Luego, se dividió en tamaños pequeños para facilitar el proceso de elaboración del papel, tomando en cuenta los porcentajes de cada combinación de materia prima.

**Hidrólisis ácida:** De acuerdo con la Tabla 3-3 y Tabla 3-4, se colocó la materia prima en un vaso de precipitación, donde se añadió 1000 ml de papelox y 7 ml de ácido sulfúrico al 95%. La mezcla anterior se dejó reposar por un lapso de 12 a 24 horas para lograr un rendimiento adecuado del proceso de hidrólisis. Es importante mencionar que, gracias a este proceso, se separaron los componentes grasos, hemicelulosa, aceites y azúcares de la celulosa.

**Separación de la solución acuosa:** Con la finalidad de eliminar compuestos interferentes como los azúcares, se separó la solución de ácido sulfúrico. Para ello, se vertió la mezcla del vaso de precipitación en un tamiz, tomando en cuenta de que el líquido producto de la hidrólisis se filtre completamente. Adicional, el líquido resultante se reservó para su posterior uso en otros procesos de hidrólisis con el objetivo de generar un uso eficiente de los recursos.

**Hidrólisis básica:** Previamente se llevó a cabo la preparación de una solución de 25 g de hidróxido de potasio con 500 ml de papelox al 1% hasta que tomó un color blanco. Dicha solución se añadió a la materia prima y se llevó a cabo la digestión por un lapso de 30 minutos en el biodigestor Schaltleistung. La finalidad de este procedimiento fue separar la lignina (licor negro) para obtener únicamente la pulpa de celulosa.

**Lavado de la celulosa:** Una vez transcurrido el tiempo de digestión química, se vertió la pulpa en un tamiz y se lavó con abundante agua hasta verificar la no presencia del licor negro. Es importante destacar que dichos líquidos como residuos, fueron almacenados adecuadamente en recipientes de plástico para su posterior tratamiento.

**Despulpado de la materia prima:** Al alcanzar una textura suave la biomasa, se procedió a su trituración con la finalidad de obtener celulosa pulverizada (biomasa celulósica).

**Creación y obtención del papel:** Se mezcló la biomasa celulósica con agua para darle forma de papel en un tamiz. En dicho proceso, se eliminó el exceso de agua con el uso de una esponja. Posteriormente, se transfirió el contenido del tamiz a piezas de tela.

**Prensado y secado:** Las piezas de tela, las cuales contienen el contenido de biomasa celulósica, se colocaron una sobre otra para ser cometidas a presión durante un lapso de 5 minutos. Finalmente, se retiraron y se dejaron secar de 1 a 2 días a temperatura ambiente.

### ***3.4.3. Establecimiento del espesor y la resistencia a la tensión del papel Kraft mediante una metodología adecuada, para la verificación del cumplimiento de los lineamientos del papel de uso industrial de las normas INEN, ISO y TAPPI.***

Se analizó el espesor debido a que indica la capacidad de la base para deformarse (García et al., 2019, págs. 3-9). De igual forma, la resistencia a la tensión ya que demuestra la densidad y rigidez del papel, es decir, expone que tan quebradizo o débil puede llegar a ser (Atúnkar, 2022, pág. 51). Ambas propiedades son esenciales para ser usados de forma industrial, por tal motivo, se compararon con los límites establecidos en las siguientes normas (Tabla 3-5). El espesor se comparó con las normas INEN 1399 y TAPPI T 411, y la resistencia a la tensión se comparó con las normas ISO 1924-2 y TAPPI 494 om-88 (Andy, 2020, págs. 14-15).

**Tabla 3-5:** Límites de propiedades de papel según normativa para uso industrial

Propiedad	Límites		Normativa
	Mínimo	Máximo	
Espesor (mm)	0,05	0,30	INEN 1399
			TAPPI T 411
Resistencia a la tensión (kN/m)	120	500	ISO 1924-2
			TAPPI 494 om-88

Fuente: (Andy, 2020, págs. 14-15)

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

#### 3.4.3.1. Determinación del espesor

El análisis del espesor se realizó mediante el uso de un tornillo micrométrico de laboratorio de acuerdo con la metodología aplicada por Fetiva y Gonzalez (2021, pág. 58). Dicho instrumento se lo utiliza con frecuencia para medir espesores ya que su calibración es relativamente fácil. Además, su funcionamiento se basa en su forma de pinza debido al espacio que existe entre el tornillo y la base para colocar los objetos (papel Kraft), permitiendo realizar la medición en una escala milimétrica (mm) a medida que se ajusta el tornillo con la base (Burgos, 2022, pág. 17).

#### 3.4.3.2. Determinación de la resistencia a la tensión

El análisis de la resistencia a la tensión se realizó mediante el uso de un dinamómetro de acuerdo con la metodología aplicada por Carlo y Osorio (2017, pág. 19). Su funcionamiento se basa en colocar un extremo de la hoja al gancho del instrumento y ejercer fuerza a una dirección perpendicular hasta que la hoja se desgarre para proceder a tomar la medida, es decir, la fuerza de tensión por unidad de ancho (kN/m) (Tricas, 2019, págs. 1-7).

#### 3.4.3.3. Análisis estadístico

Las propiedades físicas obtenidas en cada tratamiento (variedad de cacao con aditivo) se analizaron en el software Minitab en función de la variedad de cacao mediante las siguientes técnicas estadísticas: ANOVA y prueba LSD de Fisher. El propósito de estas técnicas estadísticas fue determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos en términos de sus propiedades, lo cual permitió identificar las más adecuadas y óptimas para ciertos usos.

El análisis estadístico se realizó a un nivel de confianza del 95 % (nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ ) con el programa Minitab. Además, se realizó un ANOVA de dos factores en donde se probaron las siguientes hipótesis.

$H_0$ : Efecto factor A = 0

$H_1$ : Efecto factor A  $\neq$  0

$H_0$ : Efecto factor B = 0

$H_1$ : Efecto factor B  $\neq$  0

$H_0$ : Efecto interacción AxB = 0

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

Para decidir si se rechaza o no la hipótesis nula ( $H_0$ ) se siguió la regla del valor p:

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

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

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Contenido de lignina y celulosa en la cascarilla de varias variedades de cacao, en los residuos del pseudotallo de plátano y de madera de jacarandá, para la identificación de su potencial para la producción de papel Kraft.

##### 4.1.1. Determinación del contenido de lignina y celulosa de las variedades de cacao

##### 4.1.1.1. Contenido de lignina de las variedades de cacao

El procedimiento para la determinación del contenido de lignina de las tres variedades de cacao (Super Árbol, Nacional y CCN51) se realizó por triplicado para obtener un promedio representativo, tal como se visualiza en la Tabla 4-1 y en el ANEXO B.

**Tabla 4-1:** Porcentaje de lignina de las variedades de cacao

Variedad de cacao	Código de identificación	Nº muestras	Lignina			Resultante (Peso muestra crisol - Peso crisol) (g)	Lignina (%)
			Peso muestra (g)	Peso crisol (g)	Peso muestra crisol (g)		
Super Árbol	IV23-72	1	1,0020	29,6558	30,0980	0,4422	44,13
	IV23-73	2	1,0022	29,8285	30,2809	0,4524	45,14
	IV23-74	3	1,0006	29,7318	30,2071	0,4753	47,50
Nacional	IV23-75	4	1,0018	29,2448	29,5157	0,2709	27,04
	IV23-76	5	1,0014	29,0630	29,7032	0,6402	63,93
	IV23-77	6	1,0012	29,4843	29,9692	0,4849	48,43
CCN51	IV23-78	7	1,0013	28,4736	28,9403	0,4667	46,61
	IV23-79	8	1,0014	28,4909	28,9658	0,4749	47,42
	IV23-80	9	1,0014	28,2358	28,7143	0,4785	47,78

**Realizado por:** Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

Se realizó un análisis descriptivo de los datos mediante el programa SPSS. En la Tabla 4-2 se muestra la media, la desviación estándar, el error de desviación, los intervalos de confianza y los valores máximos y mínimos.

**Tabla 4-2:** Análisis descriptivo de los porcentajes de lignina de las variedades de cacao

Variedad de cacao	# de repeticiones	Media (%)	Desviación estándar	Error de desviación	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Super Árbol	3	45,59	1,7294	0,9985	41,2937	49,8863	44,13	47,50
Nacional	3	46,47	18,5232	10,6943	0,4525	92,4809	27,04	63,93
CCN51	3	47,27	0,5992	0,3459	45,7814	48,7586	46,61	47,78

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

Posteriormente, se realizó un ANOVA para identificar si existe o no diferencias entre las medias de los porcentajes de lignina, lo cual se muestra en la Tabla 4-3. Se trabajó a un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha=0,05$ ). Las hipótesis del ANOVA fueron las siguientes:

- $H_0$ : Todas las medias son iguales.
- $H_1$ : Al menos una media es diferente de las demás.

Para decidir si se rechaza o no la hipótesis nula ( $H_0$ ) se siguió la regla del valor pág.

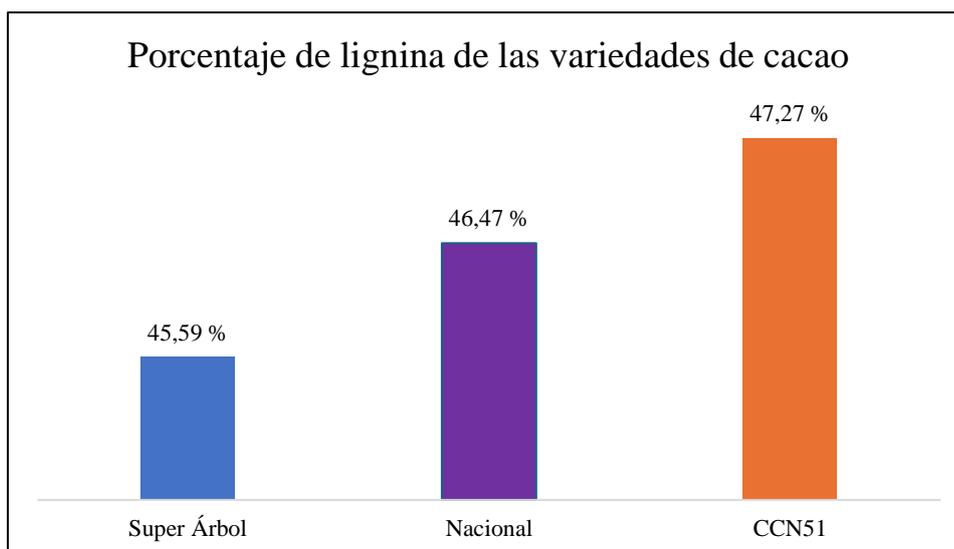
- Si valor  $p <$  nivel de significancia ( $\alpha$ ), se rechaza  $H_0$ .
- Si valor  $p \geq$  nivel de significancia ( $\alpha$ ), no se rechaza  $H_0$ .

**Tabla 4-3:** Análisis ANOVA de los porcentajes de lignina de las variedades de cacao

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media	Valor F	Valor p
Entre grupos	4,236	2	2,118	0,018	0,982
Dentro de grupos	692,918	6	115,486		
Total	697,155	8			

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

En el ANOVA, se observa que el valor p es mayor a 0,05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que no existen diferencias significativas entre las medias de los porcentajes de lignina de las diferentes variedades de cacao. No obstante, en la Ilustración 4-1, se observa que el mayor porcentaje de lignina se obtuvo en la variedad CCN51 con un 47,27%.



**Ilustración 4-1:** Porcentaje de lignina de las variedades de cacao

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

#### 4.1.1.2. Contenido de celulosa de las variedades de cacao

El procedimiento para la determinación del contenido de celulosa de las tres variedades de cacao (Super Árbol, Nacional y CCN51) se realizó por triplicado para obtener un promedio representativo, tal como se visualiza en la Tabla 4-4 y en el ANEXO C.

**Tabla 4-4:** Porcentaje de celulosa de las variedades de cacao

Variedad de cacao	Código de identificación	Nº muestras	Celulosa			Resultante (Peso muestra crisol - Peso crisol) (g)	Celulosa (%)
			Peso muestra (g)	Peso crisol (g)	Peso muestra crisol (g)		
Super Árbol	IV23-72	1	1,0024	28,8065	28,9921	0,1846	18,52
	IV23-73	2	1,0020	28,7948	28,9882	0,1934	19,30
	IV23-74	3	1,0020	29,3237	29,4079	0,0842	8,40
Nacional	IV23-75	4	1,0022	29,4998	29,6863	0,1865	18,61
	IV23-76	5	1,0020	28,3775	28,5586	0,1811	18,07
	IV23-77	6	1,0021	29,5118	29,6734	0,1616	16,13
CCN51	IV23-78	7	1,0029	29,1487	29,3424	0,1937	19,31
	IV23-79	8	1,0023	29,6299	29,7938	0,1639	16,35
	IV23-80	9	1,0019	29,5161	29,7061	0,1900	18,96

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

Se realizó un análisis descriptivo de los datos mediante el programa SPSS. En la Tabla 4-5 se muestra la media, la desviación estándar, el error de desviación, los intervalos de confianza y los valores máximos y mínimos.

**Tabla 4-5:** Análisis descriptivo de los porcentajes de celulosa de las variedades de cacao

Variedad de cacao	# de repeticiones	Media (%)	Desviación estándar	Error de desviación	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Super Árbol	3	15,40	6,0804	3,5105	0,3019	30,5114	8,40	19,30
Nacional	3	17,60	1,3042	0,7529	14,3635	20,8431	16,13	18,61
CCN51	3	18,20	1,6174	0,9338	14,1888	22,2245	16,35	19,31

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

Posteriormente, se realizó un ANOVA para identificar si existe o no diferencias entre las medias con respecto a los porcentajes de celulosa, lo cual se muestra en la Tabla 4-6. Se trabajó a un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha=0,05$ ). Las hipótesis del ANOVA fueron las siguientes:

- $H_0$ : Todas las medias son iguales.
- $H_1$ : Al menos una media es diferente de las demás.

Para decidir si se rechaza o no la hipótesis nula ( $H_0$ ) se siguió la regla del valor pág.

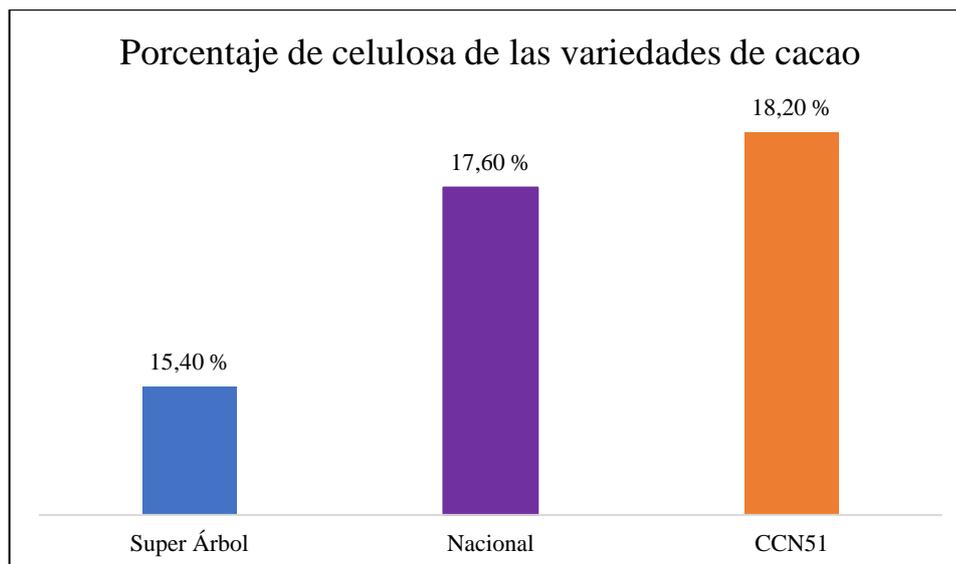
- Si valor  $p <$  nivel de significancia ( $\alpha$ ), se rechaza  $H_0$ .
- Si valor  $p \geq$  nivel de significancia ( $\alpha$ ), no se rechaza  $H_0$ .

**Tabla 4-6:** Análisis ANOVA de los porcentajes de celulosa de las variedades de cacao

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media	Valor F	Valor p
Entre grupos	13,029	2	6,151	0,473	0,644
Dentro de grupos	82,578	6	13,763		
Total	95,608	8			

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

En el ANOVA, se observa que el valor p es mayor a 0,05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que no existen diferencias significativas entre las medias de los porcentajes de celulosa de las diferentes variedades de cacao. No obstante, en la Ilustración 4-2, se observa que el mayor porcentaje de celulosa se obtuvo en la variedad CCN51 con un 18,20%.



**Ilustración 4-2:** Porcentaje de celulosa de las variedades de cacao

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

#### 4.1.2. *Determinación del contenido de lignina y celulosa de los aditivos (madera de jacarandá y pseudotallo de plátano)*

##### 4.1.2.1. *Contenido de lignina de los aditivos*

El procedimiento para la determinación del porcentaje de lignina de los dos aditivos (madera de jacarandá y pseudotallo de plátano) se realizó por duplicado para obtener un promedio representativo, tal como se visualiza en la Tabla 4-7 y en el ANEXO B.

**Tabla 4-7:** Porcentaje de lignina de los aditivos

Variedad de cacao	Código de identificación	Nº muestras	Peso muestra (g)	Lignina		Resultante (Peso muestra crisol - Peso crisol) (g)	Lignina (%)
				Peso crisol (g)	Peso muestra crisol (g)		
Jacarandá	IV23-208-1	1	1,0029	29,1186	29,6035	0,4849	48,35
	IV23-208-2	2	1,0029	29,1167	29,5314	0,4147	41,35
Pseudotallo de plátano	IV24-001-1	3	1,0020	29,3775	29,6490	0,2715	27,10
	IV24-001-2	4	1,0020	29,2793	29,5265	0,2472	24,67

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

Se realizó un análisis descriptivo de los datos mediante el programa SPSS. En la Tabla 4-8 se muestra la media, la desviación estándar, el error de desviación, los intervalos de confianza y los valores máximos y mínimos.

**Tabla 4-8:** Análisis descriptivo de los porcentajes de lignina de los aditivos

Variedad de cacao	# de repeticiones	Media (%)	Desviación estándar	Error de desviación	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Jacarandá	2	44,85	4,9498	3,5000	0,3783	89,3217	41,35	48,35
Pseudotallo de plátano	2	25,88	1,7182	1,2150	10,4470	41,3230	24,67	27,10

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

Posteriormente, se realizó un ANOVA para identificar si existe o no diferencias entre las medias de los porcentajes de lignina, lo cual se muestra en la Tabla 4-9. Se trabajó a un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha=0,05$ ). Las hipótesis del ANOVA fueron las siguientes:

- $H_0$ : Todas las medias son iguales.
- $H_1$ : Al menos una media es diferente de las demás.

Para decidir si se rechaza o no la hipótesis nula ( $H_0$ ) se siguió la regla del valor pág.

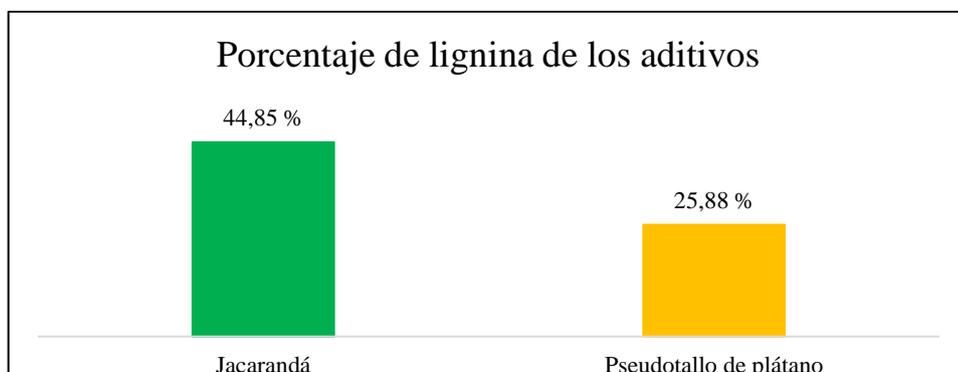
- Si valor  $p <$  nivel de significancia ( $\alpha$ ), se rechaza  $H_0$ .
- Si valor  $p \geq$  nivel de significancia ( $\alpha$ ), no se rechaza  $H_0$ .

**Tabla 4-9:** Análisis ANOVA de los porcentajes de lignina de los aditivos

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media	Valor F	Valor p
Entre grupos	359,671	1	359,671	26,203	0,036
Dentro de grupos	27,452	2	13,726		
Total	387,124	3			

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

En el ANOVA, se observa que el valor p es menor a 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existen diferencias significativas entre las medias de los porcentajes de lignina de los aditivos. En la Ilustración 4-3, se observa que el mayor porcentaje de lignina se obtuvo en la madera de jacarandá con un 44,85%.



**Ilustración 4-3:** Porcentaje de lignina de los aditivos

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

#### 4.1.2.2. Contenido de celulosa de los aditivos

El procedimiento para la determinación del porcentaje de celulosa de los aditivos (madera de jacarandá y pseudotallo de plátano) se realizó por duplicado para obtener un promedio representativo, tal como se visualiza en la Tabla 4-10 y en el ANEXO C.

**Tabla 4-10:** Porcentaje de celulosa de los aditivos

Variedad de cacao	Código de identificación	Nº muestras	Celulosa			Resultante (Peso muestra cristo - Peso crisol) (g)	Celulosa (%)
			Peso muestra (g)	Peso crisol (g)	Peso muestra crisol (g)		
Jacarandá	IV23-208-1	1	1,0025	29,3139	29,9164	0,6025	60,10
	IV23-208-2	2	1,0029	29,9143	29,5556	0,6413	63,94
Pseudotallo de plátano	IV24-001-1	3	1,0026	29,1818	29,5335	0,3517	35,08
	IV24-001-2	4	1,0021	29,5693	29,9332	0,3639	36,31

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

Se realizó un análisis descriptivo de los datos mediante el programa SPSS. En la Tabla 4-11 se muestra la media, la desviación estándar, el error de desviación, los intervalos de confianza y los valores máximos y mínimos.

**Tabla 4-11:** Análisis descriptivo de los porcentajes de celulosa de los aditivos

Variedad de cacao	# de repeticiones	Media (%)	Desviación estándar	Error de desviación	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Jacarandá	2	62,02	2,7152	1,9200	37,6241	86,4159	60,10	63,94
Pseudotallo de plátano	2	35,70	0,8697	0,6150	27,8807	43,5093	35,08	36,31

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

Posteriormente, se realizó un ANOVA para identificar si existe o no diferencias entre las medias con respecto a los porcentajes de celulosa, lo cual se muestra en la Tabla 4-12. Se trabajó a un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha=0,05$ ). Las hipótesis del ANOVA fueron las siguientes:

- $H_0$ : Todas las medias son iguales.
- $H_1$ : Al menos una media es diferente de las demás.

Para decidir si se rechaza o no la hipótesis nula ( $H_0$ ) se siguió la regla del valor pág.

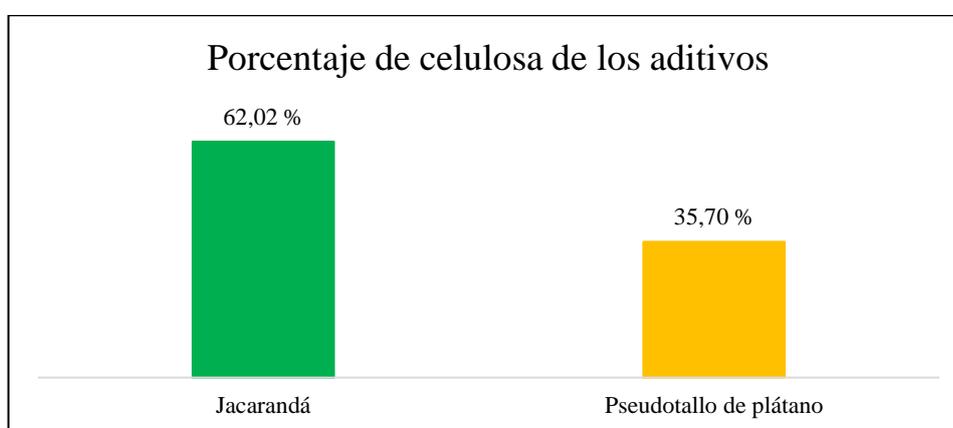
- Si valor  $p <$  nivel de significancia ( $\alpha$ ), se rechaza  $H_0$ .
- Si valor  $p \geq$  nivel de significancia ( $\alpha$ ), no se rechaza  $H_0$ .

**Tabla 4-12:** Análisis ANOVA de los porcentajes de celulosa de los aditivos

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media	Valor F	Valor p
Entre grupos	693,006	1	693,006	170,497	0,006
Dentro de grupos	8,129	2	4,065		
Total	701,135	3			

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

En el ANOVA, se observa que el valor p es menor a 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existen diferencias significativas entre las medias de los porcentajes de celulosa de los aditivos. En la Ilustración 4-4, se observa que la madera de jacarandá es el aditivo con mayor porcentaje de celulosa con un 62,02%.



**Ilustración 4-4:** Porcentaje de celulosa de los aditivos

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

#### **4.2. Papel Kraft elaborado utilizando la metodología Kurschner y Hoffner, mediante un diseño experimental que involucra el uso de la cascarilla de varias variedades de cacao y de diferentes proporciones de los residuos del pseudotallo de plátano y de madera de jacarandá.**

De acuerdo al diseño experimental de la Tabla 3-3 que indica los 12 tratamientos que resultan de la combinación de porcentajes de materia prima (cacao CCN51, Nacional y Súper Árbol) con pseudotallo de plátano (ANEXO D), se elaboraron 24 hojas de papel Kraft, ya que cada tratamiento se realizó por duplicado.

Asimismo, de acuerdo al diseño de la Tabla 3-4 que muestra los 12 tratamientos resultantes de la combinación de porcentajes de materia prima (cacao CCN51, Nacional y Súper Árbol) con madera de jacarandá (ANEXO D), se elaboraron 24 hojas de papel Kraft, ya que cada tratamiento se realizó por duplicado. Por lo tanto, se elaboraron 48 hojas de papel Kraft en total, tal como se detalla en la Tabla 4-13, Tabla 4-14 y en el ANEXO E Y F.

**Tabla 4-13:** Hojas de papel Kraft elaborados con pseudotallo de plátano

<b>Tipo de aditivo</b>	<b>Tratamiento en %</b>	<b>Duplicado</b>
Pseudotallo de plátano	T <sub>1</sub> : 100% CCN51 / 0% aditivo	T <sub>1</sub> 100% CCN51 / 0% aditivo
	T <sub>2</sub> : 75% CCN51 / 25% aditivo	T <sub>2</sub> : 75% CCN51 / 25% aditivo
	T <sub>3</sub> : 50% CCN51 / 50% aditivo	T <sub>3</sub> : 50% CCN51 / 50% aditivo
	T <sub>4</sub> : 25% CCN51 / 75% aditivo	T <sub>4</sub> : 25% CCN51 / 75% aditivo
	T <sub>5</sub> : 100% Nacional / 0% aditivo	T <sub>5</sub> : 100% Nacional / 0% aditivo
	T <sub>6</sub> : 75% Nacional / 25% aditivo	T <sub>6</sub> : 75% Nacional / 25% aditivo
	T <sub>7</sub> : 50% Nacional / 50% aditivo	T <sub>7</sub> : 50% Nacional / 50% aditivo
	T <sub>8</sub> : 25% Nacional / 75% aditivo	T <sub>8</sub> : 25% Nacional / 75% aditivo
	T <sub>9</sub> : 100% Super Árbol / 0% aditivo	T <sub>9</sub> : 100% Super Árbol / 0% aditivo
	T <sub>10</sub> : 75% Super Árbol / 25% aditivo	T <sub>10</sub> : 75% Super Árbol / 25% aditivo
	T <sub>11</sub> : 50% Super Árbol / 50% aditivo	T <sub>11</sub> : 50% Super Árbol / 50% aditivo
	T <sub>12</sub> : 25% Super Árbol / 75% aditivo	T <sub>12</sub> : 25% Super Árbol / 75% aditivo

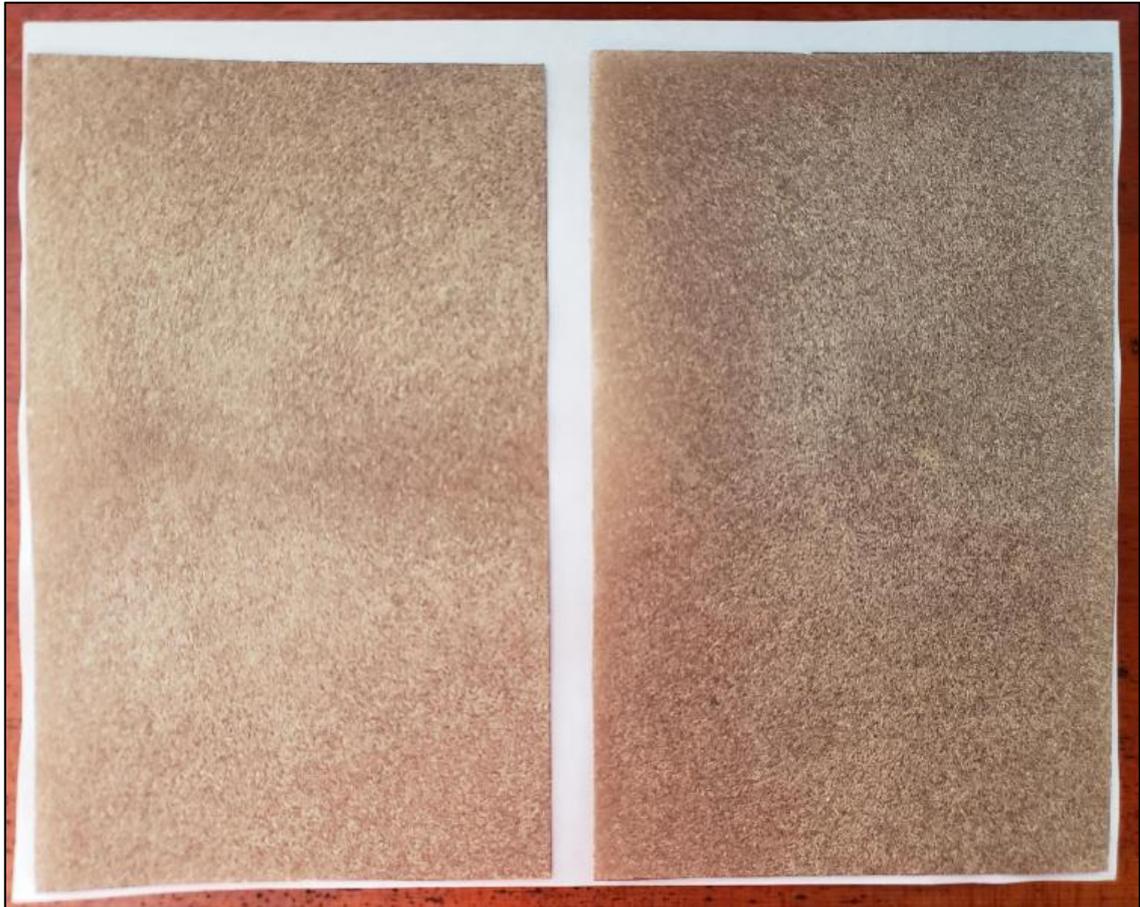
**Realizado por:** Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

**Tabla 4-14:** Hojas de papel Kraft elaborados con madera de jacarandá

<b>Tipo de aditivo</b>	<b>Tratamiento en %</b>	<b>Duplicado</b>
Madera de jacarandá	T <sub>1</sub> : 100% CCN51 / 0% aditivo	T <sub>1</sub> : 100% CCN51 / 0% aditivo
	T <sub>2</sub> : 75% CCN51 / 25% aditivo	T <sub>2</sub> : 75% CCN51 / 25% aditivo
	T <sub>3</sub> : 50% CCN51 / 50% aditivo	T <sub>3</sub> : 50% CCN51 / 50% aditivo
	T <sub>4</sub> : 25% CCN51 / 75% aditivo	T <sub>4</sub> : 25% CCN51 / 75% aditivo
	T <sub>5</sub> : 100% Nacional / 0% aditivo	T <sub>5</sub> : 100% Nacional / 0% aditivo
	T <sub>6</sub> : 75% Nacional / 25% aditivo	T <sub>6</sub> : 75% Nacional / 25% aditivo
	T <sub>7</sub> : 50% Nacional / 50% aditivo	T <sub>7</sub> : 50% Nacional / 50% aditivo
	T <sub>8</sub> : 25% Nacional / 75% aditivo	T <sub>8</sub> : 25% Nacional / 75% aditivo
	T <sub>9</sub> : 100% Super Árbol / 0% aditivo	T <sub>9</sub> : 100% Super Árbol / 0% aditivo
	T <sub>10</sub> : 75% Super Árbol / 25% aditivo	T <sub>10</sub> : 75% Super Árbol / 25% aditivo
	T <sub>11</sub> : 50% Super Árbol / 50% aditivo	T <sub>11</sub> : 50% Super Árbol / 50% aditivo
	T <sub>12</sub> : 25% Super Árbol / 75% aditivo	T <sub>12</sub> : 25% Super Árbol / 75% aditivo

**Realizado por:** Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

Adicional, en la Ilustración 4-5, se puede apreciar el papel Kraft elaborado con madera de jacarandá, perteneciente al tratamiento T<sub>6</sub> (Nacional-75%) y su duplicado, los cuales poseen 37,5 gramos de cacao tipo Nacional (75%) y 12,5 gramos de aditivo de madera de jacarandá (25%).



**Ilustración 4-5:** Papel Kraft elaborado con madera jacarandá (T<sub>6</sub>)

**Realizado por:** Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

#### **4.3. Espesor y resistencia a la tensión del papel Kraft para la verificación del cumplimiento de los lineamientos del papel de uso industrial de las normas INEN, ISO y TAPPI.**

Los resultados del análisis del espesor y la resistencia a la tensión de los papeles Kraft elaborados con la cascarilla de cacao y los aditivos pseudotallo de plátano y madera de jacarandá (ANEXO F y G) se detallan en la Tabla 4-15 y Tabla 4-16, respectivamente.

**Tabla 4-15:** Propiedades físicas del papel Kraft elaborado con pseudotallo de plátano

Tratamiento	Dosis Aditivo %	Variedad de cacao	Espesor (mm)	Resistencia a la tensión (kN/m)
T <sub>1</sub>	0	CCN51	0,10	0,030
T <sub>1</sub>	0		0,13	0,024
T <sub>2</sub>	25		0,11	0,013
T <sub>2</sub>	25		0,10	0,012
T <sub>3</sub>	50		0,18	0,023
T <sub>3</sub>	50		0,13	0,011
T <sub>4</sub>	75		0,08	0,040
T <sub>4</sub>	75		0,08	0,046
T <sub>5</sub>	0	Nacional	0,14	0,035
T <sub>5</sub>	0		0,09	0,029
T <sub>6</sub>	25		0,08	0,023
T <sub>6</sub>	Pseudotallo de plátano 25		0,07	0,026
T <sub>7</sub>	50		0,075	0,031
T <sub>7</sub>	50		0,07	0,030
T <sub>8</sub>	75		0,06	0,029
T <sub>8</sub>	75		0,05	0,030
T <sub>9</sub>	0	Super Árbol	0,10	0,030
T <sub>9</sub>	0		0,13	0,036
T <sub>10</sub>	25		0,09	0,025
T <sub>10</sub>	25		0,089	0,029
T <sub>11</sub>	50		0,1	0,037
T <sub>11</sub>	50		0,075	0,033
T <sub>12</sub>	75		0,06	0,014
T <sub>12</sub>	75		0,05	0,019

**Realizado por:** Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

**Tabla 4-16:** Propiedades físicas del papel Kraft elaborado con madera de jacarandá

Tratamiento	Dosis Aditivo %	Variedad de cacao	Espesor (mm)	Resistencia a la tensión (kN/m)
T <sub>1</sub>	0	CCN51	0,13	0,024
T <sub>1</sub>	0		0,10	0,030
T <sub>2</sub>	25		0,45	0,015
T <sub>2</sub>	25		0,32	0,019
T <sub>3</sub>	50		0,33	0,018
T <sub>3</sub>	50		0,29	0,008
T <sub>4</sub>	75		0,99	0,017
T <sub>4</sub>	75		1,29	0,014
T <sub>5</sub>	0	Nacional	0,09	0,029
T <sub>5</sub>	0		0,14	0,035
T <sub>6</sub>	25		0,34	0,013
T <sub>6</sub>	25		0,33	0,007
T <sub>7</sub>	50		0,45	0,014
T <sub>7</sub>	50		0,30	0,022
T <sub>8</sub>	75		1,04	0,030
T <sub>8</sub>	75		0,94	0,023
T <sub>9</sub>	0	Super Árbol	0,13	0,036
T <sub>9</sub>	0		0,10	0,040
T <sub>10</sub>	25		0,93	0,011
T <sub>10</sub>	25		0,81	0,007
T <sub>11</sub>	50		1,08	0,013
T <sub>11</sub>	50		0,92	0,013
T <sub>12</sub>	75		1,42	0,013
T <sub>12</sub>	75		1,69	0,027

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

#### 4.3.1. Análisis estadístico del espesor y resistencia a la tensión del papel Kraft elaborado con pseudotallo de plátano

Con los datos del espesor y la resistencia a la tensión de los papeles Kraft, mediante el programa Minitab se realizó un ANOVA de dos factores a un nivel de confianza del 95 %, cuyos resultados se presentan a continuación.

#### 4.3.1.1. Espesor del papel Kraft elaborado con pseudotallo de plátano

En la Tabla 4-17, se observa que el efecto de la variedad de cacao es significativo ( $p < 0,05$ ), por lo que las variedades de cacao sí influyen en el espesor. Así mismo, se observa que el efecto de las dosis de aditivo también es significativo ( $p < 0,05$ ), por lo que el espesor se ve afectado por las dosis diferentes de aditivo. Adicionalmente, el efecto de la interacción no es significativo ( $p > 0,05$ ), por lo que se puede interpretar los efectos de cada factor de manera independiente sin considerar el otro factor.

**Tabla 4-17:** Análisis ANOVA del espesor de los papeles Kraft con pseudotallo de plátano

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media	Valor F	Valor p
Variedad de cacao	0,005240	2	0,002620	8,01	0,006
Dosis aditivo	0,009107	3	0,003036	9,28	0,002
Variedad de cacao x Dosis aditivo	0,004219	6	0,000703	2,15	0,122
Error	0,003925	12	0,000327		
Total	0,022491	23			

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

Dado que se obtuvo que la interacción no es significativa, se realizaron pruebas LSD de Fisher, tanto para la variedad de cacao, como para las dosis de aditivo, en donde las medias con la misma letra son estadísticamente iguales. En la Tabla 4-18 se observa que la media del espesor más alta se obtiene con la variedad CCN51, por lo que se concluye que independientemente de la dosis de pseudotallo de plátano, el espesor más alto se obtiene con la variedad de cacao CCN51.

**Tabla 4-18:** Prueba LSD de Fisher para la media de espesor de las variedades de cacao.

Test:	LSD Fisher	Alfa:	0,05	DMS:	0,01970
Error:	0,0003	Grados de libertad:			12
Cacao	Medias	Número de tratamientos	E.E.	Agrupaciones	
Nacional	0,08	8	0,01	A	
Super Árbol	0,09	8	0,01	A	
CCN51	0,11	8	0,01	B	
Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )					

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

En cambio, en la Tabla 4-19, se observa que la media del espesor más alta se obtiene con las dosis de 0 % y 50 %, por lo que se concluye que independientemente de la variedad de cacao, el espesor más alto se obtiene con una dosis de pseudotallo de plátano de 0 % y 50 %.

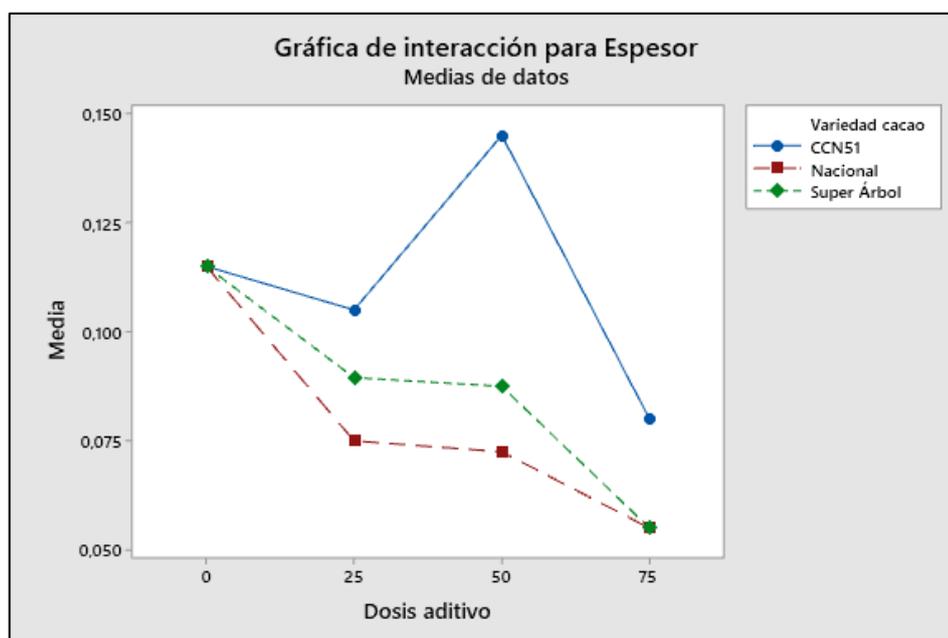
**Tabla 4-19:** Prueba LSD de Fisher para la media de espesor de la dosis del aditivo

Test:	LSD Fisher	Alfa:	0,05	DMS:	0,02275
Error:	0,0003	Grados de libertad:	12		
Cacao	Medias	Número de tratamientos	E.E.	Agrupaciones	
75%	0,06	6	0,01	A	
25%	0,09	6	0,01	B	
50%	0,11	6	0,01	B	C
0%	0,12	6	0,01	C	

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

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

A continuación, en la Ilustración 4-6, se muestra la gráfica de interacción para la media del espesor, donde se indica que la media más alta se obtiene con el tratamiento T<sub>3</sub> (CCN51-50%). Por otra parte, el valor más bajo de la media se obtiene con los tratamientos T<sub>8</sub> (Nacional-75%) y T<sub>12</sub> (Super Árbol-75%).



**Ilustración 4-6:** Interacción para el espesor con pseudotallo de plátano

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

En la Tabla 4-20, se observa los resultados de la prueba LSD de Fisher para todos los tratamientos, donde las medias con la misma letra son estadísticamente iguales. Se muestra que los valores más bajos de espesor, se obtienen con los tratamientos representados con la letra "A", es decir, T<sub>8</sub> (Nacional-75%), T<sub>12</sub> (Super Árbol-75%), T<sub>7</sub> (Nacional-50%), T<sub>6</sub> (Nacional-25%), T<sub>4</sub> (CCN51-75%), T<sub>11</sub> (Super Árbol-50%) y T<sub>10</sub> (Super Árbol-25%). Mientras que, el valor más alto de espesor, se obtiene con el tratamiento representado con la letra "D", es decir T<sub>3</sub> (CCN51-50%).

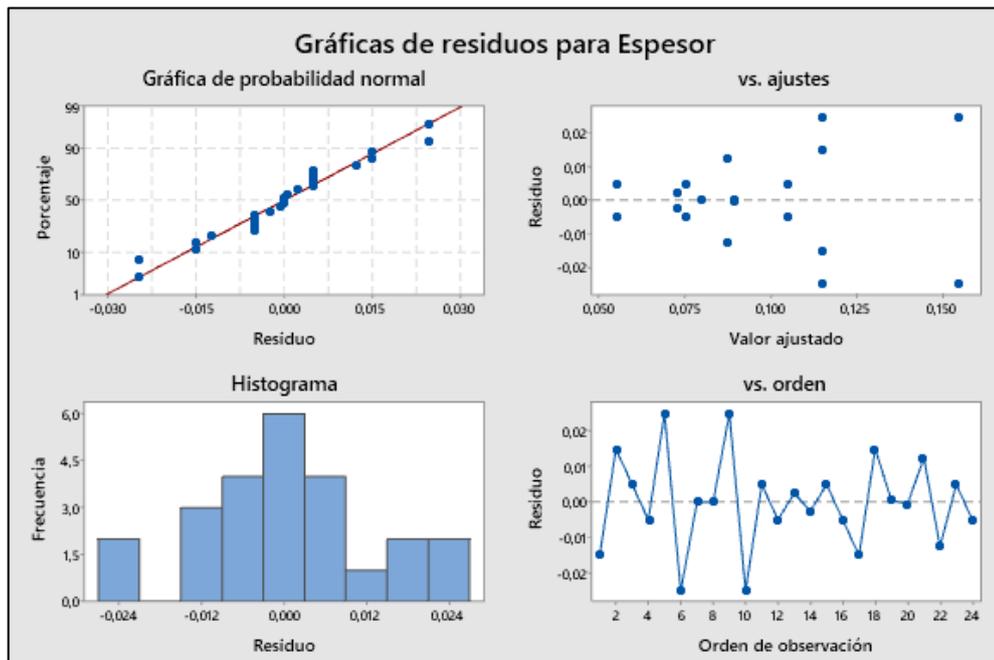
**Tabla 4-20:** Prueba LSD de Fisher para el espesor con pseudotallo de plátano

Prueba:	LSD Fisher	Alfa:	0,05	DMS:	0,03941
Error	0,0003	Grados de libertad:	12		
Variedad de cacao	Dosis de aditivo	Medias (mm)	Número de tratamientos	E.E.	Agrupación
T <sub>8</sub> : Nacional	75	0,06	2	0,01	A
T <sub>12</sub> : Super Árbol	75	0,06	2	0,01	A
T <sub>7</sub> : Nacional	50	0,07	2	0,01	A B
T <sub>6</sub> : Nacional	25	0,08	2	0,01	A B
T <sub>4</sub> : CCN51	75	0,08	2	0,01	A B C
T <sub>11</sub> : Super Árbol	50	0,09	2	0,01	A B C
T <sub>10</sub> : Super Árbol	25	0,09	2	0,01	A B C
T <sub>2</sub> : CCN51	25	0,11	2	0,01	B C
T <sub>9</sub> : Super Árbol	0	0,12	2	0,01	C
T <sub>5</sub> : Nacional	0	0,12	2	0,01	C
T <sub>1</sub> : CCN51	0	0,12	2	0,01	C
T <sub>3</sub> : CCN51	50	0,16	2	0,01	D

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

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

La comprobación de los supuestos del ANOVA se presenta en la Ilustración 4-7, donde la gráfica de probabilidad normal indica que los puntos están cerca de la diagonal, por lo que se cumple el supuesto de normalidad. En la gráfica de residuos vs valores ajustados se observa que la nube de puntos toma la forma de un embudo, lo que sugiere que no se cumple el supuesto de homocedasticidad. Finalmente, en la gráfica de residuos vs orden de observación, no se muestra ninguna tendencia, por lo que se cumple el supuesto de independencia.



**Ilustración 4-7:** Residuos para espesor con pseudotallo de plátano

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

#### 4.3.1.2. Resistencia a la tensión del papel Kraft elaborado con pseudotallo de plátano

En la Tabla 4-21, se observa que el efecto de la variedad de cacao no es significativo ( $p > 0,05$ ), por lo que las variedades de cacao no influyen en la resistencia a la tensión. Sin embargo, se muestra que el efecto de las dosis de aditivo es significativo ( $p < 0,05$ ), por lo que la resistencia a la tensión sí se ve afectada por las diferentes dosis de aditivo. Además, se debe destacar que el efecto de la interacción es significativo ( $p < 0,05$ ), lo que indica que la información relevante del experimento se debe obtener del gráfico de interacción.

**Tabla 4-21:** Análisis ANOVA de la resistencia a la tensión de los papeles Kraft con pseudotallo de plátano

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media	Valor F	Valor p
Variedad de cacao	0,000071	2	0,000036	2,34	0,139
Dosis aditivo	0,000324	3	0,000108	7,07	0,005
Variedad de cacao x Dosis aditivo	0,001274	6	0,000212	13,92	0,000
Error	0,000183	12	0,000015		
Total	0,001851	23			

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

En la Ilustración 4-8, se muestra la gráfica de interacción para la media de la resistencia a la tensión, donde se sugiere que la media más alta se obtiene con el tratamiento T<sub>4</sub> (CCN51-75%). Por otra parte, el valor más bajo de la media se obtiene en el tratamiento T<sub>2</sub> (CCN51-25%).



**Ilustración 4-8:** Interacción para la resistencia a la tensión con pseudotallo de plátano

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

En la Tabla 4-22, se observa los resultados de la prueba LSD de Fisher para todos los tratamientos, donde las medias con la misma letra son estadísticamente iguales. Se muestra que los valores más bajos de resistencia a la tensión, se obtienen con los tratamientos representados con la letra "A", es decir, T<sub>2</sub> (CCN51-25%), T<sub>12</sub> (Super Árbol-75%) y T<sub>3</sub> (CCN51-50%). Mientras que, los valores más altos de resistencia a la tensión, se obtienen con los tratamientos representados con la letra "E", los cuales son T<sub>11</sub> (Super Árbol-50%) y T<sub>4</sub> (CCN51-75%).

**Tabla 4-22:** Prueba LSD de Fisher para la resistencia a la tensión con pseudotallo de plátano

<b>Prueba:</b>	LSD Fisher	<b>Alfa:</b>	0,05	<b>DMS:</b>	0,00840
<b>Error</b>	0,0000	<b>Grados de libertad:</b>	12		
<b>Variedad de cacao</b>	<b>Dosis de aditivo</b>	<b>Medias (kN/m)</b>	<b>Número de tratamientos</b>	<b>E.E.</b>	<b>Agrupación</b>
T <sub>2</sub> : CCN51	25	0,01	2	2,7 E-03	A
T <sub>12</sub> : Super Árbol	75	0,02	2	2,7 E-03	A B
T <sub>3</sub> : CCN51	50	0,02	2	2,7 E-03	A B C
T <sub>6</sub> : Nacional	25	0,02	2	2,7 E-03	B C
T <sub>1</sub> : CCN51	0	0,03	2	2,7 E-03	C D
T <sub>10</sub> : Super Árbol	25	0,03	2	2,7 E-03	C D
T <sub>8</sub> : Nacional	75	0,03	2	2,7 E-03	C D
T <sub>7</sub> : Nacional	50	0,03	2	2,7 E-03	C D
T <sub>5</sub> : Nacional	0	0,03	2	2,7 E-03	D
T <sub>9</sub> : Super Árbol	0	0,03	2	2,7 E-03	D
T <sub>11</sub> : Super Árbol	50	0,04	2	2,7 E-03	D E
T <sub>4</sub> : CCN51	75	0,04	2	2,7 E-03	E

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

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

La comprobación de los supuestos del ANOVA se presenta en la Ilustración 4-9, donde la gráfica de probabilidad normal indica que los puntos están cerca de la diagonal, por lo que se cumple el supuesto de normalidad. En la gráfica de residuos vs valores ajustados se observa que la nube de puntos toma la forma de una banda horizontal, lo que sugiere que se cumple el supuesto de homocedasticidad. Finalmente, en la gráfica de residuos vs orden de observación, no se muestra ninguna tendencia, por lo que se cumple el supuesto de independencia.



**Ilustración 4-9:** Residuos para resistencia a la tensión con Pseudotallo de plátano

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

#### 4.3.2. Análisis estadístico del espesor y resistencia a la tensión del papel Kraft elaborado con madera de jacarandá

Con los datos del espesor y la resistencia a la tensión de los papeles Kraft, mediante el programa Minitab se realizó un ANOVA de dos factores a un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha=0,05$ ), cuyos resultados se presentan a continuación.

##### 4.3.2.1. Espesor del papel Kraft elaborado con madera de jacarandá

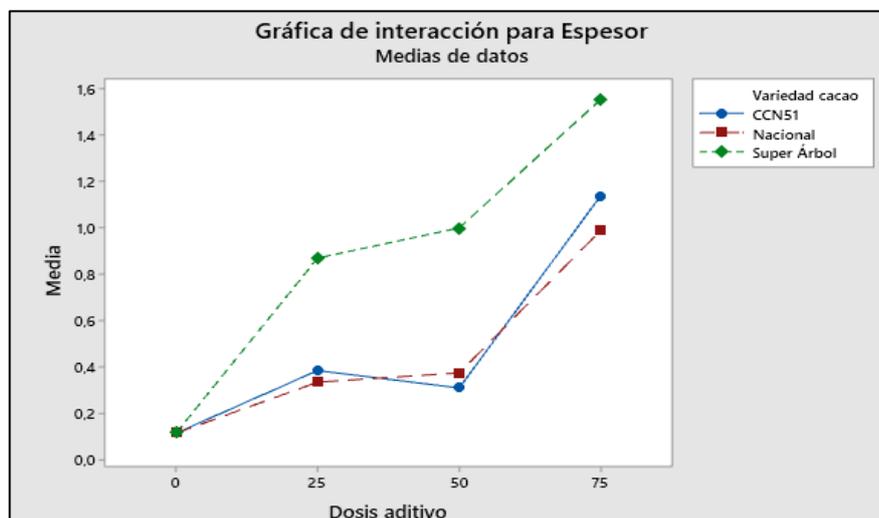
En la Tabla 4-23, se observa que el efecto de la variedad de cacao es significativo ( $p < 0,05$ ), por lo que los tipos de cacao sí influyen en el espesor. Así mismo, se observa que el efecto de las dosis de aditivo es significativo ( $p < 0,05$ ), por lo que el espesor se ve afectado por las dosis diferentes de aditivos. Además, se debe destacar que el efecto de la interacción es significativo ( $p < 0,05$ ), lo que indica que la información relevante del experimento se debe obtener del gráfico de interacción.

**Tabla 4-23:** Análisis ANOVA del espesor de los papeles Kraft con madera de jacarandá

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media	Valor F	Valor p
Variedad de cacao	0,9203	2	0,46016	42,76	0,000
Dosis aditivo	3,8165	3	1,27218	118,21	0,000
Variedad de cacao x Dosis aditivo	0,3522	6	0,05871	5,45	0,006
Error	0,1292	12	0,01076		
Total	5,2183	23			

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

En la Ilustración 4-10, se muestra la gráfica de interacción para la media del espesor, donde se sugiere que la media más alta se obtiene con el tratamiento T<sub>12</sub> (Super Árbol-75%). Mientras que, el valor más bajo de la media se obtiene con los tratamientos T<sub>1</sub> (CCN51-0%), T<sub>5</sub> (Nacional-0%) y T<sub>9</sub> (Super Árbol-0%).



**Ilustración 4-10:** Interacción para el espesor con madera de jacarandá

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

En la Tabla 4-24, se observa los resultados de la prueba LSD de Fisher donde las medias con la misma letra son estadísticamente iguales. Se muestra que los valores más bajos de espesor se obtienen con los tratamientos representados con la letra "A": T<sub>9</sub> (CCN51-0%), T<sub>5</sub> (Nacional-0%), T<sub>1</sub> (CCN51-0%), T<sub>3</sub> (CCN51-50%) y T<sub>6</sub> (Nacional-25%). Mientras que, el valor más alto de espesor se obtiene con el tratamiento representado con la letra "E": T<sub>12</sub> (Super Árbol-75%).

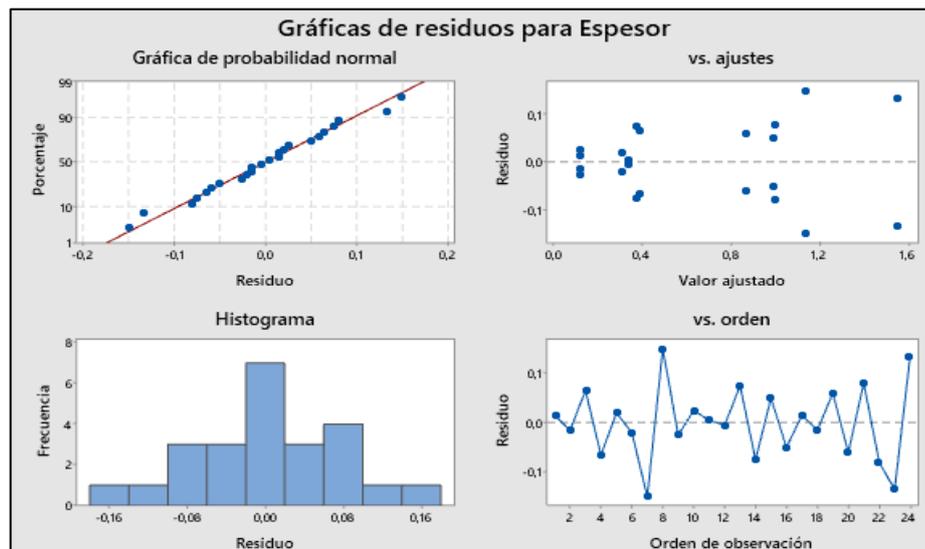
**Tabla 4-24:** Prueba LSD de Fisher para el espesor con madera de jacarandá

Prueba:	LSD Fisher	Alfa:	0,05	DMS:	0,01256
Error	0,0000	Grados de libertad:	12		
Variedad de cacao	Dosis de aditivo	Medias (mm)	Número de tratamientos	E.E.	Agrupación
T <sub>9</sub> : Super Árbol	0	0,12	2	0,07	A
T <sub>5</sub> : Nacional	0	0,12	2	0,07	A
T <sub>1</sub> : CCN51	0	0,12	2	0,07	A
T <sub>3</sub> : CCN51	50	0,31	2	0,07	A B
T <sub>6</sub> : Nacional	25	0,34	2	0,07	A B
T <sub>7</sub> : Nacional	50	0,38	2	0,07	B
T <sub>2</sub> : CCN51	25	0,39	2	0,07	B
T <sub>10</sub> : Super Árbol	25	0,87	2	0,07	C
T <sub>8</sub> : Nacional	75	0,99	2	0,07	C D
T <sub>11</sub> : Super Árbol	50	1,00	2	0,07	C D
T <sub>4</sub> : CCN51	75	1,14	2	0,07	D
T <sub>12</sub> : Super Árbol	75	1,56	2	0,07	E

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

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

La comprobación de los supuestos del ANOVA se presenta en la Ilustración 4-11, donde la gráfica de probabilidad normal indica que los puntos están cerca de la diagonal, por lo que se cumple el supuesto de normalidad. En la gráfica de residuos vs valores ajustados se observa que la nube de puntos toma la forma de un embudo, lo que sugiere que no se cumple el supuesto de homocedasticidad. Finalmente, en la gráfica de residuos vs orden de observación, no se muestra ninguna tendencia, por lo que se cumple el supuesto de independencia.



**Ilustración 4-11:** Residuos para espesor con madera de jacarandá

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

#### 4.3.2.2. Resistencia a la tensión del papel Kraft elaborado con madera de jacarandá

En la Tabla 4-25, se observa que el efecto de la variedad de cacao no es significativo ( $p > 0,05$ ), por lo que las variedades de cacao no influyen en la resistencia a la tensión. Por otra parte, se muestra que el efecto de las dosis de aditivo es significativo ( $p < 0,05$ ), por lo que la resistencia a la tensión se ve afectada por las dosis diferentes de aditivo. Adicionalmente, el efecto de la interacción no es significativo ( $p > 0,05$ ), por lo que se puede interpretar los efectos de cada factor de manera independiente sin considerar el otro factor.

**Tabla 4-25:** Análisis ANOVA de la resistencia a la tensión de los papeles Kraft con madera de jacarandá

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media	Valor F	Valor p
Variedad de cacao	0,000039	2	0,000047	0,86	0,448
Dosis aditivo	0,001482	3	0,000494	21,55	0,000
Variedad de cacao x Dosis aditivo	0,000304	6	0,000038	2,21	0,114
Error	0,000275	12	0,000034		
Total	0,002101	23			

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

Dado que se obtuvo que la interacción no es significativa, se realizaron pruebas LSD de Fisher, tanto para la variedad de cacao, como para las dosis de aditivo, en donde las medias con la misma letra son estadísticamente iguales. En la Tabla 4-26 se observa que las medias de la resistencia a la tensión de todas las variedades de cacao son iguales, por lo que se concluye que independientemente de la dosis de jacarandá, la resistencia a la tensión es igual para todas las variedades de cacao.

**Tabla 4-26:** Prueba LSD de Fisher para la media de resistencia a la tensión de las variedades de cacao.

<b>Test:</b>	LSD Fisher	<b>Alfa:</b>	0,05	<b>DMS:</b>	0,00533
<b>Error:</b>	0,0000	<b>Grados de libertad:</b>	12		
<b>Cacao</b>	<b>Medias</b>	<b>Número de tratamientos</b>	<b>E.E.</b>	<b>Agrupaciones</b>	
CCN51	0,02	8	1,7 E-03	A	
Super Árbol	0,02	8	1,7 E-03	A	
Nacional	0,02	8	1,7 E-03	A	

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

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

En cambio, en la Tabla 4-27, se observa que la media de la resistencia a la tensión más alta se obtiene con la dosis de 0 %, por lo que se concluye que independientemente de la variedad de cacao, la resistencia a la tensión más alta se obtiene con una dosis de jacarandá de 0 %.

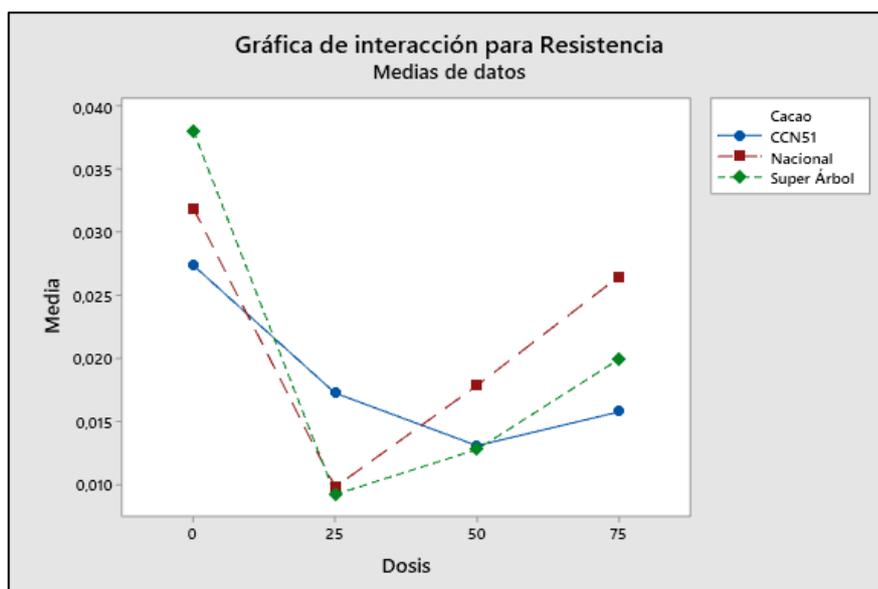
**Tabla 4-27:** Prueba LSD de Fisher para la media de resistencia a la tensión de la dosis del aditivo

<b>Test:</b>	LSD Fisher	<b>Alfa:</b>	0,05	<b>DMS:</b>	0,00615
<b>Error:</b>	0,0003	<b>Grados de libertad:</b>	12		
<b>Cacao</b>	<b>Medias</b>	<b>Número de tratamientos</b>	<b>E.E.</b>	<b>Agrupaciones</b>	
25%	0,01	6	2,0 E-03	A	
50%	0,01	6	2,0 E-03	A	B
75%	0,02	6	2,0 E-03	B	
0%	0,03	6	2,0 E-03	C	

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

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

Adicionalmente, en la Ilustración 4-12, se muestra la gráfica de interacción para la media sobre la resistencia a la tensión, donde se sugiere que la media más alta se obtiene con el tratamiento T<sub>9</sub> (Super Árbol-0%). Por otra parte, el valor más bajo de la media se obtiene en el tratamiento T<sub>10</sub> (Super Árbol-25%).



**Ilustración 4-12:** Interacción para la resistencia a la tensión con madera de jacarandá

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

En la Tabla 4-28, se observa los resultados de la prueba LSD de Fisher para todos los tratamientos, donde las medias con la misma letra son estadísticamente iguales. Se muestra que los valores más bajos de resistencia a la tensión se obtienen con los tratamientos representados con la letra "A", es decir, T<sub>10</sub> (Nacional-0%), T<sub>6</sub> (Nacional-0%), T<sub>3</sub> (Nacional-0%), T<sub>11</sub> (Nacional-0%), T<sub>4</sub> (Nacional-0%), T<sub>2</sub> (Nacional-0%), y T<sub>7</sub> (Nacional-0%). Mientras que, los valores más altos de la resistencia a la tensión se obtienen con los tratamientos representados con la letra "E", es decir, T<sub>5</sub> (Nacional-0%) y T<sub>9</sub> (Super Árbol-0%).

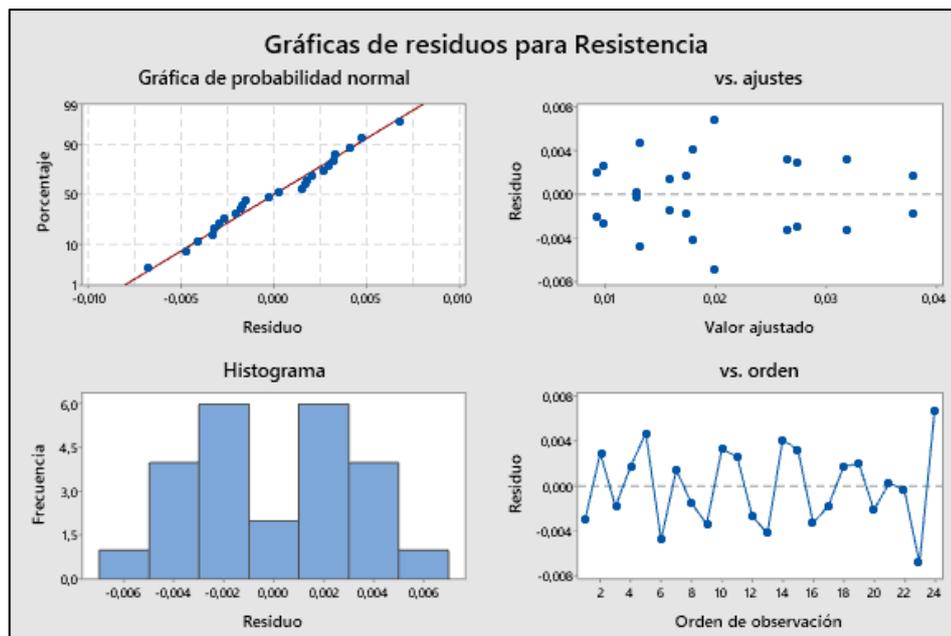
**Tabla 4-28:** Prueba LSD de Fisher para la resistencia a la tensión con madera de jacarandá

Prueba:	LSD Fisher	Alfa:	0,05	DMS:	0,01066
Error	0,0000	Grados de libertad:	12		
Variedad de cacao	Dosis de aditivo	Medias (kN/m)	Número de tratamientos	E.E.	Agrupación
T <sub>10</sub> : Super Árbol	25	0,01	2	3,5E-03	A
T <sub>6</sub> : Nacional	25	0,01	2	3,5E-03	A B
T <sub>3</sub> : CCN51	50	0,01	2	3,5E-03	A B
T <sub>11</sub> : Super Árbol	50	0,01	2	3,5E-03	A B
T <sub>4</sub> : CCN51	75	0,02	2	3,5E-03	A B
T <sub>2</sub> : CCN51	25	0,02	2	3,5E-03	A B C
T <sub>7</sub> : Nacional	50	0,03	2	3,5E-03	A B C
T <sub>12</sub> : Super Árbol	75	0,02	2	3,5E-03	B C
T <sub>8</sub> : Nacional	75	0,03	2	3,5E-03	C D
T <sub>1</sub> : CCN51	0	0,03	2	3,5E-03	C D
T <sub>5</sub> : Nacional	0	0,03	2	3,5E-03	D E
T <sub>9</sub> : Super Árbol	0	0,04	2	3,5E-03	E

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

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

La comprobación de los supuestos del ANOVA se presenta en la Ilustración 4-13, donde la gráfica de probabilidad normal indica que los puntos están cerca de la diagonal, por lo que se cumple el supuesto de normalidad. En la gráfica de residuos vs valores ajustados se observa que la nube de puntos toma la forma de una banda horizontal, lo que sugiere que se cumple el supuesto de homocedasticidad. Finalmente, en la gráfica de residuos vs orden de observación, no se muestra ninguna tendencia, por lo que se cumple el supuesto de independencia.



**Ilustración 4-13:** Residuos para resistencia a la tensión con madera de jacarandá

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

#### 4.3.3. Comparación del espesor y de la resistencia a la tensión frente a las normas INEN, ISO Y TAPPI

Se detallan los resultados de la comparación entre los valores del espesor y resistencia a la tensión con los valores límites establecidos en diferentes normativas. Para el aditivo pseudotallo de plátano (Tabla 4-29), se observa que todos los tratamientos cumplen con los límites de espesor de las normas INEN 1399 y TAPPI T 411. Sin embargo, ningún tratamiento cumple con los límites establecidos en las normas ISO 1924-2 y TAPPI 494 om-88 sobre la resistencia a la tensión del papel Kraft para uso industrial. Por lo tanto, no es posible destinarlos a dicha finalidad.

**Tabla 4-29:** Propiedades físicas frente a normativas con el aditivo pseudotallo de plátano

Propiedad	Tratamiento	Límites		Normativa		
		Mínimo	Máximo			
Espesor (mm)	T <sub>8</sub> (Nacional, 75%)	0,06		Cumple		
	T <sub>12</sub> (Super Árbol, 75%)	0,06		Cumple		
	T <sub>7</sub> (Nacional, 50%)	0,07		INEN		
	T <sub>6</sub> (Nacional, 25%)	0,08		1399		
	T <sub>4</sub> (CCN51, 75%)	0,08		Cumple		
	T <sub>11</sub> (Super Árbol, 50%)	0,09	0,05	0,30	Cumple	
	T <sub>10</sub> (Super Árbol, 25%)	0,09			Cumple	
	T <sub>2</sub> (CCN51, 25%)	0,11			Cumple	
	T <sub>9</sub> (Super Árbol, 0%)	0,12			TAPPI	
	T <sub>5</sub> (Nacional, 0%)	0,12			T 411	
	T <sub>1</sub> (CCN51, 0%)	0,12			Cumple	
	T <sub>3</sub> (CCN51, 50%)	0,16			Cumple	
Resistencia a la tensión (kN/m)	T <sub>2</sub> (CCN51, 25%)	0,01			No cumple	
	T <sub>12</sub> (Super Árbol, 75%)	0,02			No cumple	
	T <sub>3</sub> (CCN51, 50%)	0,02			ISO	
	T <sub>6</sub> (Nacional, 25%)	0,02			1924-2	
	T <sub>1</sub> (CCN51, 0%)	0,03				No cumple
	T <sub>10</sub> (Super Árbol, 25%)	0,03	120	500		No cumple
	T <sub>8</sub> (Nacional, 75%)	0,03				No cumple
	T <sub>7</sub> (Nacional, 50%)	0,03			TAPPI	No cumple
	T <sub>5</sub> (Nacional, 0%)	0,03			494	No cumple
	T <sub>9</sub> (Super Árbol, 0%)	0,03			om-88	No cumple
T <sub>11</sub> (Super Árbol, 50%)	0,04				No cumple	
T <sub>4</sub> (CCN51, 75%)	0,04				No cumple	

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

Para el aditivo madera de jacarandá (Tabla 4-30), se observa que sólo tres tratamientos cumplen con los límites de espesor de las normas INEN 1399 y TAPPI T 411. Sin embargo, ningún tratamiento cumple con los límites establecidos en las normas ISO 1924-2 y TAPPI 494 om-88 sobre la resistencia a la tensión del papel Kraft para uso industrial. Por lo tanto, no es posible destinarlos a dicha finalidad.

**Tabla 4-30:** Propiedades físicas frente a normativas con el aditivo madera de jacarandá

Propiedad	Tratamiento	Límites		Normativa			
		Mínimo	Máximo				
Espesor (mm)	T <sub>9</sub> (Super Árbol, 0%)	0,12	0,05	0,30	Cumple		
	T <sub>5</sub> (Nacional, 0%)	0,12			Cumple		
	T <sub>1</sub> (CCN51, 0%)	0,12			INEN	Cumple	
	T <sub>3</sub> (CCN51, 50%)	0,31			1399	No cumple	
	T <sub>6</sub> (Nacional, 25%)	0,34				No cumple	
	T <sub>7</sub> (Nacional, 50%)	0,38				No cumple	
	T <sub>2</sub> (CCN51, 25%)	0,39				No cumple	
	T <sub>10</sub> (Super Árbol, 25%)	0,87				No cumple	
	T <sub>8</sub> (Nacional, 75%)	0,99				TAPPI	No cumple
	T <sub>11</sub> (Super Árbol, 50)	1,00				T 411	No cumple
	T <sub>4</sub> (CCN51, 75%)	1,14					No cumple
	T <sub>12</sub> (Super Árbol, 75%)	1,56					No cumple
Resistencia a la tensión (kN/m)	T <sub>10</sub> (Super Árbol, 25%)	0,01	120	500	No cumple		
	T <sub>6</sub> (Nacional, 25%)	0,01			No cumple		
	T <sub>3</sub> (CCN51, 50%)	0,01			ISO	No cumple	
	T <sub>11</sub> (Super Árbol, 50%)	0,01			1924-2	No cumple	
	T <sub>4</sub> (CCN51, 75%)	0,02				No cumple	
	T <sub>2</sub> (CCN51, 25%)	0,02				No cumple	
	T <sub>7</sub> (Nacional, 50%)	0,03				No cumple	
	T <sub>12</sub> (Super Árbol, 75%)	0,02				No cumple	
	T <sub>8</sub> (Nacional, 75%)	0,03				TAPPI	No cumple
	T <sub>1</sub> (CCN51, 0%)	0,03				494	No cumple
	T <sub>5</sub> (Nacional, 0%)	0,03				om-88	No cumple
	T <sub>9</sub> (Super Árbol, 0%)	0,04					No cumple

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

#### 4.4. Discusión

El papel Kraft es un material celulósico caracterizado por un color marrón y cuyas propiedades pueden ser mejoradas al combinarlo con otro tipo de materiales de las mismas características. En comparación con otras investigaciones de papel Kraft, que se detallan en la Tabla 4-31, el contenido de celulosa de la cascarilla del cacao de todas las variedades presentó niveles superiores a otras materias primas usadas como la cáscara de limón, el bagazo de cerveza y la hoja de la tusa

del maíz. De igual forma, el contenido de celulosa de la madera de jacarandá fue superior a los reportados en los tallos de girasol y de clavel. Sin embargo, el contenido de celulosa del pseudotallo de plátano fue menor al reportado en las investigaciones previas.

**Tabla 4-31:** Porcentaje de celulosa de materias prima con otras investigaciones

Materia prima	Celulosa (%)	Otras investigaciones	
		Celulosa (%)	Materia prima
Variedad de cacao	CCN51	18,20	Cáscara de limón
	Nacional	17,60	Bagazo de la cerveza
	Super Árbol	15,40	Hoja de la tusa del maíz
Aditivos	Pseudotallo de plátano	35,70	Tallos de girasol
	Madera de jacarandá	62,02	Tallos de clavel

**Fuente:** (González et al., 2016, págs. 499-517; Anchundia y Santana, 2023, pág. 50)

**Realizado por:** Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

En cuanto al contenido de Lignina (Tabla 4-32), todas las materias primas usadas presentaron porcentajes superiores a otras investigaciones. Sin embargo, es importante mencionar que el contenido de lignina no se tomó en cuenta en la elaboración del papel Kraft ya que, en la presente investigación, se separó de la celulosa en forma de licor negro mediante la hidrólisis básica.

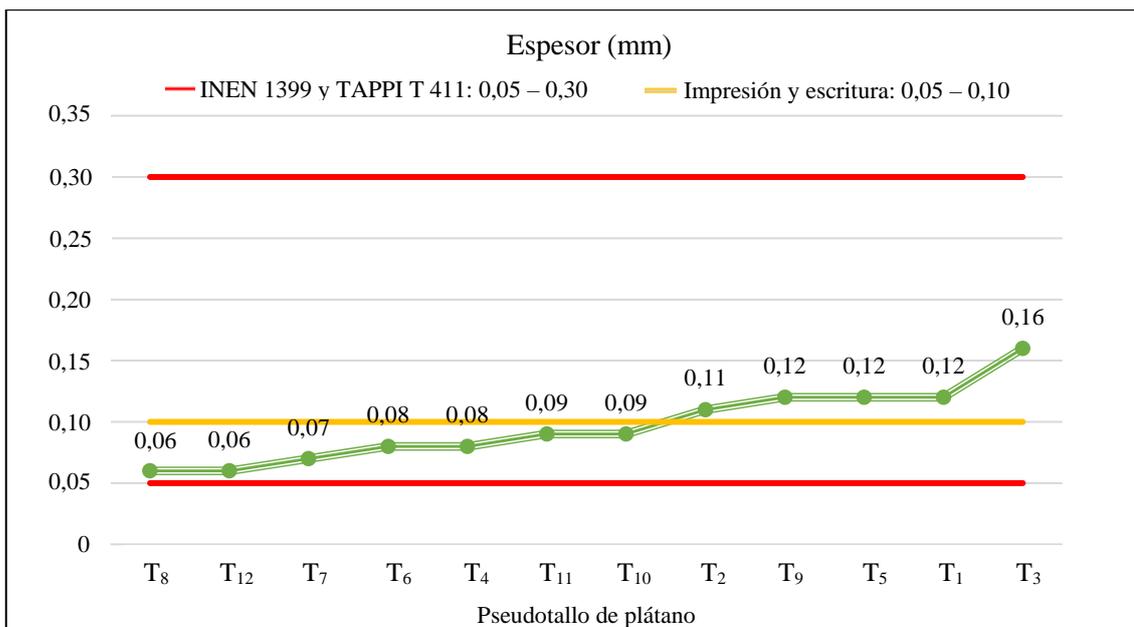
**Tabla 4-32:** Porcentaje de lignina de materias prima con otras investigaciones

Materia prima	Lignina (%)	Otras investigaciones	
		Lignina (%)	Materia prima
Variedad de cacao	CCN51	47,27	Cáscara de limón
	Nacional	46,47	Bagazo de la cerveza
	Super Árbol	45,59	Hoja de la tusa del maíz
Aditivos	Pseudotallo de plátano	25,88	Tallos de girasol
	Madera de jacarandá	44,85	Tallos de clavel

**Fuente:** (González et al., 2016, págs. 499-517; Anchundia y Santana, 2023, pág. 50)

**Realizado por:** Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

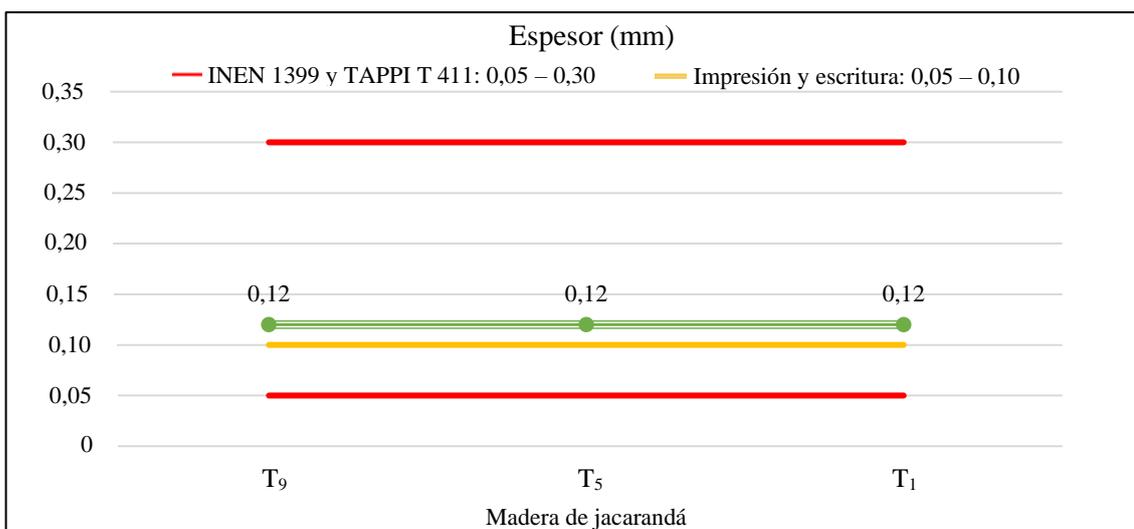
Todos los papeles Kraft elaborados utilizando el pseudotallo de plátano como aditivo, cumplieron con los valores de espesor para el papel industrial establecidos en las normas INEN 1399 y TAPPI T 411, cuyos límites van de 0,05 a 0,30 mm. Sin embargo, no cumplieron con los valores de resistencia a la tensión de las normas ISO 1924-2 y TAPPI 494 om-88, cuyos límites van de 120 a 500 kN/m. Por lo tanto, estos papeles no pueden ser usados de forma industrial, no obstante, los papeles de 7 tratamientos del diseño experimental con pseudotallo de plátano podrían servir para impresión y escritura, ya que de acuerdo con Herrera y Hoyos (2021, pág. 28) dichos papeles deben mantener un espesor de 0,05 a 0,1 mm (Tabla 4-29 e Ilustración 4-14).



**Ilustración 4-14:** Espesor con pseudotallo de plátano con respecto a normativas y usos

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

Por otra parte, en los papeles Kraft elaborados utilizando la madera de jacarandá como aditivo, se encontró que sólo 3 tratamientos T<sub>9</sub> (Super Árbol-0%), T<sub>5</sub> (Nacional-0%) y T<sub>1</sub> (CCN51-0%), cumplieron con los valores de espesor para el papel industrial establecidos en las normas INEN 1399 y TAPPI T 411, cuyos límites van de 0,05 a 0,30 mm. Sin embargo, no cumplieron con los valores de resistencia a la tensión de las normas ISO 1924-2 y TAPPI 494 om-88, cuyos límites van de 120 a 500 kN/m. Por lo tanto, estos papeles no pueden ser usados de forma industrial. Además, tampoco podrían tener uso para impresión y escritura, ya que de acuerdo con Herrera y Hoyos (2021, pág. 28) dichos papeles deben mantener un espesor de 0,05 a 0,1 mm (Tabla 4-30 e Ilustración 4-15).



**Ilustración 4-15:** Espesor con madera de jacarandá con respecto a normativas y usos

Realizado por: Moreno, Luis; Ramos, Juan, 2024

Finalmente, se debe destacar que los resultados de esta investigación en cuanto al espesor del papel Kraft, tienen similitud con otras investigaciones llevadas a cabo mediante la metodología de Kurschner y Hoffner, a pesar de que los resultados en cuanto a la resistencia a la tensión tienen una gran diferencia. Por ejemplo, Andy (2020, pág. 36) obtuvo espesores de 0,06 mm y resistencias a la tensión de 129,36 kN/m en los papeles artesanales a base de cáscara de plátano, Moreno y García (2018, págs. 1-10) obtuvieron espesores de 0,06 mm y resistencias a la tensión de 0,09 kN/m en el papel a base del raquis del racimo de plátano, y Briones y Díaz (2023, pág. 97) obtuvieron espesores de 0,178 mm y resistencias a la tensión de 426 kN/m en el papel elaborado a base de afrecho cervecero.

#### **4.5. Comprobación de la hipótesis**

La presente investigación se basó en evaluar la metodología Kurschner y Hoffner en la producción de papel Kraft a partir de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*) utilizando aditivos derivados del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*) y madera de jacarandá (*Jacaranda copaia*), por lo tanto, se plantearon las siguientes hipótesis:

**Hipótesis nula ( $H_0$ ):** El papel Kraft elaborado con la metodología Kurschner y Hoffner a partir de la cascarilla de cacao y derivados del pseudotallo de plátano y jacarandá se ajusta a las normas establecidas para su uso industrial.

**Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):** El papel Kraft elaborado con la metodología Kurschner y Hoffner a partir de la cascarilla de cacao y derivados del pseudotallo de plátano y jacarandá no se ajusta a las normas establecidas para su uso industrial.

En este sentido, de acuerdo con los resultados obtenidos y la discusión presentada, donde se menciona que ningún papel Kraft elaborado cumple con los valores de resistencia a la tensión para uso industrial establecidos en las normas ISO 1924-2 y TAPPI 494 om-88 y TAPPI T 411, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), por lo que no fue posible elaborar papel Kraft a partir de la cascarilla de cacao y de derivados del pseudotallo de plátano y de madera de jacarandá que cumpla con las normas del papel de uso industrial.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- El contenido de lignina de las tres variedades de cacao fue estadísticamente igual (Super árbol, 45,59 %; Nacional, 46,47 %; y CCN51, 47,27 %). Por otra parte, el contenido de celulosa de las tres variedades de cacao también fue estadísticamente igual (Super árbol, 15,40 %; Nacional, 17,60 %; y CCN51, 18,20 %).
- En cuanto a los aditivos, el contenido de lignina fue superior en la madera de jacarandá (44,85 %) que en el pseudotallo de plátano (25,88 %). También, el contenido de celulosa fue superior en la madera de jacarandá (62,02 %) que en el pseudotallo de plátano (35,70 %).
- A partir de la cascarilla de cacao y el pseudotallo de plátano como aditivo, se elaboraron de manera satisfactoria 24 papeles Kraft producto de 12 tratamientos y sus duplicados. De manera similar, a partir de la cascarilla de cacao y la madera de jacarandá, se elaboraron 24 papeles Kraft producto de 12 tratamientos y sus duplicados.
- Para el papel Kraft elaborado con pseudotallo de plátano como aditivo, el menor espesor (0,06 mm) se obtuvo con los tratamientos Nacional-75% y Super árbol-75%, mientras que el mayor espesor (0,16 mm) se obtuvo con el tratamiento CCN51-50%. Cabe destacar que los espesores del papel de todos los tratamientos, cumplieron con los límites establecidos en las normas (0,05-0,30 mm).
- Para el papel Kraft elaborado con pseudotallo de plátano como aditivo, la menor resistencia a la tensión (0,01 kN/m) se obtuvo con el tratamiento CCN51-25%, mientras que la mayor resistencia a la tensión (0,04 kN/m) se obtuvo con los tratamientos Super árbol-50% y CCN51-75%. Sin embargo, no se cumplió con los límites establecidos en las normas (120-500 kN/m), por lo que el papel Kraft elaborado no puede utilizarse de manera industrial.
- Para el papel Kraft elaborado con madera de jacarandá como aditivo, el menor espesor (0,12 mm) se obtuvo con los tratamientos Super árbol-0%, Nacional 0% y CCN51-0%, mientras que el mayor espesor (1,56 mm) se obtuvo con el tratamiento Super árbol-75%. Se debe destacar que sólo los tres tratamientos con el menor espesor mencionados anteriormente, cumplieron con los límites establecidos en las normas de producción (0,05-0,30 mm).
- Para el papel Kraft elaborado con madera de jacarandá como aditivo, la menor resistencia a la tensión (0,01 kN/m) se obtuvo con el tratamiento Super Árbol-25%, mientras que la mayor resistencia a la tensión (0,04 kN/m) se obtuvo con el tratamiento Super Árbol-0%. Sin embargo, no se cumplió con los límites establecidos en las normas de producción (120-500 kN/m), por lo que el papel Kraft elaborado no puede utilizarse de manera industrial.

## **5.2. Recomendaciones**

- Utilizar otro tipo de aditivos o materia prima principal que contengan porcentajes mayores de lignina y celulosa a los indicados en la presente investigación con la finalidad de mejorar la resistencia a la tensión.
- Cambiar la metodología Kurschner y Hoffner por la metodología de Jaime-Wise para probar si se puede elaborar papeles Kraft con mejores características.
- Analizar otras propiedades físicas como el gramaje y resistencia al rasgado para obtener más características particulares de los papeles Kraft elaborados y determinar otros usos o aplicaciones en el mercado.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ABAD, Mayra; et al.** "Análisis comparativo sobre la incidencia de las tres principales enfermedades en el cacao CCN-51, en el cantón La Troncal, provincia del Cañar, Ecuador". *Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales* [en línea], 2018, (Ecuador), vol. 12 (1), págs. 20–30. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://revistas.ug.edu.ec/index.php/cna/article/download/271/136>
2. **ABENGÓZAR, Diana.** "El papel de la industria química en la consecución de los ODS". *Industria Química* [en línea], 2022, (TÜV SÜD), vol. 1 (101), págs. 30–31. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8444844>
3. **ACCORNERO, Mariana; et al.** "La producción de papel de lana como aporte sustentable a las artes y al diseño". *Repositorio Digital Institucional Universidad Provincial de Córdoba* [en línea]. 2020, vol. 3 (3), págs. 98–117. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.upc.edu.ar/handle/123456789/436>
4. **AEDO, Roberto; et al.** "Contenido de humedad en fardos de papel y cartón a través de la potencia de recepción en el rango de las microondas". *Revista de Ciencia y Tecnología* [en línea]. 2020, (Chile), vol. 34 (2), págs. 1–10. [Consulta: 6 noviembre 2023]. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-75872020000200001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-75872020000200001&script=sci_arttext)
5. **AGILA, María & CANALES, Daleska.** Estudio comparativo del valor nutricional de la harina de plátano verde "*Musa paradisiaca*" frente a la harina de quinua "*Chenopodium quinoa*". [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador. 2023. págs. 11-12. [Consulta: 4 enero 2024]. Disponible en: <https://n9.cl/ujjbh>
6. **ALCIVAR, Kevin; et al.** "Análisis económico de la exportación del cacao en el Ecuador durante el periodo 2014 – 2019". *Polo del Conocimiento* [en línea], 2021, (Ecuador), vol. 6 (3), págs. 2430–2444. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926903>
7. **ANCHUNDIA, Viky & SANTANA, Joan.** Extracción de celulosa por el método de Santanocito a partir del bagazo de la industria cervecera para la elaboración de papel biodegradable. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Guayaquil,

Guayaquil-Ecuador. 2023. pág. 50. [Consulta: 15 noviembre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/8pm2g>

8. **ANDY, Lucia.** 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) (Pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2020. págs. 2-36. [Consulta: 29 octubre 2023]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6567>
9. **ARIAS, Miguel; et al.** "Obtención de Extruidos de la Harina de la cascara de Plátano (*Musa × paradisiaca*)". *Revista científica Multidisciplinar* [en línea], 2022, (Ecuador), vol. 3 (2), págs. 177–188. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <https://revista.gnerando.org/revista/index.php/RCMG/article/view/49/45>
10. **ASURZA. E.; et al.** "Estudio de las propiedades del papel reciclado". *Ingenia Materiales* [en línea], 2023, (España), vol. 1 (12), págs. 27–30. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: [http://polired.upm.es/index.php/ingenia\\_materiales/article/download/5128/5341](http://polired.upm.es/index.php/ingenia_materiales/article/download/5128/5341)
11. **ATÚNCAR, Winnifer.** Efecto de celulosa nanofibrilar de bambú (*Guadua angustifolia kunth*) en propiedades físico-mecánicas de papel elaborado con fibra virgen y reciclada. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional Agraria, Lima-Perú. 2022. págs. 7-58. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/za6lw>
12. **BALDERA, Janny; et al.** "Capacidad antioxidante y polifenoles totales de infusión de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*) y macambo (*Theobroma bicolor*)". *Revista de investigación agroproducción sustentable* [en línea], 2021, (Perú), vol. 5 (13), pág. 14. [Consulta: 29 octubre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/aok8u3>
13. **BARRIOS, Yury; et al.** "Análisis estadístico cuando no se cumplen los supuestos de las pruebas paramétricas, en el contexto de la investigación de la Cultura Física". *Revista Universidad y Sociedad* [en línea], 2022, (Cuba), vol. 14 (1), págs. 591–600. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2747/2706>
14. **BENTRÁN, Luis.** Efecto de la aplicación de silicio en el manejo fitosanitario del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) variedad CCN-51. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Los Ríos-Quevedo. 2021. pág. 7. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en:

<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/7d5a9b69-1aa4-49b4-9b5c-5f22e9e8a8ec/content>

15. **BERNAL, Tamara.** Revalorización de residuos de la Industria de Chocolate para la obtención de biomoléculas de interés industrial a partir de la cascarilla de cacao. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador. 2021. págs. 14-15. [Consulta: 29 octubre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/yahs7z>
16. **BOZA, Pedro; et al.** "Guía práctica para seleccionar una prueba estadística a aplicar en una investigación biomédica". *Multimed* [en línea], 2022, (Cuba), vol. 26 (6), págs. 1–32 [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <https://n9.cl/imnbs>
17. **BRIONES, Camila & DIAZ, Steffi.** Obtención de pulpa de celulosa a partir del Afrecho Cervecerero y su evaluación en la elaboración de papel artesanal. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador. 2023. pág. 97. [Consulta: 03 marzo 2024]. Disponible en: <https://n9.cl/72d0h>
18. **BURGOS, Corina.** Guía de prácticas de laboratorio de Microbiología Ambiental. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Santo Tomás, Tunja-Colombia. 2022. pág. 17. [Consulta: 04 febrero 2024]. Disponible en: <https://n9.cl/njp5z>
19. **CAICEDO, Héctor.** Estudio de la especie forestal nativa Chingale (*Jacaranda copaia*) como componente agroforestal en el Caquetá. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Caquetá-Colombia. 2021. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/5o60t>
20. **CAMPOVERDE, Jaime & BALLADARES, César.** "La web 2.0 como herramienta de aprendizaje". *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [en línea], 2022, (Colombia), vol. 6, (1), págs. 714–730. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i1.1537](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1537).
21. **CARDOZO, Jorge; et al.** Análisis del potencial dendrocronológico de *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don., en el fundo El Bosque, provincia Tambopata - Madre de Dios. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado-Perú. 2020. pág. 20. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/l0w4y>

22. **CARLO, Yassir & OSORIO, Manuel.** Elaboración de papel Kraft a Partir de bagazo de yuca residual de las industrias del departamento de Sucre. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Corporación Universitaria del Caribe, Sicelejo-Colombia. 2017. pág. 19. [Consulta: 11 febrero 2024]. Disponible en: <https://n9.cl/mvyjf>
23. **CASTILLO, Betania.** "Bondades nutricionales del aguacate como adición a un alimento tipo helado". *Revista de Ciencia y Tecnología Agrollanía* [en línea], 2022, (Colombia), vol. 21 (1), págs. 1–15. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <https://n9.cl/prk84>
24. **CEVALLOS, Ana; et al.** "Utilización de la fibra de banano (*Musa sapientum*) proveniente de los pseudotallos para la elaboración de papel y el aprovechamiento de residuos agrícolas". *Avances en Ciencias e Ingenierías* [en línea], 2021, (Ecuador), vol. 13 (1), págs. 1–7. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/19hs0>
25. **CHACÁN, Jazmín & QUISPE, Lorena.** Evaluación de dos metodologías de la extracción de la fibra del (*Cannabis sativa L.*). [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga-Ecuador. 2022. pág. 32. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8634/1/PC-002253.pdf>
26. **CHOTA, Ramiro.** Composición química básica de la madera y corteza por niveles longitudinales del fuste de *Lonchocarpus guillimianus* (Tul.) *Malmea* (María buena) y su poder calorífico superior. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa-Perú. 2023. pág. 26. [Consulta: 03 enero 2024]. Disponible en: <https://n9.cl/jtimek>
27. **COCERO, Maria; et al.** "Nuevas tendencias en el diseño de procesos para aprovechamiento de residuos alimentarios dirigidas a conseguir una sociedad sostenible". *Retos medioambientales de la industria alimentaria* [en línea], 2010, (España), vol. 1 (1), págs. 89–102. [Consulta: 06 noviembre 2023]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Estructura-de-la-lignina\\_fig7\\_267133585](https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Estructura-de-la-lignina_fig7_267133585)
28. **ELÍAS, Jorge; et al.** "Reutilización de plástico pet, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo". *Pueblo Continente* [en línea], 2019, (Perú), vol. 30 (1), págs. 169–185. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://lc.cx/en9j6R>
29. **ERAZO, Cyntia; et al.** "Efecto de la fermentación de cacao (*Theobroma cacao l.*), variedad nacional y trinitario, en cajas de maderas no convencionales sobre la calidad física y sensorial

del licor de cacao". *Revista de Investigación Talentos* [en línea], 2021, (Ecuador), vol. 8 (2), págs. 42–55. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://goo.su/b76Le>

30. **FERNANDES, José**. "Morfología de *jacaranda copaia*: una especie medicinal em alta floresta, mato grosso". *Centro Científico Conhecer* [en línea], 2021 (Brasil), vol. 18 (37), págs. 375–387. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://goo.su/OXiDg>

31. **FERNÁNDEZ, Gerardiny & ROCHA, Daniel**. Aprovechamiento de dos algas marinas residuales (*Ulva Papenfussi Pham-Hoang Hö* & *Rhodymenia Corallina (Bory) Greville*) como fuente potencial para la extracción de celulosa. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad del Callao, Callao-Perú. 2022. págs. 43-44. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://goo.su/mtFDs>

32. **FETIVA, Edward & GONZÁLEZ, Diego**. Determinación de la viabilidad tecnológica del cáliz de uchuva (*Physalis peruviana*) para la elaboración de un material celulósico aprovechable en el diseño y desarrollo de envases para alimentos. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de La Salle, Bogotá-Colombia. 2021. págs. 35-58 [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://goo.su/YVfw>

33. **FLORES, Carlos & FLORES, Karla**. "Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk Y Kolmogórov-Smirnov". *Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas* [en línea], 2021, (Colombia), vol. 23 (2), págs. 83–106. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <https://goo.su/479Kz>

34. **FLORES, Carlos & FLORES, Karla**. "Pruebas de bondad de ajuste Kolmogórov-Smirnov y Ji-cuadrada aplicadas a la toma de decisiones empresariales". *Yachana Revista Científica* [en línea], 2023, (Ecuador), vol. 12 (2), págs. 113–127. [Consulta: 26 marzo 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.62325/10.62325/yachana.v12.n2.2023.844>

35. **FLORES, Denis; et al**. Estudio de prefactibilidad para la elaboración de papel reciclado en San Pedro Sula. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Centro Universitario Tecnológico CEUTEC, San Pedro Sula-Honduras. 2020. págs. 26-27. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <http://surl.li/tojzs>

36. **GADPO**. *Análisis de deforestación en la Provincia de Orellana*. El Coca-Orellana. 2019. [Consulta: 30 octubre 2023]. Disponible en: <http://surl.li/tojqz>

37. **GARCÍA, Luis; et al.** "Estudio de especies no leñosas como potenciales materias primas para la fabricación de papel". *Ingeniería Investigación y Tecnología* [en línea], 2021, (Ecuador), vol. 23 (2), págs. 1–13. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <http://surl.li/tojzv>
38. **GARCÍA, Nidia; et al.** "Evaluación de óxido de calcio e hidróxido de calcio para la obtención de fibra de celulosa". *Revista Agro Productividad* [en línea], 2019, (México), vol. 12 (7), págs. 3–9. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/reader/249321500>
39. **GARCÍA, Wilder.** *Caracterización diferencial dendrológica del cacao criollo – Theobroma cacao L. de Jaén Y San Ignacio – Región Cajamarca*. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional de Jaén. Jaén-Perú. 2019. [Consulta: 07 noviembre 2023]. Disponible en: [http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/126/1/Garc%c3%ada\\_GWA.pdf](http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/126/1/Garc%c3%ada_GWA.pdf)
40. **GÓMEZ, Julio; et al.** "Sistema IoT y validación estadística para monitoreo de salud de estudiantes". *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI* [en línea], 2022, (México), vol. 10 (3), págs. 103–111. [Consulta: 26 marzo 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial3.9004>
41. **GONZÁLEZ, Krystle; et al.** "Valuación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración del papel". *Luna Azul* [en línea], 2016, (Colombia), vol. 1, (43), págs. 499–517. [Consulta: 01 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321745921021>
42. **GUAMÁN, Guillermo & RAMIREZ, Rosa.** Obtención de chocolate para cobertura a partir de la combinación de las variedades de cacao ccn51 y súper árbol. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Estatal Amazónica, Puyo-Ecuador. 2020. pág. 5. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <http://surl.li/tokbs>
43. **GUTIERREZ, German.** "El bambú (*Bambusa vulgaris*) como materia prima para fabricación de Celulosa y otras aplicaciones". *I Congreso Internacional del Bambú* [en línea], 2019, (Perú), vol. 1 (1), págs. 2–4. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <http://surl.li/tokcb>
44. **GUTIÉRREZ, Jonatan.** "Análisis de varianza y coeficiente de variación como criterios de repetibilidad de una estufa de cocción basada en gasificación de pellets". *Revista UIS Ingenierías* [en línea], 2023, (Colombia), vol. 22 (3), págs. 115–134. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias>

45. **HERNÁNDEZ, Javier & GUIDOS, Diego.** Análisis de fallas en transformadores de potencia y su prevención. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de El Salvador, Ciudad Universitaria-El Salvador. 2020. pág. 43. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/338194519.pdf>
46. **HERNÁNDEZ, Laura.** Elaboración de un material biosorbente a partir de la cáscara de plátano (*Musa spág.*) para ser utilizado en la remoción de cromo VI proveniente de las aguas residuales de la industria de Curtiembre. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de El Salvador, Ciudad Universitaria-El Salvador. 2019. pág. 14. [Consulta: 04 enero 2024]. Disponible en: <http://surl.li/tokdb>
47. **HERRERA, Tania & HOYOS, Enzo.** Elaboración de papel ecológico usando bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y bagazo de beterraga (*Beta vulgaris*), Chiclayo. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad César Vallejo, Chiclayo-Perú. 2021. pág. 28. [Consulta: 02 marzo 2024]. Disponible en: <http://surl.li/tokdi>
48. **HUAMÁN, Ginsing & TAPIA, Yersi.** Aprovechamiento de residuos orgánicos agroindustriales para la elaboración de papel ecológico: Revisión Sistemática. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad César Vallejo, Chiclayo-Perú. 2020. pág. 36. [Consulta: 04 enero 2024]. Disponible en: <https://acortarlink.cl/9phrn>
49. **HUAMÁN, Zoraida; et al.** Rendimiento académico y estilos de aprendizaje en estadística I. Caso de estudio Escuela de Sistemas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. *Conrado* [en línea], 2021, (Perú), vol. 17 (79), págs. 310–317. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rc/v17n79/1990-8644-rc-17-79-310.pdf>
50. **HURTADO, Cristian.** Evaluación de los efectos de la aplicación de tres concentraciones de CO<sub>2</sub> bajo invernadero en el cultivo de lechuga crespa (*Lactuca Sativa Vas. Crispa*), en el sector Salache, cantón Latacunga, provincia Cotopaxi. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga-Cotopaxi. 2023. págs. 31-41. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10678/1/PC-002786.pdf>
51. **HURTADO, Marlon.** "¿Debería ser tan pequeño el nivel de significancia en una prueba de hipótesis?". *Revista Torreón Universitario* [en línea], 2023, (Nicaragua), vol. 12 (33), págs. 31–41. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.5377/rtu.v12i33.15886>

52. **JIMÉNEZ, Milton.** Evaluación de la resistencia a la adsorción de agua, ataque de termitas *Nasutitermes corniger* y propiedades mecánicas de un material lignocelulósico. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Mérida-México. 2015. págs. 20-32. [Consulta: 24 octubre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/r7d5b>
53. **LENGOWSKI, Elaine; et al.** *Nanocellulose in the Paper Making* [en línea]. Cham-Suiza: Springer, 2019. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-05399-4\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-030-05399-4_36)
54. **LEYTON, Jennifer.** Propuesta de degradación de retal de papel moneda y billetes fuera de circulación en la empresa Control Ambiental de Colombia LTDA. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Fundación Universidad de América, Bogotá D.C.-Colombia. 2017. pág. 52. [Consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/7tbkdz>
55. **LLIANA, Jesus.** Obtención y evaluación de la pulpa para papel del endocarpio del fruto de *Mauritia flexuosa* (Aguaje). [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa-Perú. 2020. págs. 13-14. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/u0nzi>
56. **LOCK, David.** Potencial energético de los residuos de la cadena de valor de cacao (*Theobroma cacao*) en la región Madre de Dios. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú. 2018. pág. 30. [Consulta: 29 octubre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/xqv671>
57. **LOOR, Jefferson.** Métodos de enfunde y uso de moléculas aditivas en plátano de exportación (*Musa AAB*). [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, El Carmen-Ecuador. 2023, págs. 4-5. [Consulta: 04 enero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/4607/1/ULEAM-AGRO-0131.pdf>
58. **LÓPEZ, Miguel.** "Residuos del banano (*Musa paradisiaca*) como materia prima alternativa en la elaboración de papel". *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios* [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 8 (1), págs. 35–46. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.48204/j.colonciencias.v8n1a3>
59. **MACEDA, Agustín; et al.** "Lignina: composición, síntesis y evolución". *Madera y Bosques* [en línea]. 2021, (México), vol. 27, (2), págs. 1–16. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v27n2/2448-7597-mb-27-02-e2722137.pdf>

60. **MARTÍNEZ, María & PRIETO, Alicia.** "Biotecnología para el aprovechamiento de la celulosa y hemicelulosa de los residuos vegetales". *Centro de Investigaciones Biológicas Margarita Salas* [en línea], 2021, (España), vol. 1 (3), págs. 19–21. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/qmo6h>
61. **MEZA, Aldo.** "Métodos alternativos ante la violación de supuestos en diseños de experimentos factoriales". *Anales Científicos* [en línea], 2021, (España), vol. 82 (2), págs. 318–335. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8213064>
62. **MIRANDA, Pedro.** Temperaturas de hidrólisis enzimática en variedades de camote para la obtención de alcohol etílico. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta-Ecuador. 2022. págs. 91–118. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2015>
63. **MIRANDA, Rafeal.** "¿Qué esperan los latinoamericanos de la democracia? Un modelo de análisis de varianza (ANOVA)". *Agenda Internacional* [en línea], 2021, (España), vol. 28, (39), págs. 97–118. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <https://n9.cl/h1670>
64. **MONTES, Blanca.** Estudio de propiedades de fibra de celulosa reforzadas con nanopartículas 2D y 3D. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Doctoral). Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León-México. 2019. pág. 21. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://eprints.uanl.mx/19672/1/1080314192.pdf>
65. **MORALES, Fátima; et al.** "Cadena de comercialización del cacao nacional en la provincia de Los Ríos, Ecuador". *Ciencias Agrarias* [en línea], 2018, (Ecuador), vol. 11 (1), págs. 63–69. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.18779/cyt.v11i1.131>.
66. **MORENO, Christiaan & GARCÍA, Edgardo.** "Determinación de la concentración óptima de hidróxido de sodio para la obtención de papel y sus propiedades fisicomecánicas, a partir del raquis del racimo de plátano (*Mussa paradisiaca*)". *Revista de Investigación Universitaria* [en línea], 2018, (Perú), vol. 8 (2), págs. 1–10. [Consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: <http://revistas.unu.edu.pe/index.php/iu/article/view/1/1>

67. **MOSCOSO, Marcelo; et al.** *Metodología de la investigación científica y su aplicación en las ciencias agropecuarias* [en línea]. Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2022. [Consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: <https://n9.cl/o7yma>
68. **NAHÚN, Yamil.** Obtención y caracterización de hemicelulosas de bagazo de caña de azúcar para su uso en materiales biobasado. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Doctoral). Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe-Argentina. 2021. pág. 7. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11185/5810>
69. **ORDÓÑEZ, Karen & SEPÚLVDA, Camila.** Caracterización fisicoquímica de los residuos del plátano y el café para su posible uso como materias primas en la fabricación de papel. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá-Colombia. 2019. pág. 16. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/ln4xa>
70. **PADILLA, Iván; et al.** "Modelo estadístico para estimar la influencia de la lectura crítica en las competencias evaluadas en las pruebas Saber 11". *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad* [en línea], 2022, (Colombia), vol. 14 (26), págs. 1–26. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/trilo/v14n26/2145-7778-trilo-14-26-e200.pdf>
71. **PARRA, Nancy.** Desarrollo de un género textil no tejido de celulosa vegetal para productos indumentarios. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ambato-Ecuador. 2022. pág. 10. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.pucesa.edu.ec/handle/123456789/3782>
72. **PÉREZ, Abraham.** "El emprendimiento en estudiantes universitarios: Un análisis en las ciencias económicas y administrativas". *Revista Inclusiones* [en línea], 2021, (México), vol. 8 (1), págs. 207–217. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <https://n9.cl/eagc8>
73. **PIZARRO, Kelvin & MARTÍNEZ, Omar.** "Análisis factorial exploratorio mediante el uso de las medidas de adecuación muestral kmo y esfericidad de bartlett para determinar factores principales". *Journal of Science and Research* [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 5 (1), págs. 903–924. [Consulta: 26 marzo 2024]. Disponible en: <https://n9.cl/4h3ug>
74. **RAMÍREZ, Alejandro & POLACK, Ana.** "Estadística inferencial. Elección de una prueba estadística no paramétrica en investigación científica". *Horizonte de la Ciencia* [en línea],

2020, (Perú), vol. 10 (19), págs. 191–208. [Consulta: 26 marzo 2024]. Disponible en: <https://revistas.uncpag.edu.pe/index.php/horizontedelaciencia/article/view/597>

75. **RAMOS, Carlos.** “Los alcances de una investigación”. *CienciAmérica* [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 9 (3), págs. 1–5. [Consulta: 26 marzo 2024]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>.

76. **RENDÓN, Ariana.** Evaluación del material celulósico proveniente de residuos derivados de la agroindustria del maíz (*Zea mays*), para el proceso de elaboración de cartón. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo-Ecuador. 2021. pág. 4. [Consulta: 29 octubre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/mc18y>

77. **RIVAS, Sandra.** Valorización de hemicelulosas de biomasa vegetal. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Doctoral). Universidad de Vigo, Ourense-España. 2014. pág. 61. [Consulta: 6 noviembre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/23xyi>

78. **ROSARIO, Javier.** Validación de la metodología para la determinación de lignina celulosa y hemicelulosa por espectroscopia infrarroja en árboles. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú. 2021. págs. 15-21. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/56e3vi>

79. **RUIZ, Claudia.** Plan de negocios de una empresa productora de empaque biodegradable a partir de fibras del pseudotallo de plátano. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad EAN, Manizales-Colombia. 2021. pág. 67. [Consulta: 4 enero 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10882/11141>

80. **RUIZ, Nelson.** Determinación del contenido nutricional en harinas de chocho (*Lupinus mutabilis*), gandul (*Cajanus cajan*) y zarandaja (*Lablab purpureus*) como fuentes de carbohidratos y minerales. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador. 2019. págs. 8-11. [Consulta: 3 enero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29422/1/BQ%20184.pdf>

81. **SAGARÓ, Nelsa & ZAMORA, Larisa.** “Técnicas estadísticas para identificar posibles relaciones bivariadas”. *Revista Cubana de Anestesiología y Reanimación* [en línea]. 2020, vol. 19 (2), págs. 1–23. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <https://n9.cl/3zr1s>

82. **SALAZAR, Salomé.** Propagación vegetativa de *Morella pubescens*, en San Pedro de Huaca, Carchi, Andes del Norte del Ecuador. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado).

Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador. 2022. pág. 29. [Consulta: 24 marzo 2024].  
Disponible en: <https://n9.cl/rskxc>

83. **SANGRADOR, C.; et al.** "Inferencia estadística: contraste de hipótesis". *Evidencias en pediatría* [en línea], 2020, (España), vol. 16 (11), págs. 1–8. [Consulta: 24 marzo 2024].  
Disponible en: [https://evidenciasenpediatria.es/files/41-13659-RUTA/11\\_Fundamentos\\_Contraste.pdf](https://evidenciasenpediatria.es/files/41-13659-RUTA/11_Fundamentos_Contraste.pdf)
84. **SANTABÁRBARA, Javier.** "Càlcul de la mida de mostra necessària per estimar el coeficient de correlació de Pearson mitjançant sintaxi en SPSS". *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació* [en línea]. 2020, (Brasil), vol. 14 (1), págs. 1–7. [Consulta: 26 marzo 2024].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1344/reire2021.14.132565>
85. **SARANGO, Freddy.** Descripción anatómica de cinco especies de importancia forestal, procedentes del bosque secundario perteneciente a la comunidad Bella Esperanza en la Parroquia General Farfán, cantón Lago Agrio, provincia De Sucumbíos. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2021. págs. 54-56. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/nqw55h>
86. **SOUZA, Pahlevi; et al.** "Cacao-*Theobroma cacao*". *Exotic Fruits* [en línea], 2018, págs. 69–76. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/6azvtw>
87. **TACO, Jimena; et al.** "Aprovechamiento del Endocarpio del Plátano Verde (*Musa Paradisiaca*) para la Obtención de papel Ecológico". *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria* [en línea], 2023, (Ecuador), vol. 7 (2), págs. 9980–9994. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i2.6092](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.6092)
88. **TEJEDA, Adalberto.** *La humedad en la atmósfera* [en línea]. Colima-México: Universidad de Colima, 2018. ISBN 978-607-8549-50-4. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: [http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/La-humedad-en-la-atmosfera\\_466.pdf](http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/La-humedad-en-la-atmosfera_466.pdf)
89. **TRICAS, Sandra.** "Rediseño de un dinamómetro de fuerza de agarre". *Universidad Politécnica de Cataluña* [en línea], 2019, (España), vol. 1 (1), págs. 1–7. [Consulta: 4 febrero 2024]. Disponible en: <https://n9.cl/laqhe2>
90. **VALL, Helena; et al.** El impacto de la pandemia por covid-19 y del confinamiento en las alteraciones alimentarias y el malestar emocional en adolescentes y jóvenes de España.

*Behavioral Psychology* [en línea], 2021, (España), vol. 29 (2), págs. 345–364. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <https://n9.cl/lk5o97f>

91. **VELASCO, Lidia; et al.** "Obtención de celulosa a base de plantas que crecen alrededor de las aguas de canal". *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química* [en línea], 2020, (México), vol. 6 (6), pág. 395–399. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11191/7741>

92. **VITERI, Samuel.** Evaluación del proceso de fermentación en las variedades de Cacao Nacional y Súper Árbol (*Theobroma cacao L*) en las condiciones climáticas del cantón Joya de los Sachas, provincia de Orellana. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, El Coca-Ecuador. 2022. pág. 1. [Consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16536>

93. **ZAMBRANO, Génesis.** "Aprovechamiento de la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) para la obtención de fibras de celulosa". *Polo del conocimiento* [en línea], 2021, (Ecuador), vol. 6 (4), pág. 416. [Consulta: 29 octubre 2023]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.23857/pc.v6i4.2572>

94. **ZHINDON, Rafael; et al.** "Aplicación de la estadística multivariante para el desarrollo de un modelo de calidad del agua del Estero El Macho, Machala-Ecuador". *Revista de la Universidad de Zulia* [en línea], 2024, (Ecuador), vol. 15 (42), págs. 428–446. [Consulta: 24 marzo 2024]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9376296>

Cristian Tenelanda. S.



## ANEXOS

### ANEXO A: EXTRACCIÓN DE AZÚCARES SOLUBLES Y GRASAS DE LAS VARIEDADES DE CACAO Y ADITIVOS

	
Muestras para analizar	Dosificación
	
Soluciones en los Matraces - Erlenmeyer	Secado

### ANEXO B: DETERMINACIÓN DE LIGNINA DE LAS VARIEDADES DE CACAO Y ADITIVOS

	
Preparación de ácido sulfúrico al 72%	Dosificación
	
Lavado de muestras	Secado

**ANEXO C: DETERMINACIÓN DE CELULOSA DE LAS VARIEDADES DE CACAO Y ADITIVOS**

	
Preparación de soluciones con muestras	Dosificación
	
Lavado de muestras	Secado

**ANEXO D: ELABORACIÓN DEL PAPEL KRAFT**

	
Selección de materia prima	
	
Preparación de la hidrólisis ácida	



Separación de la hidrólisis



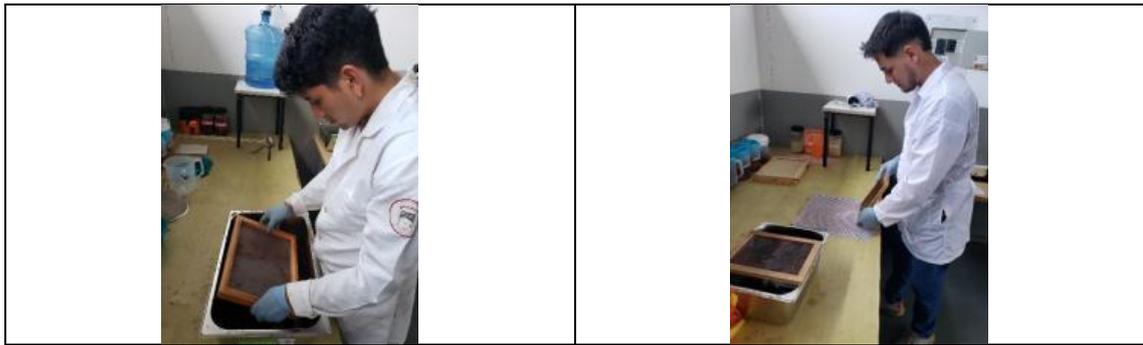
Digestión química



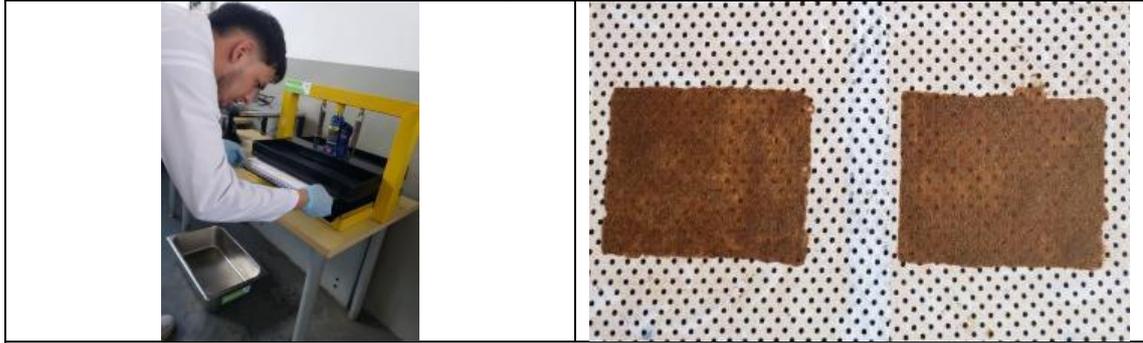
Lavado de celulosa



Despulpado de la materia prima

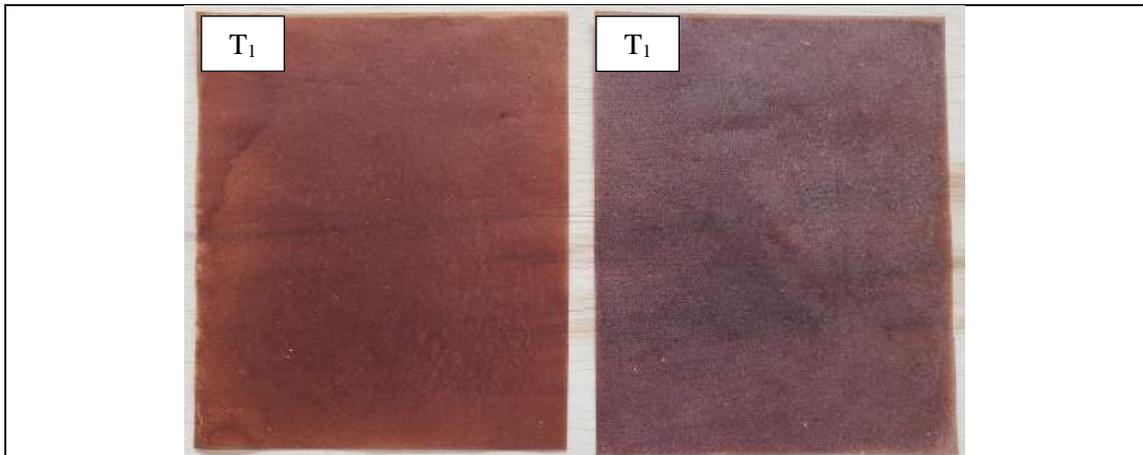


Creación y obtención del papel

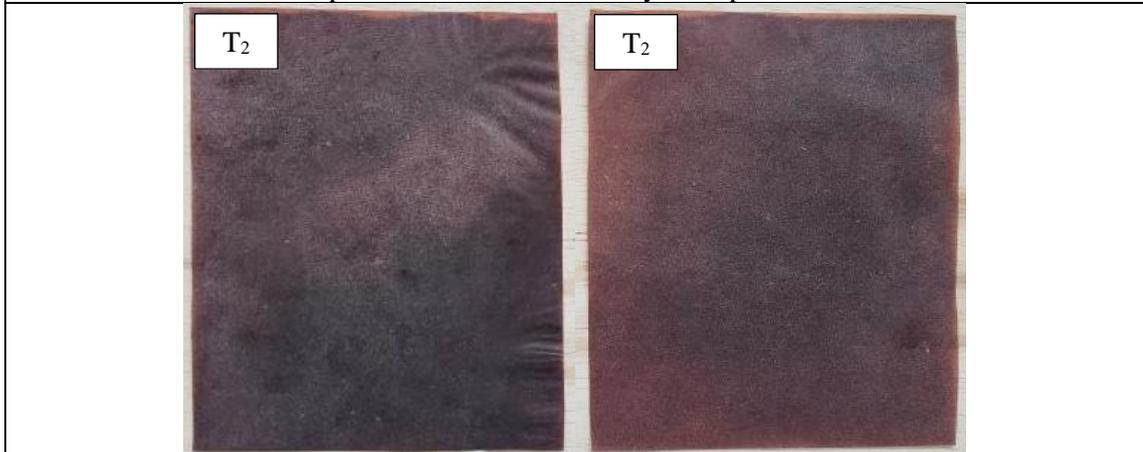


Prensado y secado

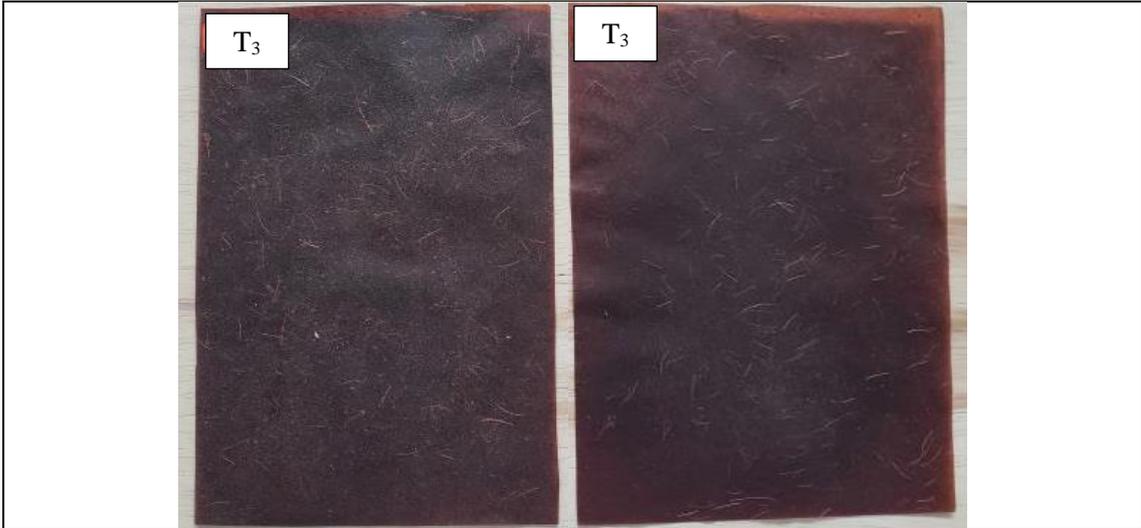
### ANEXO E: PAPEL KRAFT CON PSEUDOTALLO DE PLÁTANO



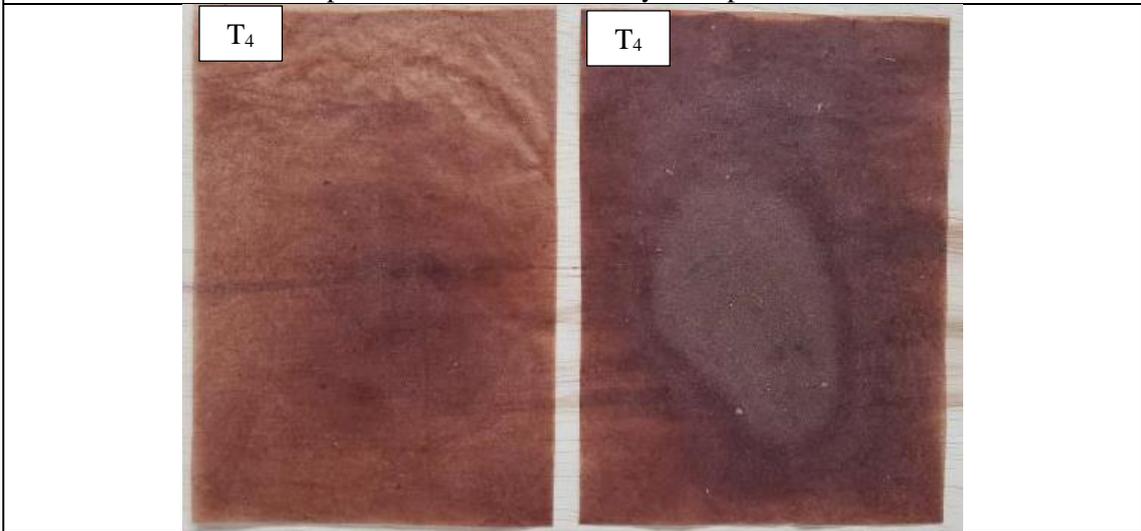
Papel Kraft elaborado del T<sub>1</sub> y su duplicado T<sub>1</sub>



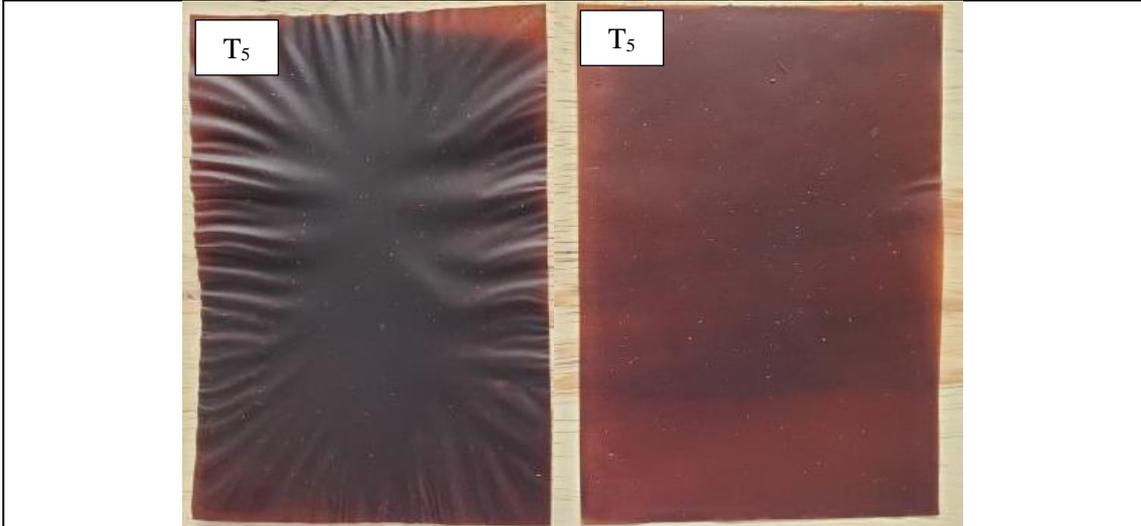
Papel Kraft elaborado del T<sub>2</sub> y su duplicado T<sub>2</sub>



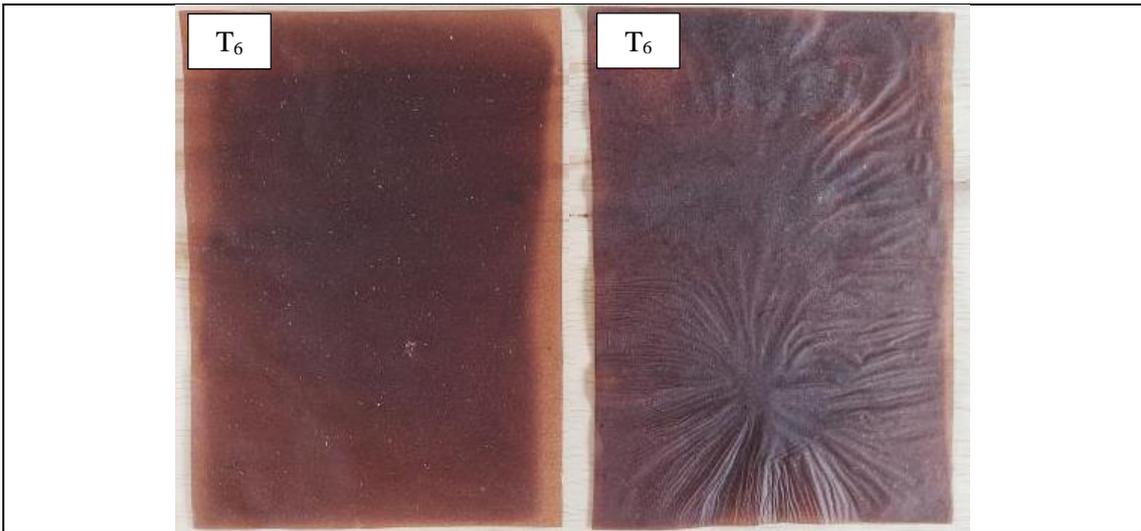
Papel Kraft elaborado del T<sub>3</sub> y su duplicado T<sub>3</sub>



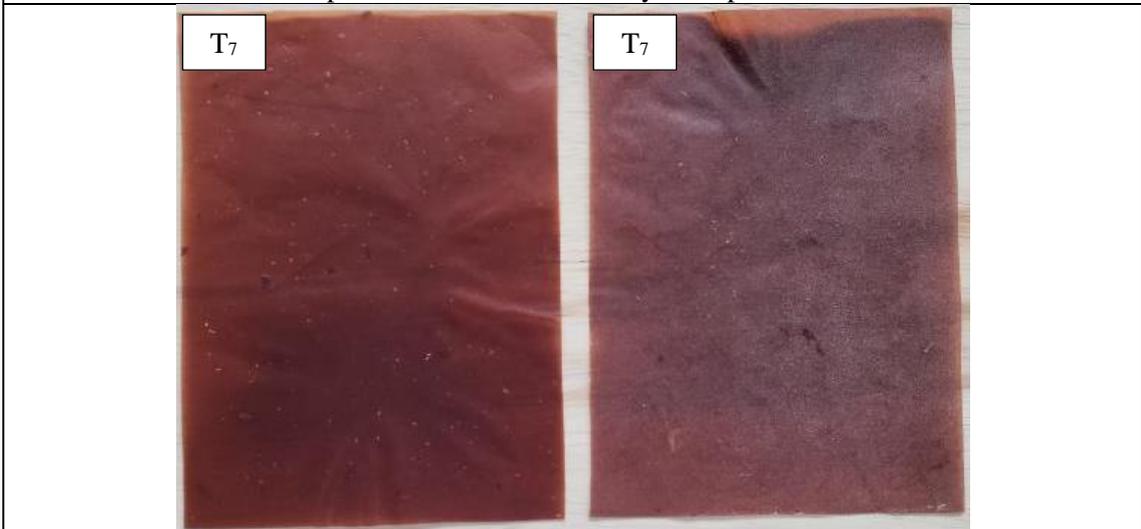
Papel Kraft elaborado del T<sub>4</sub> y su duplicado T<sub>4</sub>



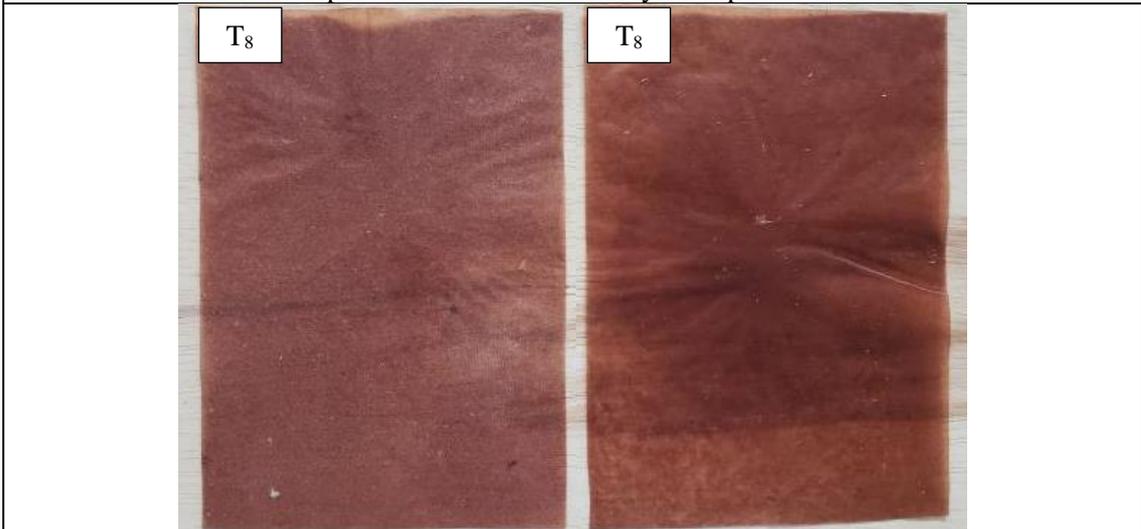
Papel Kraft elaborado del T<sub>5</sub> y su duplicado T<sub>5</sub>



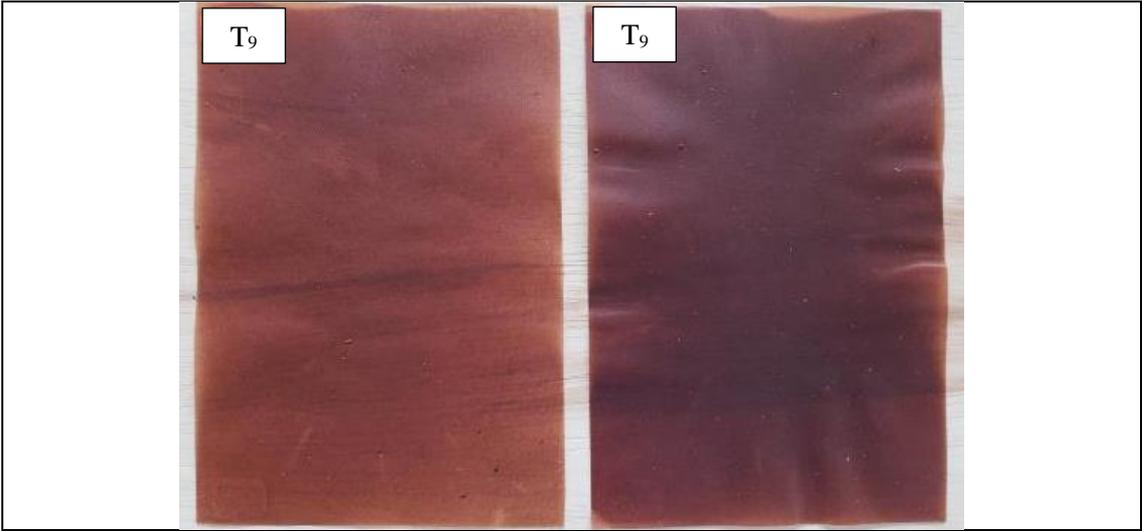
Papel Kraft elaborado del T<sub>6</sub> y su duplicado T<sub>6</sub>



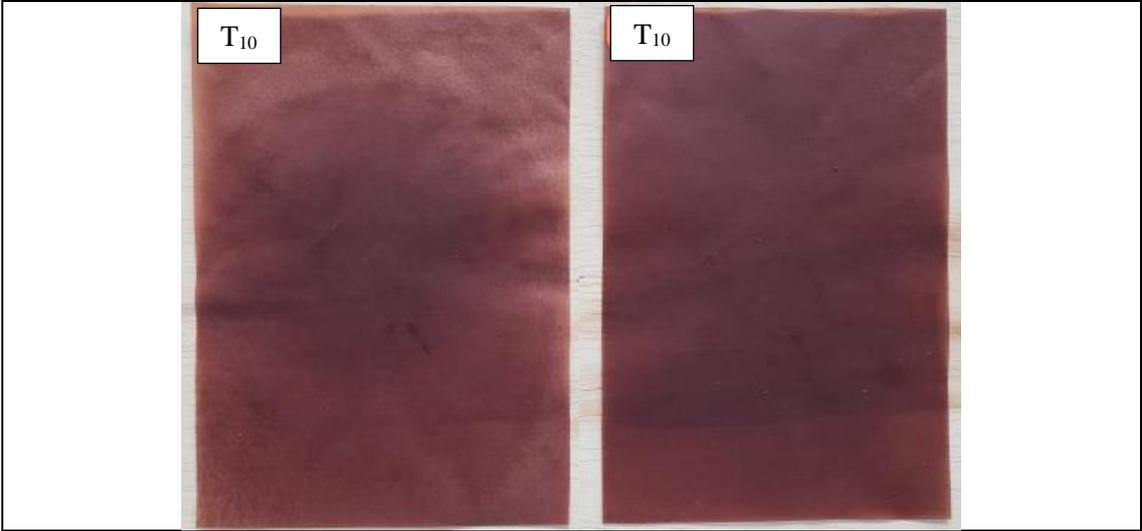
Papel Kraft elaborado del T<sub>7</sub> y su duplicado T<sub>7</sub>



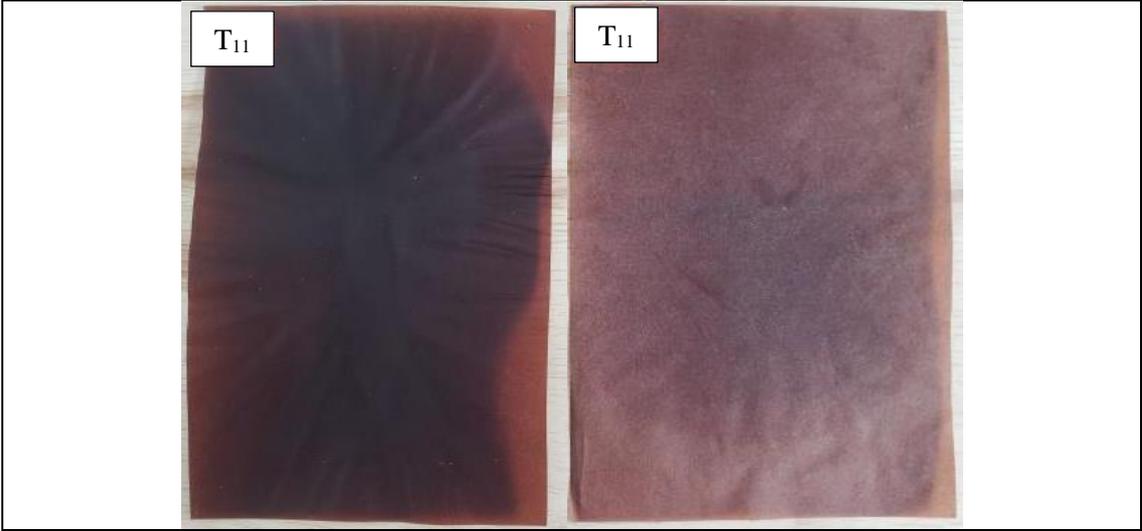
Papel Kraft elaborado del T<sub>8</sub> y su duplicado T<sub>8</sub>



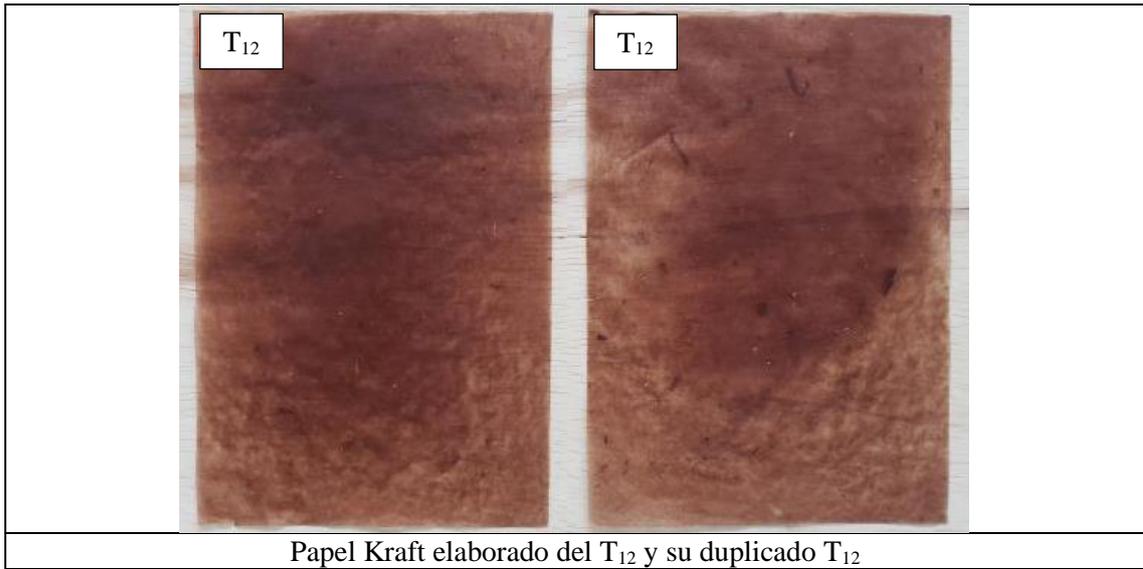
Papel Kraft elaborado del T<sub>9</sub> y su duplicado T<sub>9</sub>



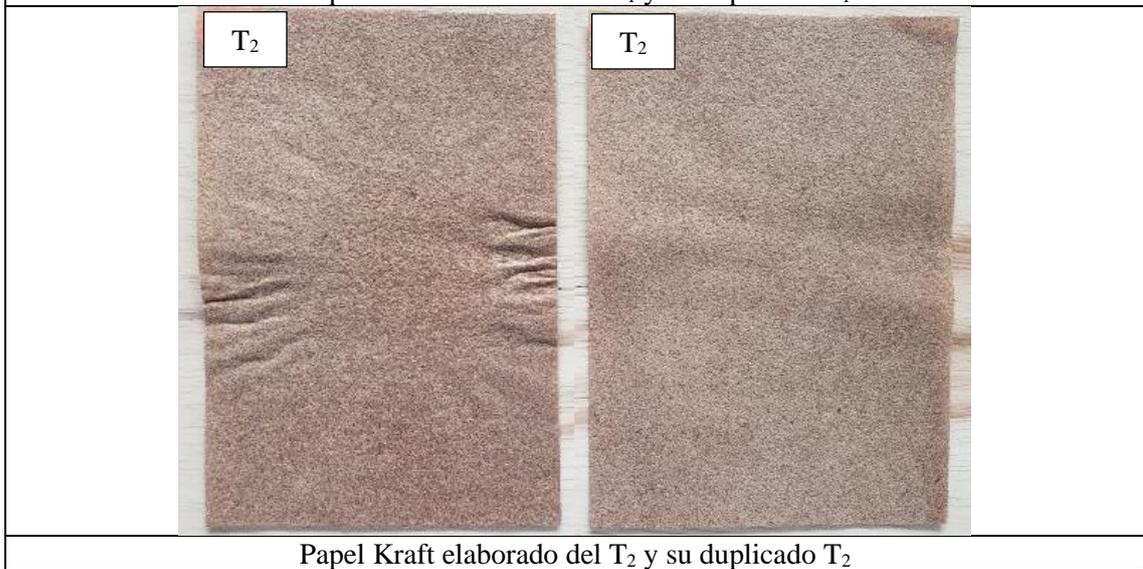
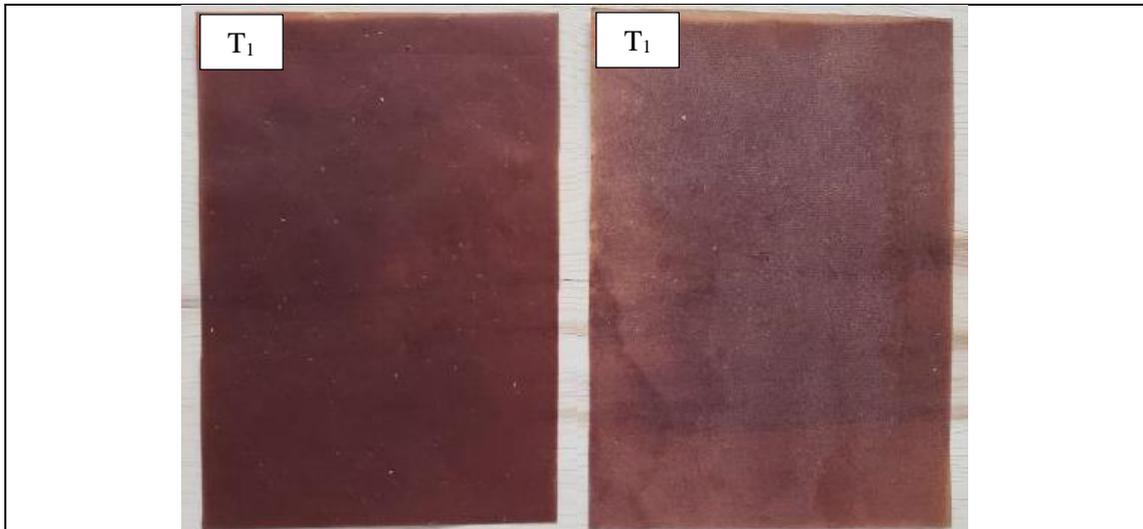
Papel Kraft elaborado del T<sub>10</sub> y su duplicado T<sub>10</sub>

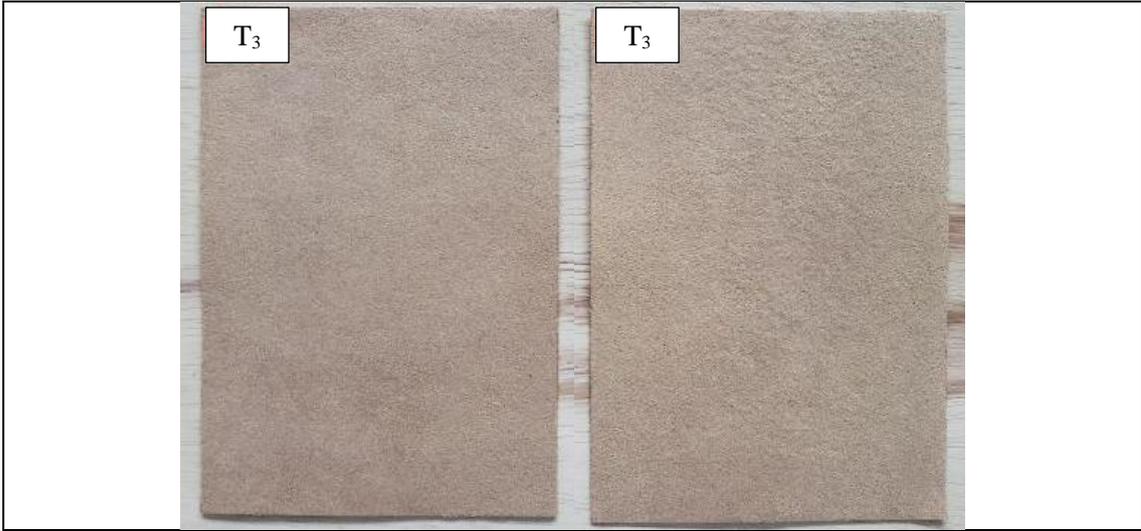


Papel Kraft elaborado del T<sub>11</sub> y su duplicado T<sub>11</sub>

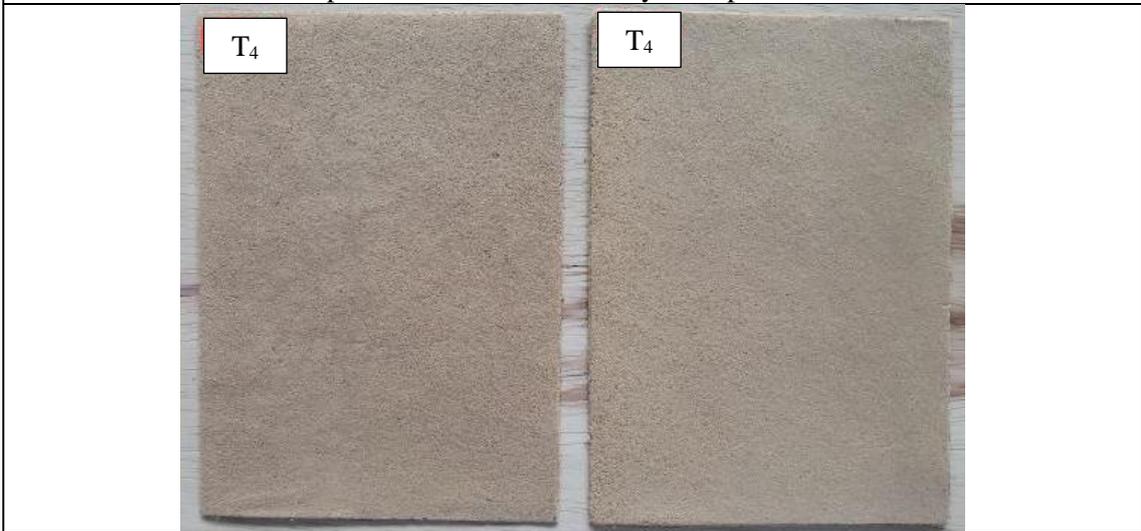


**ANEXO F: PAPEL KRAFT CON MADERA DE JACARANDÁ**

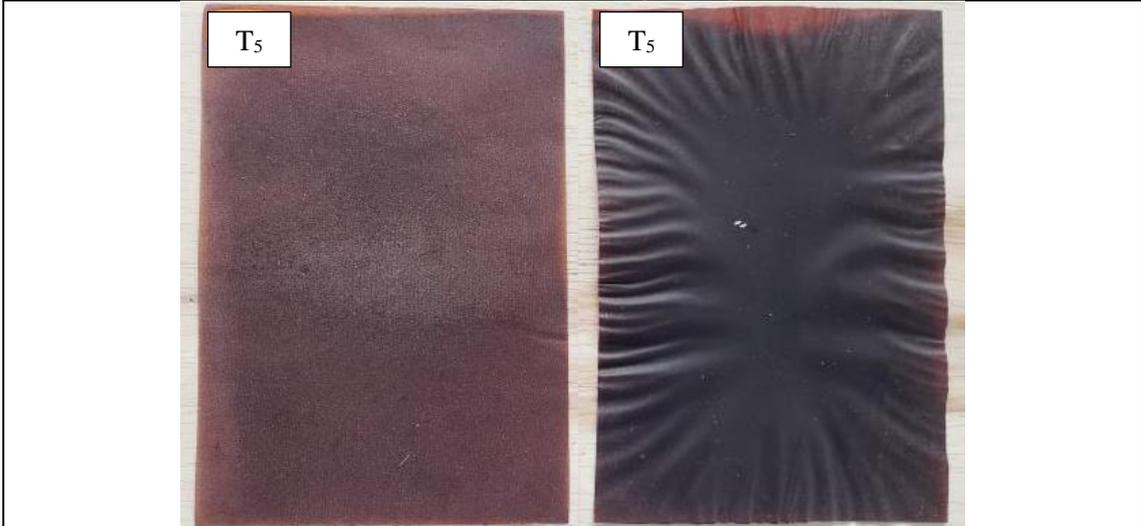




Papel Kraft elaborado del T<sub>3</sub> y su duplicado T<sub>3</sub>



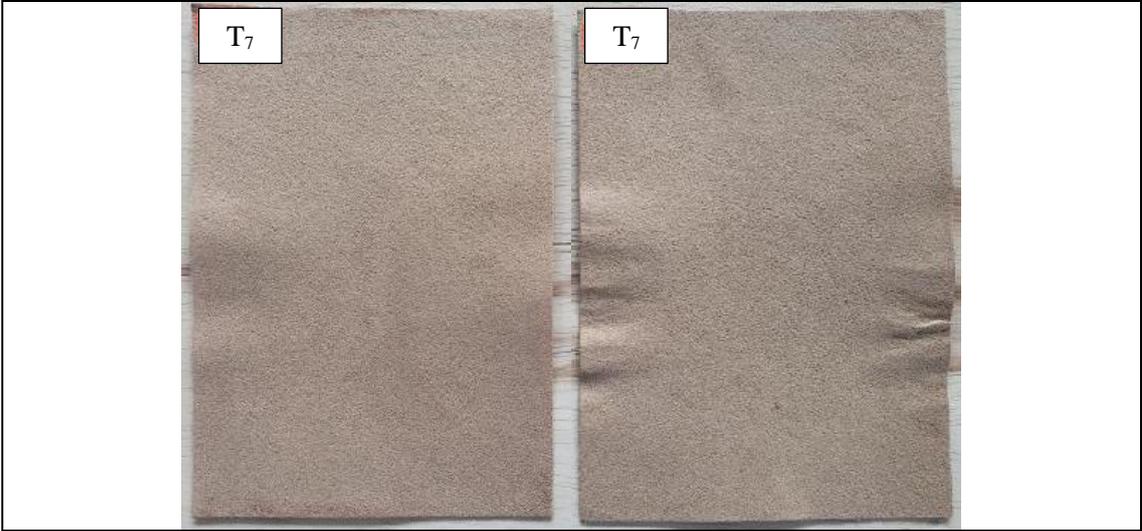
Papel Kraft elaborado del T<sub>4</sub> y su duplicado T<sub>4</sub>



Papel Kraft elaborado del T<sub>5</sub> y su duplicado T<sub>5</sub>



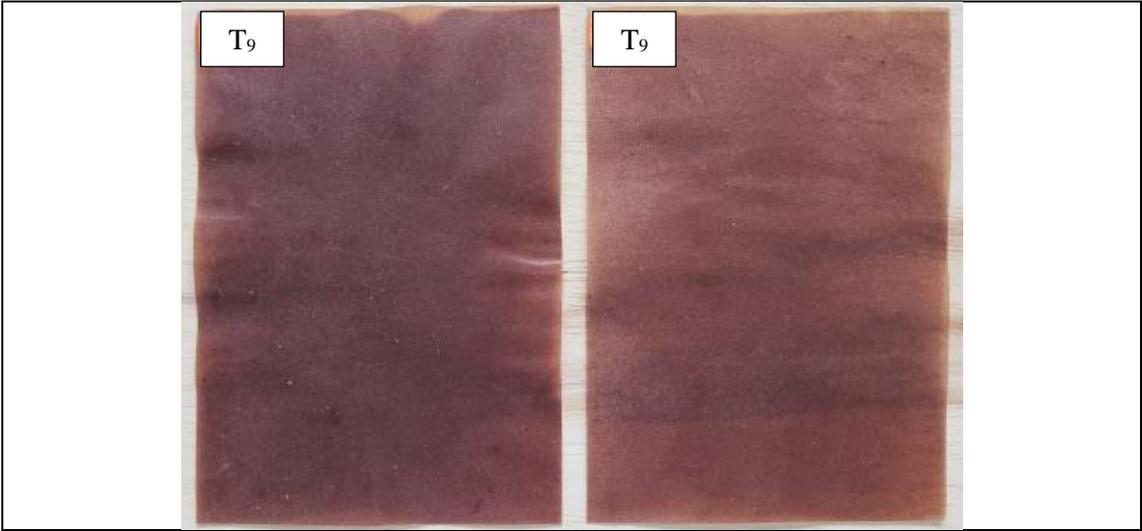
Papel Kraft elaborado del T<sub>6</sub> y su duplicado T<sub>6</sub>



Papel Kraft elaborado del T<sub>7</sub> y su duplicado T<sub>7</sub>



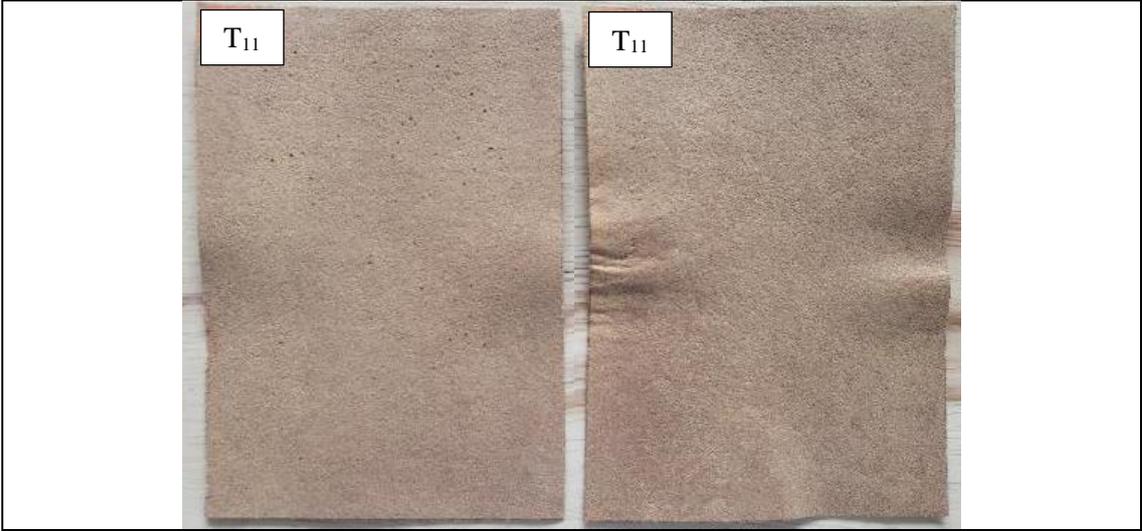
Papel Kraft elaborado del T<sub>8</sub> y su duplicado T<sub>8</sub>



Papel Kraft elaborado del T<sub>9</sub> y su duplicado T<sub>9</sub>



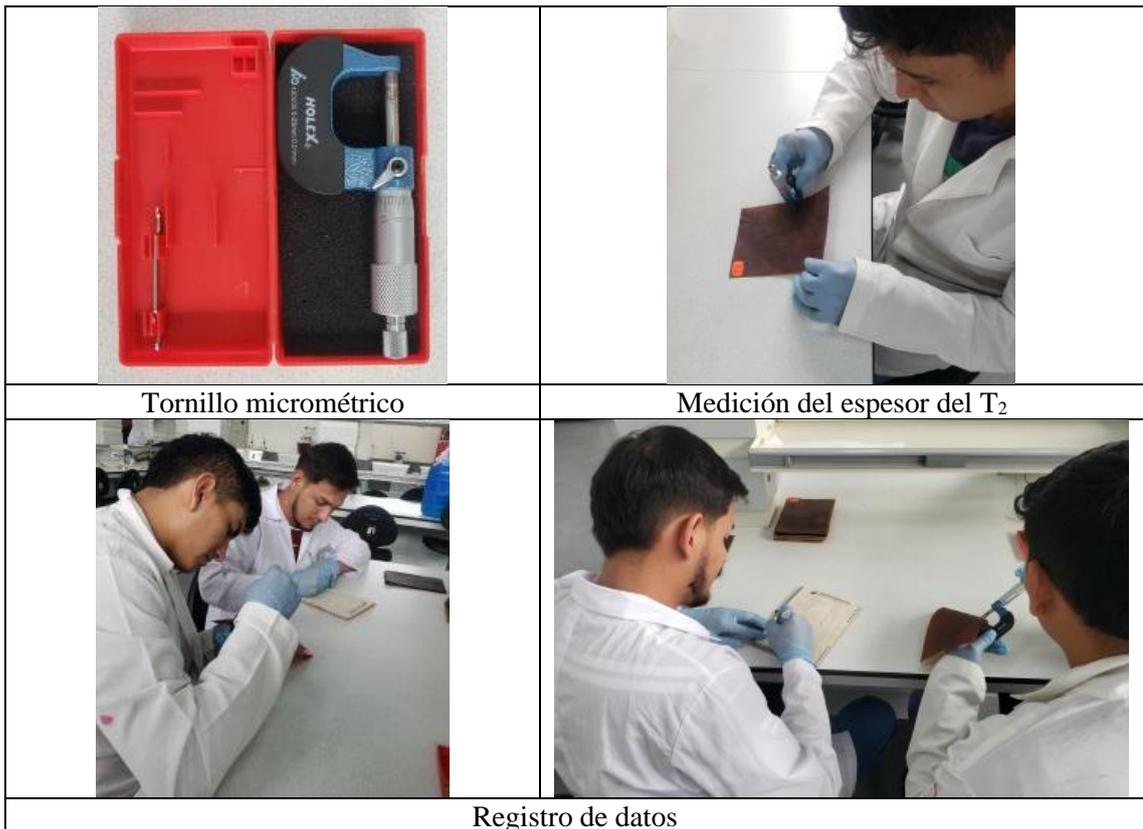
Papel Kraft elaborado del T<sub>10</sub> y su duplicado T<sub>10</sub>



Papel Kraft elaborado del T<sub>11</sub> y su duplicado T<sub>11</sub>



**ANEXO G: MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LAS HOJAS DE PAPEL KRAFT ELABORADOS**



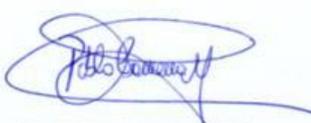
**ANEXO H: MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE LAS HOJAS DE PAPEL KRAFT ELABORADOS**

	
<p>Dinamómetro</p>	<p>Prensa de hierro nodular</p>
	
<p>Adecuación de materiales para medición</p>	<p>Medición y registro de datos</p>



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

**Fecha de entrega:** 18/07/2024

<b>INFORMACIÓN DE LOS AUTORES</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Luis Maximiliano Moreno Palacios Juan Andrés Ramos Capuz
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Ambiental
 <b>Ing. Pablo Danilo Carrera Oscullo, MSc.</b> <b>Director del Trabajo de Titulación</b>
 <b>Ing. Mirian Yolanda Jiménez Gutiérrez, MSc.</b> <b>Asesora del Trabajo de Titulación</b>