



“Estudio del proceso de extracción de celulosa como materia prima para la industria de papel a partir de distintas variedades de caña guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) aplicando diferentes procesos químicos”.

Ontaneda Toro, Nathaly Mishell

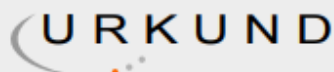
Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Sungey Naynee, Sánchez Llaguno, Ph.D.

5 abril del 2021



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis Nathaly Ontaneda (2).docx (D100657039)
Submitted: 4/5/2021 4:44:00 PM
Submitted By: janeira1@espe.edu.ec
Significance: 7 %

Sources included in the report:

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LA PIÑA (Ananas comosus y Caye na lisa) PARA LA OBTENCIÓN DE PULPA CELULÓSICA Sta. Dominguez.docx (D60470999)
 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Sr. Carlos Mackencie-Sr. Johnny Rodríguez.docx (D29368093)
 PROYECTO INVESTIGACION Srta. INGRID JANETH CHEVEZ ALEJANDRO.docx (D29301908)
 UNU_FORESTAL_T_2020_LIANAJESUS_V1.pdf (D63381535)
 UNU_FORESTAL_2020_T_ANTONY CARPIO_V1.docx (D78454888)
 TESIS PAPEL.docx (D53299392)
 5076_Perfil Proyecto Integrador_ Cajamarca_Campos_González_Guamán_Hermoza.pdf (D56341427)
<https://www.bibliotecasdeecuador.com/Record/ir-:33000-1249/Details>
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/416/1/CURADO%20Y%20PRESERVACION%20DE%20CA%20C3%91A%20GUADUA%20SELECCIONANDO%20AGENTES%20Y.pdf>
<https://www.ekosnegocios.com/negocios/verArticuloContenido.aspx?idArt=9811Enr>
<https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4126/3/T-UTEQ-0073.pdf>
<https://docplayer.es/71929335-Universidad-nacional-del-altiplano.html>
http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/1039/Tesis%20Q478_Qui.pdf?sequence=1&isAllowed=y
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13420/1/T-ESPESD-002811.pdf>
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10718/2018Hurtadosergio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Firma:



Firmado electrónicamente por:
 SUNGEY NAYNEE
 SANCHEZ LLAGUNO

Sungey Naynee Sánchez Llaguno, Ph.D.

C. C.:1205348673

Directora de proyecto de investigación



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación “**Estudio del proceso de extracción de celulosa como materia prima para la industria de papel a partir de distintas variedades de caña guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) aplicando diferentes procesos químicos**”, fue realizado por la señorita **Ontaneda Toro Nathaly Mishell**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Santo Domingo, 05 de abril de 2021

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**SUNGEY NAYNEE
SANCHEZ LLAGUNO**

.....
Sungey Naynee Sánchez Llaguno, Ph.D.

C. C.:1205348673

Directora de proyecto de investigación



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Ontaneda Toro Nathaly Mishell**, con cédula/cédulas de ciudadanía n°2300288350, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: es de mi autoría y responsabilidad, **“Estudio del proceso de extracción de celulosa como materia prima para la industria de papel a partir de distintas variedades de caña guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) aplicando diferentes procesos químicos”** cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Santo Domingo, 05 de abril de 2021

Firma

Ontaneda Toro Nathaly Mishell

C.C.: 2300288350



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Ontaneda Toro Nathaly Mishell**, con cédula de ciudadanía n° 2300288350, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**Estudio del proceso de extracción de celulosa como materia prima para la industria de papel a partir de distintas variedades de caña guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) aplicando diferentes procesos químicos**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Santo Domingo, 05 de abril de 2021

Firma

Ontaneda Toro Nathaly Mishell

C.C.:2300288350

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, primeramente, a Dios, por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante en mi formación profesional.

A toda mi familia, en especial a mis padres Ángela y Luis, por brindarme todo su amor, esfuerzo y sacrificio para permitirme cumplir mis metas.

A mi querido hermano Erick, por brindarme su consejo y apoyo incondicional en todo momento.

A mis tíos Deisy y Evelio, por brindarme ánimo y consejo, que me han permitido centrarme y continuar adelante en todo este largo camino hasta el día de hoy.

Gracias infinitamente, los amo.

Nathaly.

AGRADECIMIENTO

Agradezco, primeramente, a Dios por brindarme sabiduría para completar esta etapa de mi vida, a mi familia, por todo el apoyo brindado, su esfuerzo dio frutos, padres queridos.

A todos los docentes que conforman la Universidad de las Fuerzas Armadas por ser excelentes profesionales, brindarme sus conocimientos y formarme a lo largo de mi vida estudiantil.

Asimismo, agradezco a mi tutora la Dra. Sungey Sánchez y al Dr, Juan Neira por creer en mí, brindarme todo su apoyo, su paciencia y compromiso a lo largo de todo este proyecto de investigación.

De igual manera agradezco infinitamente a mi Gissela,P y Andrés T. por todo el cariño y apoyo que me han brindado.

Nathaly.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Análisis Urkund	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Resumen.....	15
Abstract.....	16
Capítulo I	17
Introducción.....	17
Objetivo general	18
Objetivos específicos	18
Hipótesis.....	19
<i>Hipótesis factor A</i>	19
<i>Hipótesis factor B</i>	19
<i>Hipótesis factor C</i>	19
Capitulo II	20
Revisión de literatura	20
Celulosa.....	20
Lignina.....	20
Hemicelulosa.....	21
Extracción de celulosa	21
<i>Pasta química</i>	22
<i>Pasta mecánica</i>	22
<i>Pasta mixta</i>	22
Hidróxido de sodio	23
Peróxido de hidrógeno.....	23
Industria de papel.....	24
<i>Procedimiento para la obtención de celulosa blanqueada</i>	24

Refinado del papel blanco.	25
Propiedades de la hoja de papel blanco.	25
Factores de fabricación que influyen en la permanencia del papel.	26
<i>El agua:</i>	26
<i>Acidez (ph):</i>	26
Caña guadua.	27
<i>Taxonomía</i>	28
<i>Origen y distribución</i>	28
<i>Características de la caña guadua</i>	29
<i>Variedades de caña guadua</i>	30
<i>Biotipos de caña guadua</i>	31
<i>Propiedades de la caña guadua para la extracción de papel</i>	32
Capitulo III	33
Metodología.	33
Ubicación del área de investigación	33
<i>Ubicación política</i>	33
<i>Ubicación geográfica</i>	33
<i>Ubicación ecológica</i>	34
Materiales	35
<i>Elaboración de papel blanco</i>	35
<i>Determinación del espesor</i>	35
<i>Determinación de la resistencia al rasgado</i>	36
<i>Determinación de cenizas</i>	36
<i>Determinación de ph</i>	36
<i>Determinación de humedad</i>	37
<i>Determinación de fibra</i>	37
Métodos.....	38
<i>Obtención de la materia prima</i>	38
<i>Obtención de la pulpa de papel</i>	38
<i>Elaboración de la hoja de papel</i>	40
Diseño experimental.	42
<i>Factores del experimento</i>	42
<i>Tratamientos a comparar</i>	42

<i>Tipo de diseño</i>	43
<i>Repeticiones</i>	43
<i>Características de la unidad experimental</i>	43
Análisis estadístico.....	44
<i>Esquema de análisis de varianza</i>	44
Análisis funcional.....	45
Variables evaluadas.....	45
<i>Calibre (espesor)</i>	45
<i>Potencial de hidrógeno (ph)</i>	45
<i>Humedad</i>	46
<i>Resistencia al rasgado</i>	46
<i>Ceniza</i>	47
<i>Fibra</i>	48
<i>Determinación de la densidad aparente (g/cm3)</i>	50
<i>Rendimiento</i>	51
<i>Color</i>	51
<i>Rugosidad del papel</i>	52
Capitulo IV.....	53
Resultados	53
Análisis de varianza	53
<i>Análisis de varianza para las variables físicas</i>	53
<i>Análisis de varianza para las variables químicas</i>	57
<i>Análisis de varianza para las variables ópticas</i>	60
Resultados del estudio de las variedades (factor A).....	62
Resultados del estudio de las partes vegetales (factor B).....	66
Resultados del estudio de las concentraciones de Hidróxido de sodio (factor C)	71
Resultados de la interacción A*B*C	73
Interacciones significativas en el estudio del proceso de extracción de celulosa.	75
Capitulo V.....	84
Discusión.....	84
Variedades (factor A)	84
Parte vegetal (factor B)	87
Concentración de hidróxido (factor C).....	90

Interacción A*B*C.....	93
Capitulo VI.....	96
Conclusiones y recomendaciones.....	96
Factor A (variedades)	96
Factor B (partes vegetativas)	97
Factor C (concentraciones de hidróxido)	97
Interacción A*B*C.....	98
Recomendaciones.	99
Capitulo VII.....	100
Bibliografía	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características físicas, químicas y ópticas del papel.....	26
Tabla 2 Rangos genealógicos para la clasificación de la caña guadua.	28
Tabla 3 Componentes químicos de las fuentes para pasta y papel (%).....	32
Tabla 4 Herramientas necesarias para la elaboración de papel.	35
Tabla 5 Herramientas para determinar el espesor del papel.	35
Tabla 6 Herramientas para medir la resistencia al rasgado del papel.	36
Tabla 7 Herramientas para determinar las cenizas del papel.	36
Tabla 8 Herramientas necesarias para determinar el pH del papel.	36
Tabla 9 Herramientas para determinar la humedad del papel.	37
Tabla 10 Herramientas para determinar la fibra del papel.....	37
Tabla 11 Factores y niveles a probar en el estudio.....	42
Tabla 12 Tratamientos a comparar en el estudio.....	42
Tabla 13 Distribución de las unidades experimentales en el estudio de la obtención de pulpa de celulosa a partir de dos variedades y un biotipo de <i>Guadua angustifolia</i> para la elaboración del papel blanco.....	43
Tabla 14 Esquema del análisis de varianza del estudio.....	44
Tabla 15 Calibre requerido para el papel de cuadernos.	45
Tabla 16 Calibre requerido para el papel de cuadernos.	47
Tabla 17 Escala colorimétrica para determinar la variable color.	51
Tabla 18 Escala de textura para determinar la variable rugosidad del papel.	52
Tabla 19 Análisis de varianza para la variable Calibre (Espesor).....	53
Tabla 20 Análisis de varianza para la variable Densidad Aparente.....	54
Tabla 21 Análisis de varianza para la variable Gramaje.	54
Tabla 22 Análisis de varianza para la variable Rendimiento.....	55
Tabla 23 Análisis de varianza para la variable Resistencia al rasgado.....	56
Tabla 24 Análisis de varianza para la variable Ceniza.....	57
Tabla 25 Análisis de varianza para la variable Fibra.....	57
Tabla 26 Análisis de varianza para la variable Humedad.....	58
Tabla 27 Análisis de varianza para la variable pH.....	59
Tabla 28 Análisis de varianza para la variable Color.....	60
Tabla 29 Análisis de varianza para la variable Textura.....	61
Tabla 30 Resultados del Análisis Tukey ($P > 0,05$), para el Factor A de las variables físicas.....	62
Tabla 31 Resultados del Análisis Tukey ($P > 0,05$), para el Factor A de las variables Químicas.....	62
Tabla 32 Resultados del Análisis Tukey ($P > 0,05$), para el Factor A de las variables Ópticas.....	62
Tabla 33 Resultados del Análisis Tukey ($P > 0,05$), para el Factor B de las variables Físicas.....	66
Tabla 34 Resultados del Análisis Tukey ($P > 0,05$), para el Factor B de las variables Químicas.....	66

Tabla 35 Resultados del Analisis Tukey ($P>0,05$), para el Factor B de las variables Químicas	66
Tabla 36 Resultados del Analisis Tukey ($P>0,05$), para el Factor C de las variables Físicas	71
Tabla 37 Resultados del Analisis Tukey ($P>0,05$), para el Factor C de las variables Químicas.	71
Tabla 38 Resultados del Analisis Tukey ($P>0,05$), para el Factor C de las variables Ópticas.	71
Tabla 39 Resultados del Analisis Tukey ($P>0,05$), para la Interacción A*B*C de las variables Físicas.	73
Tabla 40 Resultados del Analisis Tukey ($P>0,05$), para la Interacción A*B*C de las variables Químicas.	74
Tabla 41 Resultados del Analisis Tukey ($P>0,05$), para la Interacción A*B*C de las variables Ópticas.	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Planta de caña guadua.....	27
Figura 2 Mapa de ubicación geográfica del área de investigación.....	34
Figura 3 Balanza de materiales para el tratamiento T12	41
Figura 4 Efecto del estudio de tres variedades de caña guadua (Factor A), sobre las variables físicas.....	63
Figura 5 Efecto del estudio de tres variedades de caña guadua (Factor A) sobre las variables Químicas y ópticas	65
Figura 6 Efecto del estudio de tres variedades de caña guadua (Factor B) sobre las variables Químicas y ópticas	67
Figura 7 Efecto del estudio de tres variedades de caña guadua (Factor B) sobre las variables Físicas.	69
Figura 8 Efecto del estudio de las hojas y el tallo (Factor B) sobre las variables ópticas del papel.....	70
Figura 9 Efecto del estudio de las concentraciones de Hidróxido (Factor C) sobre las variables Físicas y Ópticas del papel.	72
Figura 10 Interacción A*B*C para la variable Calibre	75
Figura 11 Interacción A*B para la variable Gramaje.....	76
Figura 12 Interacción A*B para la variable Rendimiento.	77
Figura 13 Interacción A*B para la variable Rendimiento.	78
Figura 14 Interacción A*B para la variable pH	79
Figura 15 Interacción A*B para la variable Color.	80
Figura 16 Interacción A*C para la variable Color.....	81
Figura 17 Interacción B*C para la variable Color.....	82
Figura 18 Interacción A*B*C para la variable Color	83

RESUMEN

En la presente investigación se planteó como objetivo estudiar el proceso de extracción de celulosa como materia prima para la industria de papel a partir de diferentes variedades de Caña Guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), aplicando diferentes procesos químicos, ya que la Caña Guadua es la especie más abundante en nuestro país y ofrece una amplia gama de oportunidades para su aprovechamiento. El diseño experimental que se empleó fue un esquema trifactorial A*B*C (Variedades: Caña Brava, Caña Bicolor, Biotipo Caña Mansa; Partes Vegetativas: Hojas, Tallos; Hidróxido de sodio: 0,3 M y 0,5 M) en un D.B.C.A., conformado por 12 tratamientos y 3 repeticiones. En total se elaboraron 36 hojas de papel de tamaño A4 a las que se evaluó sus propiedades físicas (Calibre, Gramaje, Volumen, Rendimiento y Resistencia al rasgado), químicas (Cenizas, Fibra, Humedad y pH) y ópticas (Color y Textura). Los resultados obtenidos que presentaron y sus diferencias significativas fueron evaluados por la prueba de Tukey ($P > 0,05$). La mejor interacción A*B*C se obtuvo de Caña Mansa – Tallo – 0,5 M, que destaca entre en las variables físicas en cuanto a Calibre (1,31 mm), Gramaje (472,85 g/m²), Rendimiento (60,92 %), Resistencia (6,84 N), pH (6,47), Fibra (72,33 %), Ceniza (1,07 %), Humedad (3,61 %), por último, en las variables Ópticas, Color (4,60; “Beige Perla”) y Textura (4,36; “Ligeramente Liso”) aceptables.

Palabras clave:

- **PAPEL DE CAÑA GUADUA**
- **PULPA DE CELULOSA**
- **CALIDAD DEL PAPEL**

ABSTRACT

The objective of this research was to study the process of extracting cellulose as raw material for the paper industry from different varieties of Guadua cane (*Guadua angustifolia* Kunth) by applying different chemical processes, since Guadua cane is the most abundant species in our country and offers a wide range of opportunities for its use. The experimental design used was a trifactorial A * B * C scheme (Varieties: Caña Brava, Caña Bicolor, Caña Mansa Biotype; Vegetative Parts: Leaves, Stems; Sodium Hydroxide: 0.3 M and 0.5 M) in a D.B.C.A. A total of 36 A4-size sheets of paper were produced and evaluated for physical properties (Caliber, Grammage, Volume, Yield and Tearing Resistance), chemical properties (Ash, Fiber, Humidity and pH) and Optical properties (Color and Texture). The results obtained that showed significant differences were evaluated by Tukey's test ($P > 0.05$). The best A*B*C interaction was obtained by the Caña Mansa - Tallo - 0.5 M, standing out among the physical variables in terms of Caliber (1.31 mm), Grammage (472.85 g/m²), Yield (60.92 %), Resistance (6.84 N), pH (6.47), Fiber (72.33 %), Ash (1.07 %), Moisture (3.61 %) and Optical variables (4.60; "Pearl Beige") and an acceptable texture (4.36; "Slightly Smooth").

Key words:

- **GUADUA CANE PAPER**
- **CELLULOSE PULP**
- **PAPER QUALITY**

CAPÍTULO I

Introducción

En Ecuador, la industria papelera se caracteriza por orientarse principalmente a la fabricación tradicional de papel para empaque, conjuntamente con la importación de la materia prima (celulosa) y producto terminado (Suárez & Molina , 2008). La elaboración de papel y cartón es de suma importancia ya que existe una gran dependencia hacia estos productos; dicha industria sustenta las necesidades de diversos sectores económicos del país, especialmente en cada uno de los hogares (Ekos , 2017).

Alrededor del mundo, cada día aumenta la demanda de madera para la extracción de celulosa. Como consecuencia, los bosques reducen su capacidad de regenerarse por ellos mismo. Se conoce que ciertos países cuentan con tratamientos para recuperar sus bosques, pero esto no es una esperanza para dar solución a un problema tan grave, por lo que es importante hallar un suplente que se pueda utilizar de forma masiva sin causar daño al medio ambiente; este material es el bambú (Espinel, 2014).

La caña guadua, es la especie más abundante en nuestro país y ofrece una amplia gama de oportunidades para su aprovechamiento gracias a sus características ecológicas, vegetativas, físico-mecánicas y económicas, que se dan a razón de diversos factores como, el breve tiempo que necesita para alcanzar el estado de madurez necesario, su aprovechamiento, su fácil adaptación y su alto rendimiento por hectárea (Chiluiza & Hernández , 2009).

La guadua posee propiedades físico-mecánicas superiores entre los bambúes del mundo, de acuerdo al trabajo de investigación realizado por

Estrada en el 2010, en el que observa mediante extracción y caracterización de las fibras que la *Guadua angustifolia* posee hasta un 60.83 % de celulosa en el tallo (Estrada , 2010).

Esta investigación se realizó con la finalidad de conocer el potencial de dos diferentes variedades y un biotipo de caña guadua existentes en Santo Domingo de los Tsáchilas, para la obtención de pulpa, siendo tallo y hojas las principales fuentes potenciales de celulosa. Para efectuar el trabajo de investigación se trazaron los siguientes objetivos:

Objetivo General

Estudiar el proceso de extracción de celulosa como materia prima para la industria de papel a partir de distintas variedades de caña guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) aplicando diferentes procesos químicos.

Objetivos Específicos

- Evaluar la calidad y cantidad de pulpa celulósica para la elaboración de papel en dos variedades y un biotipo de caña guadua.
- Comparar el rendimiento y la calidad de la pulpa de celulosa obtenida del tallo y las hojas para la elaboración de papel.
- Determinar el efecto de dos diferentes concentraciones de hidróxido de sodio (NaOH) sobre la calidad y cantidad de pulpa celulósica.

Hipótesis

Hipótesis Factor A

Ho: Las variedades de Caña Guadua y el biotipo estudiadas no afectan la calidad y cantidad de la pulpa de celulosa a obtener (*Guadua angustifolia* Kunth).

Ha: Las variedades de Caña Guadua y el biotipo estudiadas afectan calidad y cantidad de la pulpa de celulosa a obtener (*Guadua angustifolia* Kunth).

Hipótesis Factor B

Ho: Las hojas y los tallos no producen la misma calidad y cantidad de pulpa de celulosa para la elaboración de papel blanco

Ha: Las hojas y los tallos producen la misma calidad y cantidad de pulpa de celulosa para la elaboración de papel blanco.

Hipótesis Factor C

Ho: Las concentraciones de NaOH a utilizar no influyen en el proceso de obtención del papel blanco (0,3 M y 0,5 M).

Ha: Las concentraciones de NaOH a utilizar influyen en el proceso de obtención del papel blanco (0,3 M y 0,5 M).

CAPITULO II

Revisión de Literatura

Celulosa

Como parte integral de las paredes celulares de todo vegetal se encuentra la celulosa, compuesto en su mayor parte de glucosa. El principal componente de las paredes celulares de las plantas es la celulosa. Esta es una fibra de origen vegetal que al ser visualizada en el microscopio tiene la similitud de un cabello humano, cuyo espesor y longitud varía según la especie. La celulosa es constituida por una cadena larga de carbohidratos polisacáridos. Además, constituye una fuente prácticamente interminable de glucosa que se almacena de forma continua por medio de la fotosíntesis. También se la puede encontrar en las frutas, las hortalizas y los cereales, ya que constituye la estructura de las paredes celulares, e incluso la pueden producir ciertos microorganismos (Cruz C. , 2014).

Lignina

La lignina es un polímero cuya principal función dentro las plantas es incrustarse en las paredes celulares secundarias, y en ciertas ocasiones, las primarias. Este componente se encuentra en mayor cantidad en las especies vegetales designadas como leñosas, es el biopolímero con mayor abundancia en la Tierra después de la celulosa. Algunas especies arbóreas pueden llegar a tener un 30 % de lignina; por otro lado, las hierbas apenas llegan a tener menos del 20 %. (Serk , Granlundz , Pesquet , & Barrosy , 2015).

Hemicelulosa

La hemicelulosa es un heteropolisacárido conformado por polímeros con cadenas más cortas y ramificadas, lo que genera una estructura más amorfa con mayor facilidad para hidrolizarse en sus azúcares como no sucede en la celulosa. El papel que cumple es permitir la unión entre la lignina y la celulosa, para proveer de rigidez y firmeza a la estructura de la pared celular, y es completamente insoluble en agua (Morales , 2015).

Extracción de celulosa

Para la obtención del papel se necesita primeramente obtener un concentrado de fibras celulósicas con ciertas características en cuanto al tamaño de fibras, su distribución, la flexibilidad, resistencia y composición. A continuación, se emplean diferentes procedimientos sobre las materias primas enfocados a obtener pulpa de celulosa de excelentes características, tratando de asegurar siempre el mayor rendimiento posible, en otras palabras, el máximo de cantidad de pulpa obtenida por cada tonelada de madera usada y reactivos empleados. Existen diversos procedimientos desarrollados que se han optimizado a lo largo del tiempo, de los cuales se pueden tener ventajas e inconvenientes que deben de ser analizados de acuerdo al producto final que se desea obtener, considerando los parámetros tales como rugosidad, blancura y resistencia al rozamiento, al rasgado y al plegado (Gómez , 2010).

Actualmente, existen 3 procedimientos para obtener pasta de madera: la pasta química, la pasta mecánica y la pasta mixta (la combinación de los dos métodos anteriores).

Pasta Química.

Se logra a partir de un proceso de cocción de la madera con químicos a altas temperaturas, cuyo propósito es disolver la lignina que se encuentra en la madera o vegetal con la ayuda de una solución alcalina, que libera las fibras. Con la celulosa química se obtiene un rendimiento bajo, es decir, entre un 40 % y un 60 % de la cantidad original, quedando en el producto final (fibras) y restos de lignina. La fibra que se obtiene es más fácil de blanquear y pierde calidad a través del tiempo (Pandey , 2002).

Pasta Mecánica.

Es obtenida a partir de un proceso en el cual los restos vegetales son molidos y triturados mecánicamente. Posteriormente, son sometidos a altas temperaturas sometidas a presión. A continuación, se clasifica la pasta, se procede a lavarla y es blanqueada, eventualmente. Este tipo de procedimiento requiere un alto gasto de energía. Con la celulosa mecánica, se puede obtener un alto rendimiento entre el 85 – 95 %, pero la desventaja de este método es la cantidad de lignina presente, ya que esta puede oxidarse, creando el color amarillo que caracteriza a los papeles viejos. Las aplicaciones principales son la fabricación de papel periódico y papeles para impresión de menor calidad (Pandey , 2002).

Pasta Mixta

Para la obtención de este tipo de pulpa se emplea el método mecánico con la adición de ciertos reactivos químicos, con el fin de acelerar y optimizar la separación (Gómez , 2010).

Hidróxido de sodio

El hidróxido sódico (NaOH) es un sólido cristalino, blanco y no desprende olor a temperatura ambiente, absorbe fácilmente la humedad del aire y dióxido de carbono, puede llegar a quemar la piel, de ahí que se lo conoce como sosa cáustica en la industria. Es producido comercialmente mediante dos técnicas básicas: la técnica moderna, por electrólisis y también por un proceso químico conocido como caustificación (Enríquez, 2013).

En la industria papelera, los procesos alcalinos más importantes ocupan soluciones de hidróxido de sodio (Lizcano , 2010), lo cual extrae la celulosa de la madera sin residuos, que también ayuda a separar las tintas de las fibras, dejando una base de papel pura.

Peróxido de hidrógeno

El peróxido de hidrógeno es conocido mayormente como agua oxigenada. Se encuentra en estado líquido incoloro con sabor amargo a temperatura ambiente. El peróxido es muy inestable y se degrada rápidamente en oxígeno y agua con la adición de calor, no es un material propiamente inflamable, es un agente oxidante eficiente que puede ocasionar una combustión espontánea cuando tiene contacto con materia orgánica (ATSDR, 2002).

Figueroa (2015) indica que el peróxido de hidrógeno es empleado en casi todas las plantas donde procesan papel proveniente de residuos de reciclaje, donde el color es un parámetro de especificación de la pulpa. El peróxido de hidrógeno puede ser usado en varias etapas del proceso como remoción de tinta, nivel de pulpeado por debajo del 5 – 6 % o una consistencia media de 15 – 20 %, remojo después del pulpeado y antes de la remoción de la tinta, o en el

masado o dispersión después del destintado y el post blanqueo con la tecnología similar a la usada para el blanqueo de pulpas mecánicas.

Industria de papel.

El papel tiene una gran importancia a nivel global. En la vida cotidiana, tiene tantos usos y aplicaciones. Los avances en la tecnología de fabricación de papel han estado influenciados por diferentes circunstancias, como la disponibilidad de los recursos que se emplean (p.ej. materias primas), las nuevas necesidades de la sociedad, el incremento económico, entre otros factores. En la actualidad, la industria papelera tiene como reto la disminución del impacto nocivo de la elevada producción de papel con el medioambiente, incentivando los procesos más sustentables, que disminuyen el consumo de materias, agua y energía, y económicos al mismo tiempo. Para esto se está invirtiendo en reciclaje de papel y aprovechamiento de restos de las producciones agrícolas como fuentes de fibra para elaborar papel (Lasso, 2018).

Procedimiento para la obtención de celulosa blanqueada.

Según Ruiz (2018), uno de los materiales más usados para la fabricación de papel es la pulpa de madera, aunque, dependiendo del uso previsto y el tipo de papel que se desea obtener, también se pueden emplear otras fibras como algodón, lino, cáñamo y papel reciclado.

El proceso de obtención de la pulpa consta de 3 etapas importantes:

Preparación de la fibra. Cuando el árbol es talado, se procede a llevar al aserradero, con la finalidad de cortar la madera en trozos pequeños.

Despulpado. La madera es colocada en un contenedor con una mezcla de agua y químicos, para calentar y extraer la pulpa.

Blanqueo. Una vez que se obtiene la pulpa, limpia y sin residuos de los químicos de la mezcla anterior, el papel puede ser blanqueado, empleando generalmente algún compuesto que contenga cloro, aunque también se utiliza peróxido de hidrógeno para realizar un blanqueo (Ruiz , 2018).

Refinado del papel blanco.

Esta operación tiene como objetivo principal, preparar las fibras para lograr las propiedades deseables en el producto final. Durante este refinamiento se eliminan parcialmente las paredes primarias y secundarias de las fibras, lo que permite el ingreso del agua al interior de la misma, provocando su dilatación al romper enlaces secundarios entre celulosa – celulosa, hemicelulosa – celulosa y hemicelulosa – hemicelulosa. La hidratación de estas fibras y la fibrilación externa e interna aumentan considerablemente el volumen específico y la superficie, generando un aumento de los puntos de contacto en la fabricación del papel, beneficiando el desarrollo de las propiedades físico – mecánicas del papel elaborado (Cadena , 2008).

Propiedades de la hoja de papel blanco.

Según Laqui (2017), las características físicas, químicas y ópticas del papel son las siguientes.

Tabla 1

Características físicas, químicas y ópticas del papel.

Físicas	Químicas	Ópticas
Peso	Humedad	Transparencia
Resistencia a la tensión	pH	Color
Resistencia a la explosión	Cenizas	Brillo
Resistencia al rasgado	Almidón	Lustre
Dureza		
Rigidez		
Resistencia al plegado		
Lisura		
Densidad		
Calibre		

Nota: Tomado de (Laqui , 2017).

Factores de fabricación que influyen en la permanencia del papel.

El agua:

En el caso del papel, uno de los factores importantes es el agua que se emplea para su elaboración, pues si ésta se encuentra contaminada, puede transmitir estas partículas directamente a la pasta de papel, la cual puede generar inoculaciones de hongos o bacterias (Universidad de Granada , 2015).

Acidez (pH):

Este parámetro hace referencia a la pérdida gradual de las reservas de agua (alcalinidad) que contiene el papel, esto es, ocasionado en primera instancia por la presencia de lignina, aditivos, entre otros en el proceso de fabricación. Un factor que acelera la acidez es el impacto de la luz natural o artificial. Esta acidez se mide en términos de pH, es decir, la cantidad de iones

de hidrógeno presentes en la solución (concentración). Cuando se genera este fenómeno, es fácil identificarlo por el amarillamiento de las fibras de papel, al punto de que se vuelve quebradizo (Dula , 2014).

Caña guadua.

Figura 1

Planta de caña guadua.



Nota: *Guadua angustifolia* Kunth. Tomado de (tropicós, 2021).

Taxonomía

Tabla 2

Rangos genealógicos para la clasificación de la caña guadua.

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Tribu	Bambuseae
Genero	Guadua
Especie	G. angustifolia

Nota: Tomado de (Chiluiza & Hernández , 2009).

Origen y distribución

Desde la prehistoria, el bambú y el hombre se han mantenido estrechamente relacionados. Dentro de la ideografía china, uno de los primeros elementos que existió fue un dibujo del bambú, constituidos por un par de tallos y ramas con hojas que se le denominó *zhu*. Este ideograma fue basado originalmente en la representación artística de los elementos para los cuales la lengua hablada tenía nombres, lo que continuamente evolucionó con la invención de letras y caracteres chinos (Lozada , 2012).

Hasta la actualidad, en el mundo existen alrededor de 1300 especies de bambú herbáceos y leñosos identificados, que se encuentran distribuidos de la siguiente manera: un 5 % en África y Oceanía, un 32 % en América y en Asia un 63 % (Perea , 2003).

Características de la caña guadua.

Los bambúes y la guadua en particular, están conformados por rizomas, culmos, también conocidos como tallo o caña leñosa, ramas, además de hojas caulinares, foliolos, inflorescencia, e incluso frutos (Chiluiza & Hernández , 2009).

A continuación, se describen dichas estructuras:

El Rizoma: Siendo la guadua una especie que pertenece a las rizomatosas de tipo paquimorfo, dicho rizoma es parte de la base principal del tallo o culmo; su función es asegurar la estabilidad; posee nudos y entrenudos por debajo de la tierra donde se desprenden las raíces y raicillas. Es conocido comúnmente por ser el órgano que almacena nutrientes, además de ser apto para la reproducción asexual (Perea , 2003).

Las raíces. De acuerdo al tipo de suelo en que se encuentre, pueden llegar alcanzar un grosor de 5 mm y profundizar hasta 1.50 metros (Perea , 2003).

Tallo o culmo. Comprende el eje aéreo que emerge desde el rizoma. Es de carácter leñoso, recto y levemente arqueado en la punta. A lo largo del culmo se distinguen dos partes importantes: nudos y entrenudos (Chiluiza & Hernández , 2009). En la actualidad, se estima que el ciclo de vida que posee un tallo es de 4 y 7 años, pero esto va a depender de las condiciones del lugar y del cultivo. Un indicador de que la caña guadua está madura es la presencia de manchas blancas que corresponden a hongos (Perea , 2003).

Ramas. Se clasifican de acuerdo a la posición que ocupan en el tallo: tenemos las basales y apicales. Todas las ramas nacen de las yemas ubicadas

en el culmo. Las ramas basales, que están ubicadas en la base del tallo, son espinas puntiagudas y duras, mientras que las ramas apicales son delgadas y largas, además de constatarse una rama dominante y más de tres ramas secundarias que son más delgadas (Chiluiza & Hernández , 2009).

Hojas caulinares. Se trata de hojas modificadas cuya característica principal es su fuerte consistencia coriácea. Posee una forma triangular cuya función principal es brindar protección a las yemas de las cuales se originan las ramas y el follaje (Chiluiza & Hernández , 2009).

Hojas ramales. Son conocidas como hojas de follaje. Crecen desde el extremo superior del tallo, son hojas simples, alternas y lanceoladas. Están compuestas por una vaina que abraza la rama, un pseudopeciolo y una lámina con vellosidades transparentes esparcidas sobre el haz (Chiluiza & Hernández , 2009).

Variedades de Caña Guadua.

Según Teneche (2016), la caña guadua posee las siguientes variedades:

Guadua Angustifolia Kunt. Esta especie es endémica de América y se considera como nativa de Ecuador, Colombia y Venezuela. Asimismo, ha sido introducida en México y varios países de Centroamérica. Es una especie de bambú gigante, con espinas y tallos erectos, que llegan alcanzar alturas hasta de 25 m y diámetros hasta de 25 cm (Teneche , 2016).

Guadua angustifolia Variedad Bicolor. La principal característica que diferencia a esta especie, es la presencia de rayas longitudinales amarillas sobre el culmo verde. Es nativa de Colombia, en donde tiene un gran potencial para la

fabricación de artesanías y es considerada como planta ornamental (Teneche , 2016).

Guadua angustifolia Nigra. La principal diferencia de esta especie es la tonalidad de sus líneas verde oscuro en sus culmos. Cuando el tallo se seca, las rayas se tornan de color negro a ocre. Esta especie solo se ha encontrado en Colombia y tiene valor potencial como planta decorativa (Teneche , 2016).

Biotipos de Caña Guadua

Según Añazco (2015), la caña guadua posee los siguientes biotipos:

Caña Brava. Este biotipo es el más común y más apreciado de la zona, ya que los agricultores indican que posee una buena resistencia estructural y no es atacada por plagas. Además, puede llegar a alcanzar hasta 25 m de altura y un diámetro de 15 cm. Se caracteriza del resto de biotipos por la presencia de espinas en sus ramas basales y apicales (Añazco, 2015).

Caña Mansa. Este biotipo no presenta espinas, llega alcanzar una altura y diámetro similares al de la brava, pero los entrenudos basales comúnmente son torcidos y cortos. De acuerdo a las opiniones de algunos agricultores, este tipo de caña no es tan resistente como la caña brava, es por esto que, a pesar de que su manejo es más sencillo, gracias a la ausencia de espinas, no es tan apreciada (Añazco, 2015).

Hueso Palanca. Presenta una pared considerablemente gruesa y un diámetro pequeño (< 7 cm) cuyas características la vuelven muy resistente. Normalmente, sirve como palanca. Este biotipo es difícil de encontrar (Añazco, 2015).

Macana. Este biotipo es nativo de Colombia. Suele reproducirse en los viveros de manera asexual por medio de los chusquines. Como especie no se adaptó según lo esperado, pero en algunas zonas de alta humedad se desarrolla muy bien; es muy apreciada, ya que la variación del diámetro y el largo del tallo es menor que los biotipos nativos, volviéndola ideal para la construcción (Añazco, 2015).

Propiedades de la caña guadua para la extracción de papel

Según Kay Teschke y Paul Demers (2009), se indica los componentes de los bambúes en la tabla 3.

Tabla 3

Componentes químicos de las fuentes para pasta y papel (%)

	Maderas blandas	Maderas duras	Paja	Bambúes	Algodón
Celulosa	38-46	38-49	28-42	26-43	80-85
Hemicelulosa	23-31	20-40	23-38	15-26	n.d.
Lignina	22-34	16-30	12-21	20-32	n.d.
Extraíbles	1-5	2-8	1-2	0,2-5	n.d.
Minerales y otros compuestos inorgánicos	0,1-7	0,1-11	3-20	1-10	0,8-2

Nota: Tomado de (Kay Teschke & Paul Demers, 2009)

CAPITULO III

Metodología.

Ubicación del Área de Investigación

Ubicación Política

País:	Ecuador
Provincia:	Santo Domingo de los Tsáchilas
Cantón:	Santo Domingo
Parroquia:	Luz de América
Sector:	Vía Quevedo, km 35

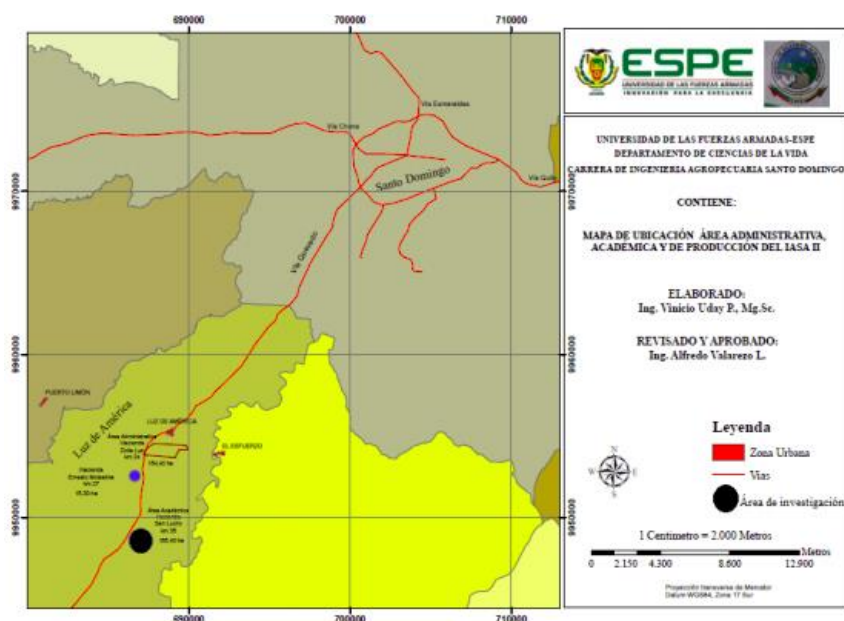
Ubicación Geográfica

El presente ensayo se realizó en la provincia de Santo Domingo, en la parroquia Luz de América, km 24 de la vía Santo Domingo – Quevedo, en las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Latitud:	00° 24´ 36"
Longitud:	79° 18´ 43"
Altitud:	270 msnm

Figura 2

Mapa de ubicación geográfica del área de investigación.



Nota: Tomado de (Uday, 2014).

Ubicación Ecológica

Zona de vida:	Bosque húmedo tropical
Altitud:	224 msnm
Temperatura media:	24,6 °C
Precipitación:	2860 mm año-1
Humedad relativa:	85 %
Heliofanía:	680 horas luz año-1
Suelos:	Franco Arenoso
Fuente:	Estación Agro-meteorológica "Puerto Ila", vía Quevedo (Km 35).

Materiales

Elaboración de papel blanco

Tabla 4

Herramientas necesarias para la elaboración de papel blanco.

Equipos	Materiales	Reactivos	Muestras
Balanza eléctrica	Bastidor rectangular	Agua destilada	Hojas de caña guadua
Baño maría	Guantes Mascarilla	Hidróxido de sodio	Tallos de caña guadua
Destilador de agua	Prensa	Peróxido de	
Estufa Memmert	Recipientes de vidrio	hidrógeno (30 %)	
Licuadaora	Tamiz		
Molino eléctrico	Vasos de precipitación (500 ml)		
	Vasos de precipitación (200 ml)		

Determinación del espesor.

Tabla 5

Herramientas para determinar el Calibre del papel.

Muestra	Equipo
Papel hecho de la caña guadua	Pie de rey

Determinación de la resistencia al rasgado

Tabla 6

Herramientas para medir la resistencia al rasgado del papel.

Muestra	Equipo
Papel hecho de la caña guadua	Dinamómetro 20 N Soporte universal

Determinación de cenizas

Tabla 7

Herramientas para determinar las cenizas del papel.

Muestra	Materiales	Equipo
Papel hecho de la caña guadua	Cocineta eléctrica Crisoles	Estufa Mufla Desecador

Determinación de pH

Tabla 8

Herramientas necesarias para determinar el pH del papel.

Muestra	Materiales	Equipo
Papel hecho de la caña guadua	Vaso de precipitación (50 ml) Agua destilada	Potenciómetro Balanza analítica

Determinación de humedad**Tabla 9***Herramientas para determinar la humedad del papel.*

Muestra	Materiales	Equipo
Papel hecho de la caña guadua	Cajas Petri	Analizador de humedad Balanza analítica

Determinación de fibra**Tabla 10***Herramientas para determinar la fibra del papel*

Muestra	Materiales	Equipo	Reactivos
Papel hecho de la caña guadua	Cajas Petri	Balanza analítica	Acetona
	Crisoles porosos	Bomba de vacío	Ácido sulfúrico
	Desecador	Equipo Dosi-Fiber	Hidróxido de
	Embudo de vidrio	Estufa	Sodio
	Fibra de vidrio	Mufla	Octanol
	Guantes		
	Gotero		
	Mascarilla		
	Matraz Kitasatos (250 ml)		
	Vasos de precipitación (2000 ml)		

Métodos

Obtención de la materia prima

Para la obtención de las materias primas, se procede a cosechar las cañas guaduas maduras, sin ninguna alteración en su estructura, procurando los mejores tallos y ramas. Los ejemplares fueron recolectados del Bambusario, perteneciente al GAD Provincial de Santo Domingo, ubicado en el km 28 de la vía Santo Domingo – Quevedo, en donde se encuentran las variedades y biotipos identificados.

Para la preparación de los tallos, se procede a realizar cortes de la caña guadua con la ayuda de una sierra eléctrica, a fin de extraer muestras más pequeñas y manipularlas con facilidad. Posteriormente a esto, se procede a pesar 160 g por cada tratamiento. En cuanto a las hojas, valiéndonos de unas tijeras, se separan las que se encuentran en las ramas gruesas, tratando de obtener los folíolos en su totalidad y luego se pesan 160 g para cada tratamiento. Esto se realizó de la misma manera a las 2 variedades y biotipos, en los laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ubicados en el km 35 de la vía Santo Domingo – Quevedo.

Obtención de la pulpa de papel

Secado. Una vez obtenida y pesada la materia prima, se realiza el secado de la muestra con la finalidad de disminuir el contenido de humedad en su estructura, para lo cual se utilizó una estufa Memmert, durante un lapso de 5 días, con una temperatura de 60 °C.

Molienda. Con la ayuda del molino eléctrico se procede a triturar las muestras provenientes del tallo, logrando disminuir su tamaño en partículas más pequeñas. En el caso de las hojas, al ser más delgadas, también se procedió a triturarlas en una licuadora eléctrica.

Cocción. Se pesa 100 g luego de triturar las muestras, se las somete a baño María, sumergiéndolas en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) disuelto en una concentración de 0,3 y 0,5 M. Dependiendo del tratamiento, se debe mantener una temperatura controlada de 95 °C durante una hora.

Reposo 1. A continuación, la materia prima permaneció sumergida con el hidróxido de sodio en un lapso de 8 días, en el recipiente cerrado. Se restringió el ingreso de oxígeno.

Tamizado 1. Después del reposo, se procede a retirar mediante un tamiz el licor negro de la fibra del que se genera en el proceso de cocción.

Lavado 1. Se procede a eliminar los restos de licor negro con agua destilada varias veces hasta que el agua no muestre ningún color.

Blanqueo. Una vez lavada la fibra, se la somete a un blanqueamiento, utilizando peróxido de hidrógeno al 30 %.

Reposo 2. Se deja actuar el peróxido de hidrógeno durante 24 horas.

Tamizado 2. Se retira con la ayuda del tamiz el peróxido de hidrógeno contenido en la pulpa.

Lavado 2. Con el agua destilada se procede a eliminar los restos de peróxido de hidrógeno de la pulpa.

Repetir este procedimiento dos veces más.

Elaboración de la hoja de papel

Una vez se tiene lista la pulpa de celulosa, se procede de la siguiente manera.

Licuadao. Con la ayuda de una licuadora eléctrica, se procede a uniformar las fibras de la celulosa para obtener una pasta.

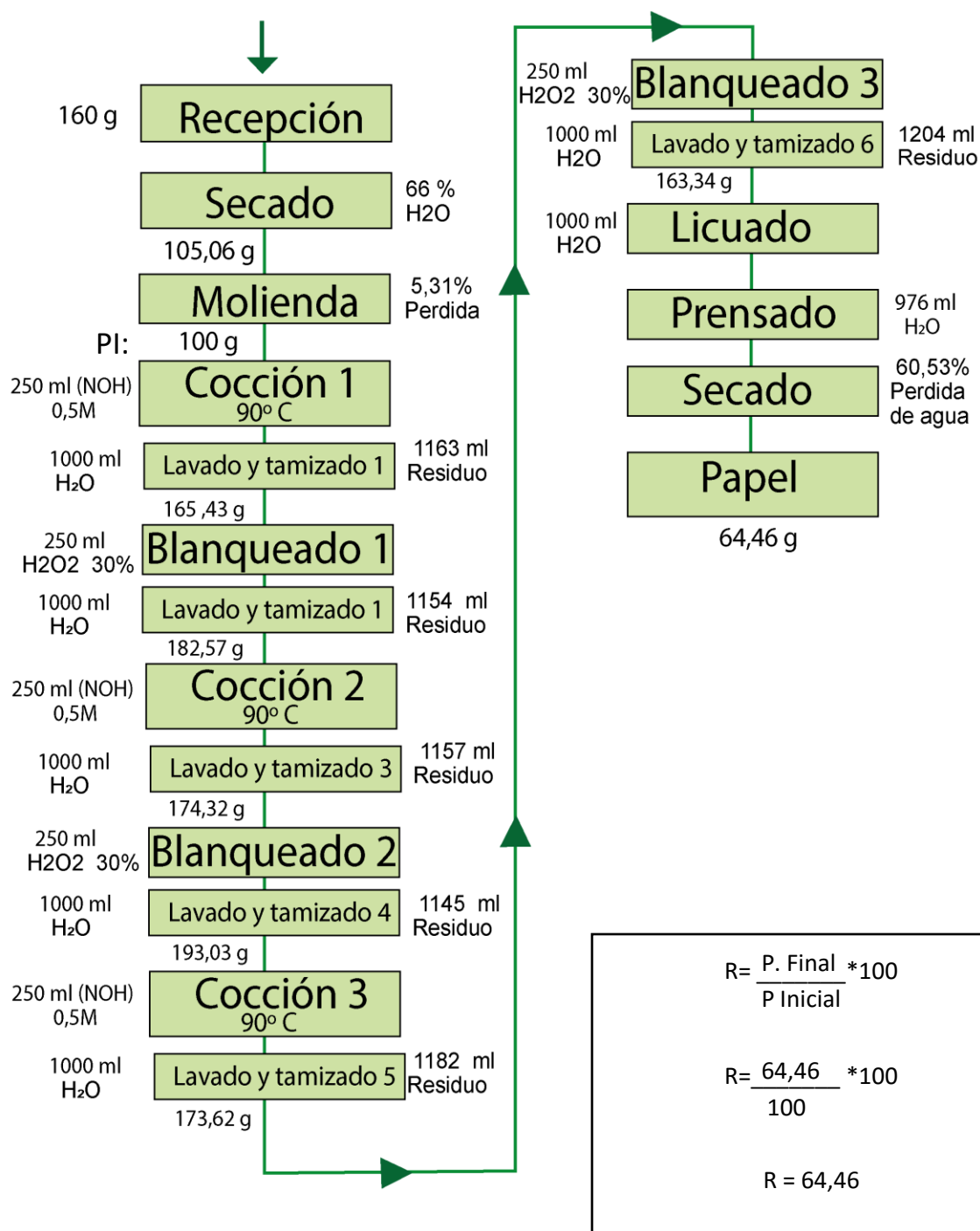
Prensado. Una vez se obtiene la pasta, se procede a colocarla en el bastidor, previamente adecuado con agua destilada. Este paso es primordial para dar la forma a la hoja de papel, porque luego pasa a la prensa donde se elimina la mayor cantidad de agua con la ayuda de la presión que ejerce la prensa manual, durante 24 horas, y avanzamos al proceso de secado.

Secado. Esta operación se realiza en dos partes: la primera consiste en secar las muestras durante 4 días, con la presión debidamente controlada; posterior a ello, en la segunda parte, se retira la prensa y se deja la muestra para el secado por 3 días más.

Hoja de papel. A manera de producto acabado, se obtiene la hoja de papel hecha a partir de las hojas de caña guadua.

Figura 3.

Balanza de materiales para el tratamiento T12



Diseño experimental.

Factores del Experimento

Tabla 11

Factores y niveles a probar en el estudio de la obtención de pulpa de celulosa a partir de dos variedades y un biotipo de Guadua angustifolia para la elaboración del papel blanco.

Factores	Niveles
Variedades de caña guadua (A)	a1= Caña Brava
	a2= Caña Bicolor
	a3= Caña Mansa
Parte Vegetal (B)	b1= Hojas
	b2= Tallo
Concentración de Hidróxido de sodio (C)	c1= 0,3 M
	c2= 0,5 M

Tratamientos a comparar

Tabla 12

Tratamientos a comparar en el estudio de la obtención de pulpa de celulosa a partir de dos variedades y un biotipo de Guadua angustifolia para la elaboración de papel blanco.

Nº Tratamiento	Tratamientos	Descripción
T1	a0b0c0	Caña Brava + Hojas + 0,3 M
T2	a1b0c0	Caña Bicolor + Hojas + 0,3 M
T3	a2b0c0	Caña Mansa + Hojas + 0,3 M
T4	a0b1c0	Caña Brava + Tallo + 0,3 M

T5	a1b1c0	Caña Bicolor + Tallo + 0,3 M
T6	a2b1c0	Caña Mansa + Tallo + + 0,3 M
T7	a0b0c1	Caña Brava + Hojas + 0,5 M
T8	a1b0c1	Caña Bicolor + Hojas + 0,5 M
T9	a2b0c1	Caña Mansa + Hojas + 0,5 M
T10	a0b1c1	Caña Brava + Tallo + 0,5 M
T11	a1b1c1	Caña Bicolor + Tallo + 0,5 M
T12	a1b1c1	Caña Mansa + Tallo + + 0,5 M

Tipo de diseño

Se utilizó un esquema trifactorial con (3x2x2) conducido en un D.B.C.A.

Repeticiones

Conformado por 12 tratamiento con 3 repeticiones por cada tratamiento, con un total de 36 unidades experimentales.

Características de la unidad experimental.

La investigación se conformó por 2 variedades (C. Brava y C. Bicolor) y 1 biotipo (C. Mansa), donde se valoraron hojas y tallos para la elaboración de papel bajo dos concentraciones de Hidróxido de sodio (0,3 M y 0,5 M) lo cual da un total 36 unidades experimentales, donde cada unidad está conformada por 100 g de materia prima seca distribuidos a continuación.

Tabla 13

Distribución de las unidades experimentales en el estudio de la obtención de pulpa de celulosa a partir de dos variedades y un biotipo de Guadua angustifolia para la elaboración del papel blanco.

Tratamiento	Descripción	Peso inicial
T1	Caña Brava + Hojas + 0,3 M	100 g
T2	Caña Bicolor + Hojas + 0,3 M	100 g
T3	Caña Mansa + Hojas + 0,3 M	100 g
T4	Caña Brava + Tallo + 0,3 M	100 g
T5	Caña Bicolor + Tallo + 0,3 M	100 g
T6	Caña Mansa + Tallo + + 0,3 M	100 g
T7	Caña Brava + Hojas + 0,5 M	100 g
T8	Caña Bicolor + Hojas + 0,5 M	100 g
T9	Caña Mansa + Hojas + 0,5 M	100 g
T10	Caña Brava + Tallo + 0,5 M	100 g
T11	Caña Bicolor + Tallo + 0,5 M	100 g
T12	Caña Mansa + Tallo + + 0,5 M	100 g

Análisis estadístico

Esquema de análisis de varianza

Tabla 14

Esquema del análisis de varianza del estudio de la obtención de pulpa de celulosa a partir de dos variedades y un biotipo de caña guadua para la elaboración de papel blanco.

Fuentes de Variación		Grados de Libertad
Variedades (A)	a-1	2
Partes vegetales (B)	b-1	1
Concentraciones de hidróxido(C)	c-1	1
AxB	(a-1)(b-1)	2
AxC	(a-1)(c-1)	2
BxC	(b-1)(c-1)	1
AxBxC	(a-1)(b-1)(c-1)	2
Bloque	d-1	2
Error Experimental	abc(n-1)	22
Total		35

Análisis funcional.

Para las variables, cuyos análisis de varianza resultaron significativos, se aplica la prueba de significancia de Tukey al 5 %.

Variables evaluadas

Calibre (espesor)

Para el análisis del calibre se requirió la ayuda de un pie de rey con el cual se midió en milímetros cada lado de la hoja de papel, y de esta manera se obtuvo el valor del calibre.

Tabla 15

Calibre requerido para el papel de cuadernos.

Requisito	Unidades	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Calibre	µm	60	----	NTE INEN-ISO 534

Nota: Tomado de (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2015).

Potencial de hidrógeno (pH)

Se evaluó el pH de la hoja de papel empleando un potenciómetro digital.

- Se coloca 1g de la muestra de papel en un vaso de precipitación de 20 ml.
- Se adicionan 10 ml de agua destilada, previamente hervida y enfriada.
- Se mezcla hasta que la muestra de papel se desintegre en el agua.

- Para determinar el pH de la muestra se introduce el electrodo del potenciómetro en el vaso.

Humedad

Se evaluó la humedad de la hoja de papel empleando un analizador de humedad.

- Se pesa en una balanza analítica 1 g de papel de cada muestra.
- Se coloca dentro del medidor de humedad, en el recipiente de aluminio, y se confirma el peso.
- Se procede a tapar el medidor de humedad.
- En cuestión de minutos se obtiene el resultado.

Resistencia al rasgado.

Es una de las variables más importante que debe cumplir el papel para soportar procesos de producción y el uso cotidiano para el cual se destina.

- Se preparan las muestras con una medida de 10*12 cm.
- Se coloca el tensiómetro en un soporte universal.
- Se procede a perforar el papel en cada lado, para colocar el extremo del tensiómetro.
- Se procede a tirar de la hoja de papel hacia abajo provocando una fuerza necesaria para rasgar el papel.
- Se toma la medida del tensiómetro en el momento exacto que la hoja se rasga.

Tabla 16

Calibre requerido para el papel de cuadernos.

Requisito	Unidades	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Resistencia al rasgado	mN	275	----	NTE INEN-ISO 1974

Nota: (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2015)

Ceniza

La prueba se ejecutó según la referencia de Kirk, Sawyer & Egan (1996).

- Se toma el peso constante del crisol, colocándolo previamente en la mufla, durante 2 horas, a 550 °C.
- Se pesa 1 g de muestra de papel y se coloca en el crisol.
- Se quema la muestra en una hornilla eléctrica hasta quedar completamente calcinada y ya no desprenda humo.
- Se coloca en la mufla durante 3 horas a 550 °C.
- Se retira la muestra de la mufla y se coloca en el desecador.
- Se toma el peso cuando la muestra llegue a temperatura ambiente.
- Se procede a hacer el cálculo de la ceniza.

Formula:
$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P - p}{M} \times 100$$

Donde:

P= Peso del crisol más las cenizas (g)

p= Masa de crisol vacío (g)

M= Peso en masa de muestra (g)

Fibra

Para esta variable se tomó como referencia a la norma NTE INEN-ISO 6865.

Preparación de la muestra.

- Se pesa 1 g de muestra finamente picada.
- Se prepara el crisol poroso, colocando fibra de vidrio en la base y las paredes, para tomar el peso.
- Se coloca la muestra picada y se vuelve a pesar.
- Se introduce los crisoles en el equipo Dosi – Fiber.

Proceso de hidrólisis ácida y básica.

- Una vez colocadas las muestras, se asegura el equipo.
- Se colocan aproximadamente 150 ml de H₂SO₄ en cada contenedor y se adicionan 10 gotas de octanol a cada muestra.
- Se abre el circuito de refrigeración.
- Se enciende el equipo, colocando el nivel de calor en 9, hasta que las muestras rompan hervor. Posterior a eso, se baja el nivel a 7, durante un lapso de 30 minutos.
- Una vez se cumpla el tiempo, se desecha el líquido resultante y se procede a enjuagar con 1 L de agua destilada caliente.
- Una vez enjuagadas las muestras se procede a realizar nuevamente el proceso, pero ahora con la solución de hidróxido de sodio.

Extracción en frío con acetona

- En cuanto se enfrían las muestras, se colocan sobre cajas Petri, donde se empapan con acetona y reposan unos minutos.
- Se prepara el Kitasato con las trompas de vacío y se conecta a la bomba al vacío.
- Se procede a enjuagar la acetona con la ayuda de la bomba al vacío.
- Se colocan las muestras en la estufa a 100 ° C, durante 24 horas, con el objetivo de que se termine de evaporar la acetona.
- Se pesan los crisoles.
- Se procede a calcinar las muestras en la mufla (3 horas) a 550 °C.
- Se retiran de la mufla las muestras y se enfrían en el desecador, para tomar el peso una vez que la temperatura de las muestras llegue a temperatura ambiente.

Fórmula:

$$\% \text{ de fibra bruta} = \frac{W1 - W2}{W0} \times 100$$

Donde:

W0= Peso de la muestra

W1= Peso del crisol + muestra seca

W2= Peso del crisol + muestra calcinada.

Gramaje (g/m²)

El gramaje no es más que el peso en gramos que corresponde en m².

- Para la determinación del gramaje se utiliza un papel con una dimensión de 10 cm*12 cm.
- Se procede a calcular el área de la muestra en m² que corresponde a 0,012m²
- Se toma el peso de dicha muestra y se procede a hacer el cálculo.

Fórmula:

$$\text{Gramaje} = \frac{\text{Masa}}{\text{Área}} = \text{g} / \text{m}^2$$

Determinación de la densidad aparente (g/cm³)

La densidad aparente es un parámetro de suma importancia, ya que nos permite conocer la estructura del papel; este se expresa en g/cm³.

Fórmula:

$$D = \frac{\text{Gramaje (g/m}^2\text{)}}{\text{Espesor del papel (micras)}} = \text{g/cm}^3$$

Rendimiento.

Para el cálculo del rendimiento se divide el peso final del papel para el peso de la materia prima secada en la estufa.

Fórmula:







$$\% \text{ de Rendimiento} = \frac{\text{Peso final del papel}}{\text{Peso de la materia}} = \text{g/cm}^3$$

Color

Esta variable también es importante en cuanto a la calidad del papel se refiere. Para determinar el color se tomó la escala de colorimetría que propone (Ponce , 2019), a través de una prueba sensorial que se realizó a 10 participantes.

Tabla 17

Escala colorimétrica para determinar la variable color.

Color		
Calificación	Descripción	Ejemplo
1	Arena	
2	Arena claro	
3	Ligeramente Arena claro	
4	Ligeramente Beige Perla	
5	Beige Perla	
6	Beige	

Rugosidad del papel.

Para determinar la rugosidad se consideró también la escala de colorimetría que propone (Ponce , 2019), a través de una prueba sensorial para determinar textura que se realizó en 10 participantes.

Tabla 18

Escala de textura para determinar la variable rugosidad del papel.

Textura	
Clasificación	Descripción
1	Muy Rugoso
2	Rugoso
3	Ligeramente Rugoso
4	Ligeramente Liso
5	Liso
6	Muy Liso

CAPITULO IV

Resultados

Análisis de varianza

Análisis de varianza para las variables físicas.

Tabla 19

Análisis de varianza para la variable Calibre (Espesor).

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Variedad	0,419572	2	0,209786	8,44	0,0019*
B:Parte Vegetal.	9,0	1	9,0	362,09	0,0000*
C:Hidroxido	0,00444444	1	0,00444444	0,18	0,6765
D:Repeticion	0,0154389	2	0,00771944	0,31	0,7362
AB	0,174117	2	0,0870583	3,50	0,0478*
AC	0,00180556	2	0,000902778	0,04	0,9644
BC	0,0277778	1	0,0277778	1,12	0,3019
ABC	0,00970556	2	0,00485278	0,20	0,8240
RESIDUOS	0,546828	22	0,0248558		
TOTAL (CORREGIDO)	10,1997	35			

De acuerdo al análisis de varianza de la tabla 18 para la variable Calibre, se puede identificar diferencia significativa en: Factor A (Variedad), Factor B (Parte Vegetal) y la Interacción A*B (Variedad * Parte Vegetal). Por otro lado, en Factor C (Hidróxido), Interacción A*C (Variedad* Hidróxido), Interacción B*C (Parte Vegetal * Hidróxido) y la Interacción A*B*C (Variedad * Parte Vegetal * Hidróxido), no presentó diferencia significativa.

Tabla 20

Analisis de varianza para la variable Densidad Aparente.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Variedad	0,111971	2	0,0559856	3,46	0,0493*
B:Parte Vegetal.	5,16395	1	5,16395	319,32	0,0000*
C:Hidroxido	0,0365309	1	0,0365309	2,26	0,1471
D:Repeticion	0,0213823	2	0,0106912	0,66	0,5262
AB	0,111227	2	0,0556133	3,44	0,0502
AC	0,00674287	2	0,00337143	0,21	0,8134
BC	0,0581782	1	0,0581782	3,60	0,0711
ABC	0,00980557	2	0,00490278	0,30	0,7415
RESIDUOS	0,355781	22	0,0161719		
TOTAL (CORREGIDO)	5,87557	35			

De acuerdo al análisis de varianza de la tabla 19 para la variable Densidad Aparente, se puede identificar diferencia significativa en: Factor A (Variedad), Factor B (Parte Vegetal). Por otro lado, en Factor C (Hidróxido), Interacción A*B (Variedad * Parte Vegetal), Interacción A*C (Variedad* Hidróxido), Interacción B*C (Parte Vegetal * Hidróxido) y la Interacción A*B*C (Variedad * Parte Vegetal * Hidróxido), no presentó diferencia significativa.

Tabla 21

Analisis de varianza para la variable Gramaje.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Variedad	60765,6	2	30382,8	77,35	0,0000*
B:Parte Vegetal.	431943,	1	431943,	1099,71	0,0000*
C:Hidroxido	54,4762	1	54,4762	0,14	0,7131
D:Repeticion	1609,99	2	804,997	2,05	0,1527
AB	10018,0	2	5009,01	12,75	0,0002*
AC	4779,42	2	2389,71	6,08	0,0079*
BC	1275,82	1	1275,82	3,25	0,0852
ABC	2985,92	2	1492,96	3,80	0,0382*
RESIDUOS	8641,17	22	392,781		
TOTAL (CORREGIDO)	522073,	35			

De acuerdo al análisis de varianza de la tabla 20 para la variable Gramaje, se puede identificar diferencia significativa en: Factor A (Variedad), Factor B (Parte Vegetal), Interacción A*B (Variedad * Parte Vegetal), Interacción A*C (Variedad* Hidróxido) y la Interacción A*B*C (Variedad * Parte Vegetal * Hidróxido). Por otro lado, en Factor C (Hidróxido), Interacción B*C (Parte Vegetal * Hidróxido), no presentó diferencia significativa.

Tabla 22

Analisis de varianza para la variable Rendimiento.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
A:Variedad	1049,96	2	524,981	62,40	0,0000*
B:Parte Vegetal.	6952,78	1	6952,78	826,43	0,0000*
C:Hidroxido	82,0232	1	82,0232	9,75	0,0050*
D:Repeticion	33,9104	2	16,9552	2,02	0,1571
AB	151,217	2	75,6087	8,99	0,0014*
AC	2,21502	2	1,10751	0,13	0,8773
BC	10,2187	1	10,2187	1,21	0,2823
ABC	86,5038	2	43,2519	5,14	0,0147*
RESIDUOS	185,086	22	8,41302		
TOTAL (CORREGIDO)	8553,92	35			

De acuerdo al análisis de varianza de la tabla 21 para la variable Rendimiento, se puede identificar diferencia significativa en Factor A (Variedad), Factor B (Parte Vegetal), Factor C (Hidróxido), Interacción A*B (Variedad * Parte Vegetal), y la Interacción A*B*C (Variedad * Parte Vegetal * Hidróxido). Por otro lado, en Interacción A*C (Variedad* Hidróxido) y la Interacción B*C (Parte Vegetal * Hidróxido), no presentó diferencia significativa.

Tabla 23

Análisis de varianza para la variable Resistencia al Rasgado.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
A:Variedad	3,47196	2	1,73598	1,16	0,3310
B:Parte Vegetal.	134,239	1	134,239	89,95	0,0000*
C:Hidroxido	0,717691	1	0,717691	0,48	0,4953
D:Repeticion	1,96838	2	0,984191	0,66	0,5270
AB	3,79947	2	1,89974	1,27	0,2998
AC	0,156966	2	0,078483	0,05	0,9489
BC	0,956158	1	0,956158	0,64	0,4320
ABC	0,0927994	2	0,0463997	0,03	0,9694
RESIDUOS	32,8317	22	1,49235		
TOTAL (CORREGIDO)	178,234	35			

De acuerdo al análisis de varianza de la tabla 22 para la variable Resistencia al rasgado, se puede identificar diferencia significativa en Factor B (Parte Vegetal). Por otro lado, en Factor A (Variedad), Factor C (Hidróxido), Interacción A*B (Variedad * Parte Vergeta), Interacción A*C (Variedad* Hidróxido), Interacción B*C (Parte Vegetal * Hidróxido) y la Interacción A*B*C (Variedad * Parte Vegetal * Hidróxido), no presentó diferencia significativa.

Análisis de varianza para las variables químicas.

Tabla 24

Análisis de varianza para la variable Ceniza.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
A:Variedad	0,240417	2	0,120208	0,40	0,6759
B:Parte Vegetal.	0,0950694	1	0,0950694	0,32	0,5801
C:Hidroxido	0,0434028	1	0,0434028	0,14	0,7080
D:Repeticion	0,542917	2	0,271458	0,90	0,4208
AB	0,589306	2	0,294653	0,98	0,3920
AC	0,304306	2	0,152153	0,50	0,6105
BC	0,140625	1	0,140625	0,47	0,5017
ABC	0,87875	2	0,439375	1,46	0,2544
RESIDUOS	6,63208	22	0,301458		
TOTAL (CORREGIDO)	9,46687	35			

De acuerdo al análisis de varianza de la tabla 23 para la variable Ceniza, no se identificó ninguna diferencia significativa.

Tabla 25

Análisis de varianza para la variable Fibra.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
A:Variedad	448,315	2	224,157	10,05	0,0008*
B:Parte Vegetal.	76,6319	1	76,6319	3,44	0,0773
C:Hidroxido	6,18335	1	6,18335	0,28	0,6038
D:Repeticion	11,6139	2	5,80694	0,26	0,7731
AB	122,368	2	61,1839	2,74	0,0864
AC	0,959209	2	0,479604	0,02	0,9787
BC	6,67551	1	6,67551	0,30	0,5899
ABC	8,68481	2	4,34241	0,19	0,8245
RESIDUOS	490,75	22	22,3068		
TOTAL (CORREGIDO)	1172,18	35			

De acuerdo al análisis de varianza de la tabla 24 para la variable Fibra, se puede identificar diferencia significativa en: Factor A (Variedad). Por otro lado, en Factor B (Parte Vegetal), Factor C (Hidróxido), Interacción A*B (Variedad * Parte Vegetal), Interacción A*C (Variedad* Hidróxido), Interacción B*C (Parte Vegetal * Hidróxido) y la Interacción A*B*C (Variedad * Parte Vegetal * Hidróxido), no presentó diferencia significativa.

Tabla 26

Análisis de varianza para la variable Humedad.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
A:Variedad	1,84416	2	0,922078	1,86	0,1788
B:Parte Vegetal.	0,311736	1	0,311736	0,63	0,4358
C:Hidroxido	0,189225	1	0,189225	0,38	0,5427
D:Repeticion	0,895039	2	0,447519	0,90	0,4193
AB	1,43976	2	0,719878	1,45	0,2550
AC	0,5838	2	0,2919	0,59	0,5629
BC	0,103469	1	0,103469	0,21	0,6519
ABC	0,692289	2	0,346144	0,70	0,5075
RESIDUOS	10,8856	22	0,494798		
TOTAL (CORREGIDO)	16,945	35			

De acuerdo al análisis de varianza de la tabla 25 para la variable Humedad, no se identificó ninguna diferencia significativa.

Tabla 27

Análisis de varianza para la variable pH.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
A:Variedad	11,233	2	5,61652	78,39	0,0000*
B:Parte Vegetal.	1,94602	1	1,94602	27,16	0,0000*
C:Hidroxido	0,382336	1	0,382336	5,34	0,0306*
D:Repeticion	0,0132389	2	0,0066194	0,09	0,9121
AB	1,31112	2	0,655558	9,15	0,0013*
AC	0,225706	2	0,112853	1,58	0,2294
BC	0,003025	1	0,003025	0,04	0,8391
ABC	0,190317	2	0,0951583	1,33	0,2854
RESIDUOS	1,57623	22	0,0716467		
TOTAL (CORREGIDO)	16,881	35			

De acuerdo al análisis de varianza de la tabla 26 para la variable pH, se identificó diferencia significativa para: Factor A (Variedad), Factor B (Parte Vegetal), Factor C (Hidróxido), Interacción A*B (Variedad * Parte Vergeta). Por otro lado, en Interacción A*C (Variedad* Hidróxido), Interacción B*C (Parte Vegetal * Hidróxido) y la Interacción A*B*C (Variedad * Parte Vegetal * Hidróxido), no presentó diferencia significativa.

Análisis de varianza para las variables ópticas.

Tabla 28

Análisis de varianza para la variable Color.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
A:Variedad	1,10167	2	0,550833	24,99	0,0000*
B:Parte Vegetal.	0,36	1	0,36	16,33	0,0005*
C:Hidróxido	0,321111	1	0,321111	14,57	0,0009*
D:Repetición	0,015	2	0,0075	0,34	0,7153
AB	1,36167	2	0,680833	30,88	0,0000*
AC	0,127222	2	0,0636111	2,89	0,0771
BC	0,187778	1	0,187778	8,52	0,0080*
ABC	0,680556	2	0,340278	15,44	0,0001*
RESIDUOS	0,485	22	0,0220455		
TOTAL (CORREGIDO)	16,881	35			

De acuerdo al análisis de varianza de la tabla 27 para la variable Color, se identificó diferencia significativa para: Factor A (Variedad), Factor B (Parte Vegetal), Factor C (Hidróxido), Interacción A*B (Variedad * Parte Vegetal), Interacción B*C (Parte Vegetal * Hidróxido) y la Interacción A*B*C (Variedad * Parte Vegetal * Hidróxido). Mientras que en: Interacción A*C (Variedad* Hidróxido), no presentó diferencia significativa.

Tabla 29

Análisis de varianza para la variable Textura.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
A:Variedad	0,472467	2	0,236233	6,48	0,0061*
B:Parte Vegetal.	23,4902	1	23,4902	644,26	0,0000*
C:Hidroxido	0,0641778	1	0,0641778	1,76	0,1982
D:Repeticion	0,0354667	2	0,0177333	0,49	0,6213
AB	1,07936	2	0,539678	14,80	0,0001*
AC	0,0580222	2	0,0290111	0,80	0,4638
BC	0,0484	1	0,0484	1,33	0,2616
ABC	0,0018	2	0,0009	0,02	0,9756
RESIDUOS	0,802133	22	0,0364606		
TOTAL (CORREGIDO)	26,052	35			

De acuerdo al análisis de varianza de la tabla 28 para la variable Textura, se identificó diferencia significativa para: Factor A (Variedad), Factor B (Parte Vegetal), Factor C (Hidróxido), Interacción A*B (Variedad * Parte Vegetal), Interacción B*C (Parte Vegetal * Hidróxido) y la Interacción A*B*C (Variedad * Parte Vegetal * Hidróxido). Mientras que en: Interacción A*C (Variedad* Hidróxido), no presentó diferencia significativa.

Resultados del estudio de las variedades (Factor A)

Tabla 30

Resultados del Análisis Tukey ($P>0,05$) para el Factor A de las variables físicas.

	Factor A	Calibre	Densidad A.	Gramaje	Rendimiento	Resistencia
V1	C. Brava	0,53+/- 0,16(A)	0,77+/-0,13(A)	246,26+/-20,33(A)	30,87+/-2,97 (A)	4,77+/-1,25(A)
V2	C. Bicolor	0,65+/-0,16(A)	0,75+/-0,13(A)	272,65+/-20,337(B)	33,95+/-2,97 (B)	5,34+/-1,25(A)
V3	C. Mansa	0,8+/-0,16(B)	0,65+/-0,13(A)	343,55+/-20,337(C)	43,55+/-2,97 (C)	5,49+/-1,25(A)

Tabla 31

Resultados del Análisis Tukey ($P>0,05$) para el Factor A de las variables químicas.

Factor A	Ceniza	Fibra	Humedad	pH
C. Brava	1,27+/-0,56(A)	81,72+/-4,84(B)	3,03+/-0,72(A)	5,21+/-0,27(A)
C. Bicolor	1,32+/-0,56(A)	76,69+/-4,84(A)	3,23+/-0,72(A)	5,29+/-0,27(A)
C. Mansa	1,47+/-0,56(A)	73,12+/-4,84(A)	3,57+/-0,72(A)	6,43+/-0,27(B)

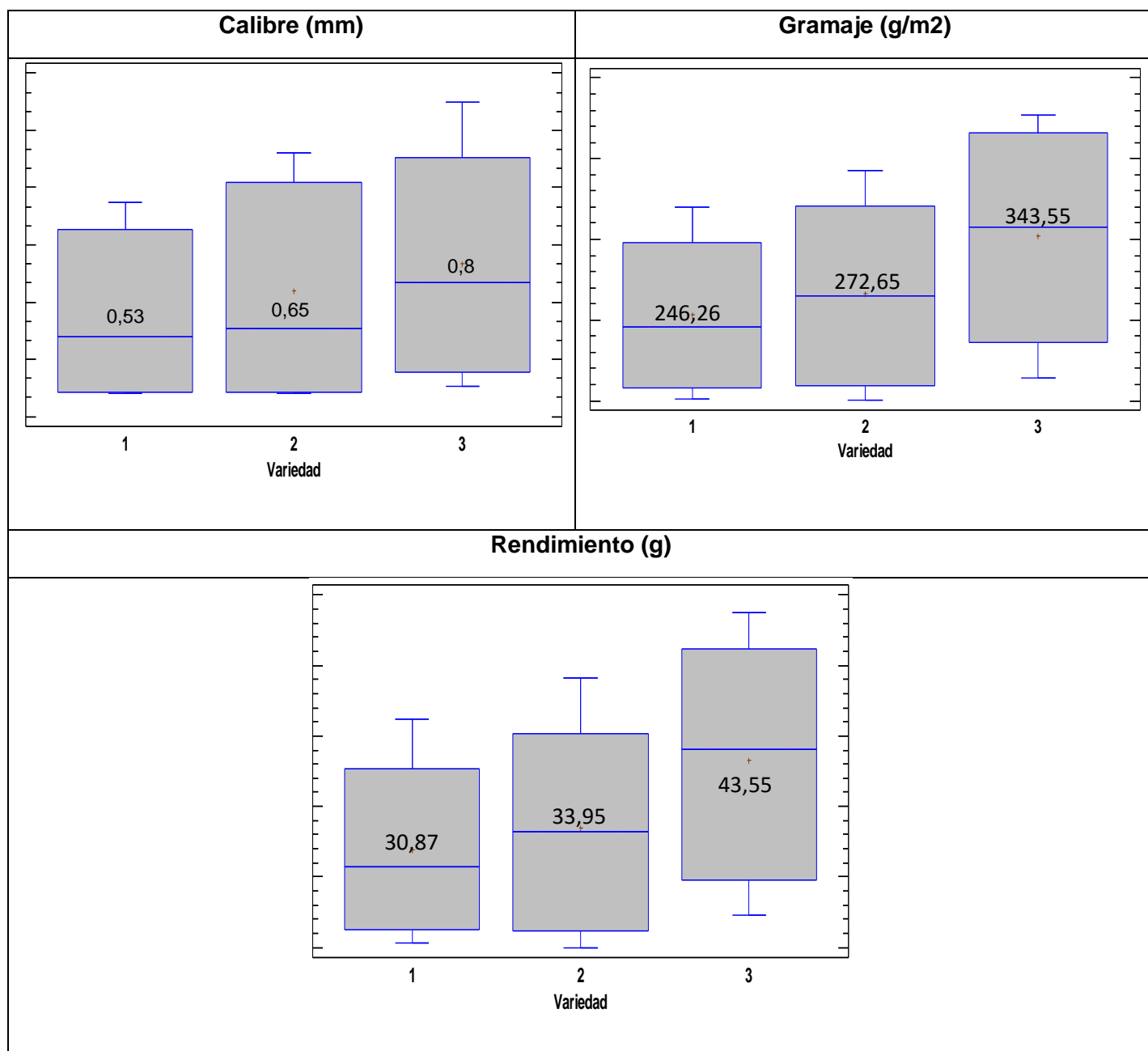
Tabla 32

Resultados del Análisis Tukey ($P>0,05$) para el Factor A de las variables ópticas.

	Factor A	Color	Textura
V1	C. Brava	4,50+/-0,15(A)	4,69+/-0,19(A)
V2	C. Bicolor	4,59+/-0,15(A)	4,70+/-0,19(A)
V3	C. Mansa	4,90+/-0,15(A)	4,94+/-0,19(B)

Figura 4

Efecto del estudio de tres variedades de caña guadua (Factor A), sobre las variables físicas (parte 1).



Nota: 1 = C. Brava, 2 = C. Bicolor, 3 = C. Mansa

La figura 3 muestra los resultados conseguidos de las variables físicas que lograron obtener diferencia significativa en el proceso de extracción de celulosa respecto al Factor A.

Respecto al Calibre se encontraron dos grupos independientes donde el valor más alto pertenece al grupo B, con una media de 0,8 mm para la Caña Mansa, mientras que el grupo A se encuentra la Caña Bicolor 0,65 mm por último, con el valor más bajo de 0,53 mm, la Caña Brava.

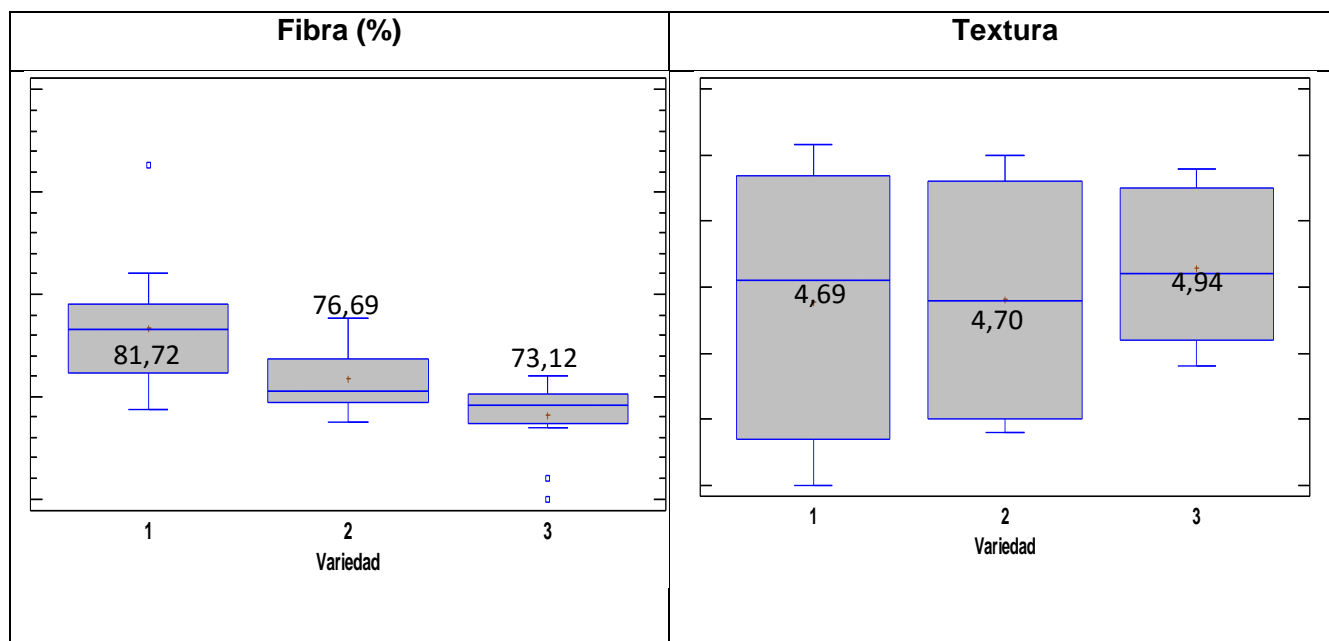
Para el Gramaje se identificaron 3 grupos completamente independientes, donde el valor más alto fue para el grupo C al que pertenece la Caña Mansa $343,55 \text{ g/m}^2$, seguido por el grupo B al que pertenece Caña Bicolor con $272,65 \text{ g/m}^2$ y, por último, el grupo A, que está conformado por la Caña Brava con $246,26 \text{ g/m}^2$.

Respecto al Rendimiento, se identificaron 3 grupos completamente independientes, donde el valor más alto fue para el grupo C al que pertenece la Caña Mansa con 43,55 %, seguido por el grupo B al que pertenece Caña Bicolor con 33,95 % y, por último, el grupo A conformado por la Caña Brava con 30,87 %.

Para la Densidad Aparente y Resistencia con respecto al Factor A no se encontraron diferencias significativas entre las tres variedades de caña guadua.

Figura 5

Efecto del estudio de tres variedades de caña guadua (Factor A) sobre las variables químicas y ópticas



Nota: 1 = C. Brava, 2 = C. Bicolor, 3 = C. Mansa

La figura 4 muestra los resultados conseguidos de las variables químicas que lograron obtener diferencia significativa en el proceso de extracción de celulosa respecto al Factor A.

Para la Fibra se identificaron 2 grupos completamente independientes, donde el valor más alto fue para el grupo B al que pertenece Caña Brava con 81,72 %, seguido por el grupo A al que pertenece Caña Bicolor 76,69 y con el porcentaje más bajo esta la Caña Mansa con 73,12 %.

Resultados del estudio de las partes vegetales (factor B)

Tabla 33

Resultados del Análisis Tukey ($P>0,05$) para el Factor B de las variables físicas.

Factor B	Calibre	Densidad A.	Gramaje	Rendimiento	Resistencia
Hojas	0,17+/- 0,108(A)	1,10+/-0,087(B)	177,95+/-13,70(A)	22,22+/-2,00(A)	3,27+/-0,84(A)
Tallos	1,16+/-0,108(B)	0,35+/-0,087(A)	397,02+/-13,70(B)	50,02+/-2,00(B)	7,13+/-0,84(B)

Tabla 34

Resultados del Análisis Tukey ($P>0,05$) para el Factor B de las variables químicas.

Factor B	Ceniza	Fibra	Humedad	pH
Hojas	1,30+/-0,37(A)	75,72+/-3,26(A)	3,18+/-0,48(A)	5,42+/-0,185(A)
Tallos	1,40+/-0,37(A)	78,63+/-3,26(A)	3,37+/-0,48(A)	5,88+/-0,185(B)

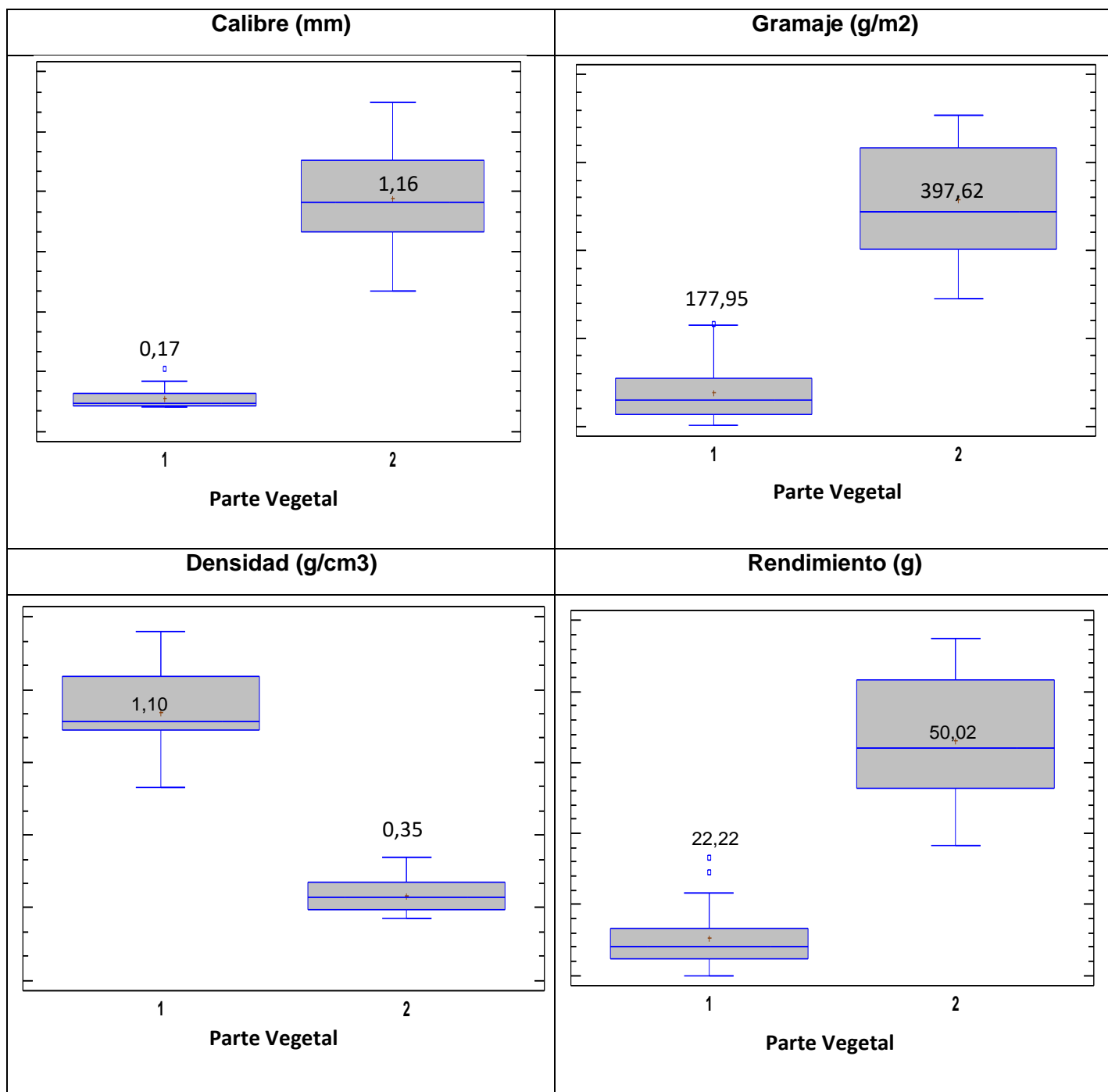
Tabla 35

Resultados del Análisis Tukey ($P>0,05$) para el Factor B de las variables ópticas.

Factor B	Color	Textura
Hoja	4,57+/-0,10(A)	5,58+/-0,13(B)
Tallo	4,77+/-0,10(B)	3,97+/-0,13(A)

Figura 6

Efecto del estudio de tres variedades de caña guadua (Factor B) sobre las variables físicas.



Nota: 1 = Hojas, 2 = Tallos

La figura 5 muestra los resultados conseguidos de las variables física que lograron obtener diferencia significativa en el proceso de extracción de celulosa respecto al Factor B.

Respecto al Calibre se encontraron dos grupos completamente independientes donde el valor más alto pertenece al Grupo B conformado por los tallos con una media de 1,16 mm, seguido del grupo A en el que se encuentran las hojas con 0,17 mm.

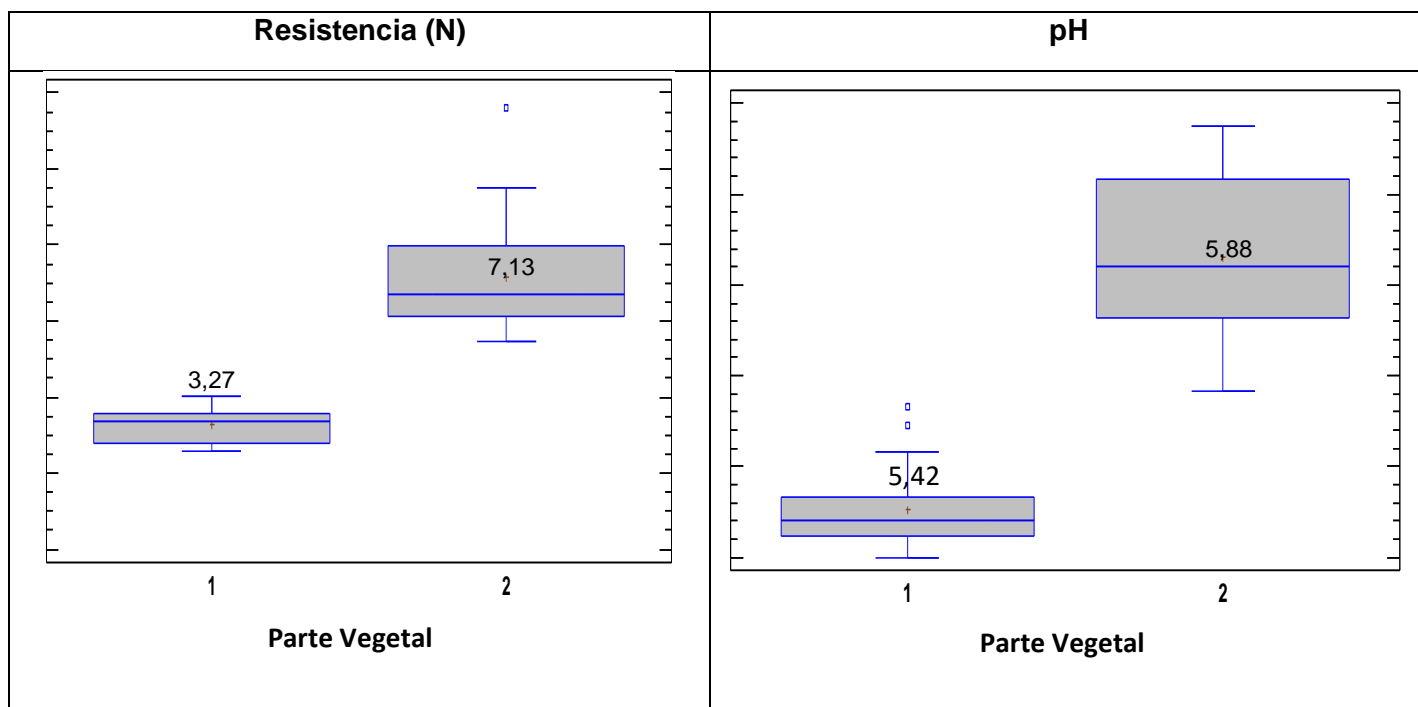
Para el Gramaje se encontraron dos grupos independientes donde el valor más alto pertenece al Grupo B el cual está conformado por los tallos con una media de 397,02 g/m², seguido del grupo A en el que se encuentran las hojas con 177,95 g/m².

Respecto a la Densidad Aparente se encontraron dos grupos completamente independientes donde el valor más alto pertenece al Grupo B, el cual está conformado por las hojas con una media de 1,107 g/m³, seguido del grupo A en el que se encuentran los tallos con 0,350 g/m³

En el Rendimiento se encontraron dos grupos completamente independientes, donde el valor más alto pertenece al Grupo B el cual está conformado por los tallos con una media de 50,02 g seguido del grupo A en el que se encuentran las hojas con una media de 22,22 g.

Figura 7

Efecto del estudio de las hojas y el tallo (Factor B) sobre las variables físicas y químicas del papel.



Nota: 1 = Hojas, 2 = Tallos

La figura 6 muestra los resultados conseguidos de las variables físicas y químicas que lograron obtener diferencia significativa en el proceso de extracción de celulosa respecto al Factor B.

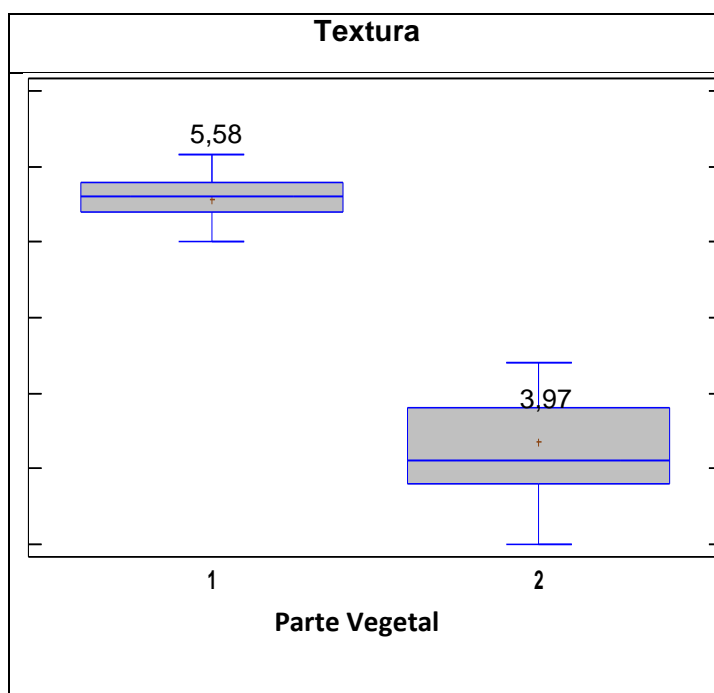
En la Resistencia al Rasgado se encontraron dos grupos completamente independientes, donde el valor más alto pertenece al Grupo B el cual está conformado por los tallos con una media de 7,13 N, seguido del grupo A en el que se encuentran las hojas con una media 3,27 N.

Respecto al pH se encontraron dos grupos completamente independientes, donde el valor más alto pertenece al Grupo B el cual está

conformado por los tallos con una media de 5,88, seguido del grupo A en el que se encuentra las hojas con una media de 5,42. Para Ceniza, Fibra y Humedad con respecto al Factor B, no se encontraron diferencias significativas entre las tres variedades de Caña guadua.

Figura 8

Efecto del estudio de las hojas y el tallo (Factor B) sobre las variables ópticas del papel.



Nota: 1 = Hojas, 2 = Tallos

La figura 7 muestra los resultados conseguidos de las variables ópticas que lograron obtener diferencia significativa en el proceso de extracción de celulosa respecto al Factor B.

En la Textura se encontraron dos grupos completamente independientes, donde el valor más alto pertenece al Grupo B conformado por las hojas con una media de 5,58, seguido del grupo A en el que se encuentra las hojas con una media 3,97.

Resultados del estudio de las concentraciones de Hidróxido de sodio

(Factor C)

Tabla 36

Resultados del Análisis Tukey ($P>0,05$) para el Factor C de las variables físicas.

Factor C	Calibre	Densidad A.	Gramaje	Rendimiento	Resistencia
0,3 M	0,68+/-1,11(A)	0,76+/-0,09(A)	288,72+/-13,70(A)	37,63+/-2,00(B)	5,07+/-0,84(A)
0,5 M	0,65+/- 0,11(A)	0,69+/-0,09(A)	286,26+/-13,70 (A)	34,61+/-2,00(A)	5,35+/-0,84(A)

Tabla 37

Resultados del Análisis Tukey ($P>0,05$) para el Factor C de las variables

Químicas.

Factor C	Ceniza	Fibra	Humedad	pH
0,3 M	1,32+/-0,38(A)	76,76+/-3,26(A)	3,21+/-0,48(A)	5,55+/-0,19(A)
0,5 M	1,39+/-0,38(A)	77,59+/-3,26(A)	3,35+/-0,48(A)	5,75+/-0,19(B)

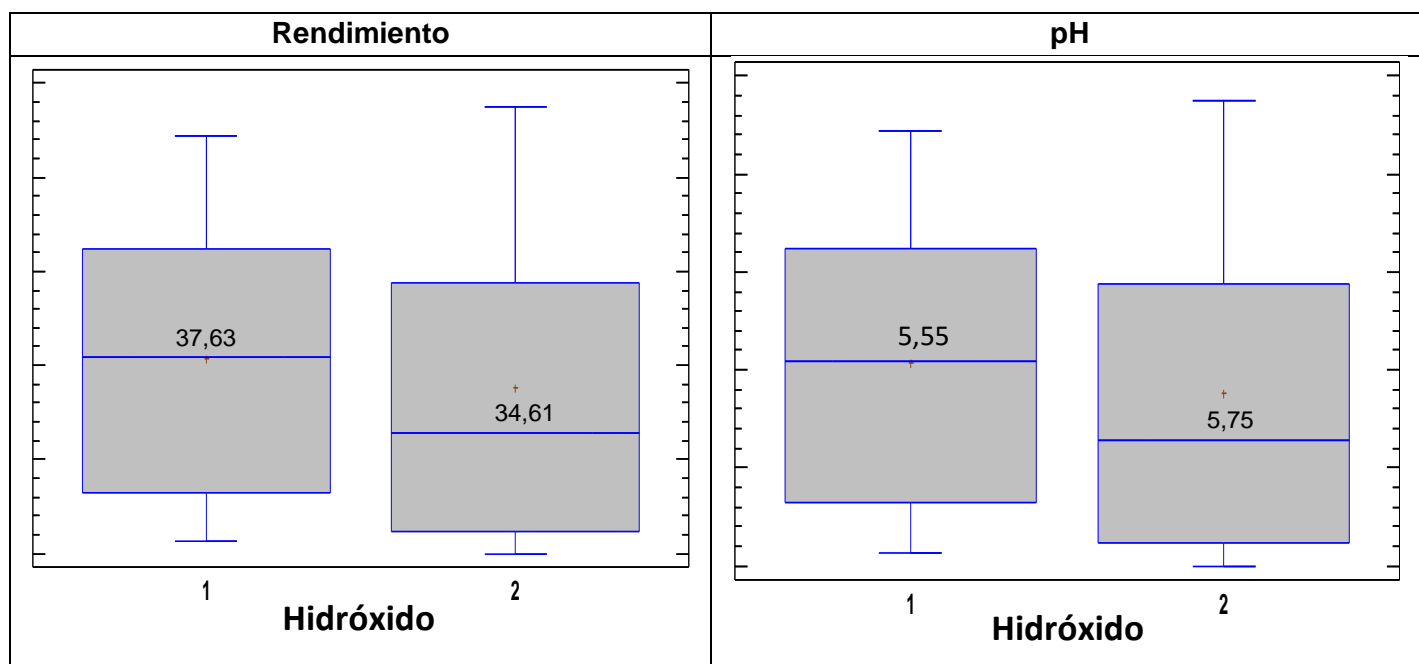
Tabla 38

Resultados del Análisis Tukey ($P>0,05$) para el Factor C de las variables ópticas.

Factor C	Color	Textura
0,3 M	4,57+/-0,1(A)	4,74+/-0,13(A)
0,5 M	4,76+/-0,1(A)	4,82+/-0,13(A)

Figura 9

Efecto del estudio de las concentraciones de hidróxido (Factor C) sobre las variables físicas y ópticas del papel.



Nota: 1 = 0,3 M, 2 = 0,5 M.

La figura 8 muestra los resultados conseguidos de las variables físicas y ópticas que lograron obtener diferencia significativa en proceso de extracción de celulosa respecto al Factor B.

En el Rendimiento se encontraron dos grupos independientes, donde el valor más alto pertenece al Grupo B el cual está conformado por 0,3 M de hidróxido con una media de 37,63 %, seguido del grupo A en el que se encuentra 0,5 M de hidróxido con una media 34,61 %.

Con respecto al pH se encontraron dos grupos independientes, donde el valor más alto pertenece al Grupo B el cual está conformado por 0,5 M de hidróxido con una media de 5,75, seguido del grupo A en el que se encuentra

0,3 M de hidróxido con una media 5,55. Respecto al Calibre, Densidad A., Gramaje, Resistencia, Ceniza, Fibra, Humedad, no se encontraron diferencias significativas.

Resultados de la Interacción A*B*C

Tabla 39

*Resultados del Análisis Tukey ($P>0,05$), para la Interacción A*B*C de las variables físicas.*

Factor A	Factor B	Factor C	Calibre	Densidad A.	Gramaje	Rendimiento	Resistencia
C. Brava	Hojas	0,3 M	0,12 (A)	1,27 (B)	157,78(A)	19,40(A)	3,02(A)
C. Brava	Hojas	0,5 M	0,14 (A)	1,11 (B)	157,25(A)	18,02(A)	3,20(A)
C. Brava	Tallo	0,3 M	0,96 (B)	0,37 (A)	353,05(BC)	44,67(BC)	7,59(B)
C. Brava	Tallo	0,5 M	0,93 (B)	0,35 (A)	316,92(BC)	39,86(D)	8,18(B)
C. Bicolor	Hojas	0,3 M	0,13 (A)	1,28 (B)	178,32(A)	22,14(A)	3,72(ACD)
C. Bicolor	Hojas	0,5 M	0,13 (A)	1,07 (B)	146,38 (A)	18,03(A)	3,48(AC)
C. Bicolor	Tallo	0,3 M	1,22 (BC)	0,32 (A)	386,16(B)	49,3(C)	6,88(BCD)
C. Bicolor	Tallo	0,5 M	1,14 (BC)	0,35 (A)	379,75(B)	46,34 (BC)	7,30(BC)
C. Mansa	Hojas	0,3 M	0,17 (A)	0,98 (B)	244,38(A)	31,25 (DE)	3,16(A)
C. Mansa	Hojas	0,5 M	0,27 (A)	0,91 (B)	183,58(A)	23(A)	3,08(A)
C. Mansa	Tallo	0,3 M	1,43 (C)	0,34 (A)	473,40(D)	59,01(F)	6,03 (ABCD)
C. Mansa	Tallo	0,5 M	1,31 (BC)	0,36 (A)	472,85(D)	60,92(F)	6,84(BCD)

Tabla 40

*Resultados del Análisis Tukey ($P>0,05$), para la Interacción A*B*C de las variables químicas.*

Factor A	Factor B	Factor C	Ceniza	Fibra	Humedad	pH
C. Brava	Hojas	0,3 M	1,54(A)	76,93 (A)	3,11 (A)	5,08 (AB)
C. Brava	Hojas	0,5 M	1,27(A)	80,40 (A)	3,71 (A)	5,59 (BDE)
C. Brava	Tallo	0,3 M	1,10(A)	85,30 (A)	2,64 (A)	4,94 (AB)
C. Brava	Tallo	0,5 M	1,96(A)	84,26 (A)	2,67 (A)	5,26 (AB)
C. Bicolor	Hojas	0,3 M	1,30(A)	73,96 (A)	3,79 (A)	5,64 (BDE)
C. Bicolor	Hojas	0,5 M	1,23(A)	74,53 (A)	3,28 (A)	5,94 (CDE)
C. Bicolor	Tallo	0,3 M	1,40(A)	79,00 (A)	3,58 (A)	4,78 (A)
C. Bicolor	Tallo	0,5 M	1,17(A)	79,26 (A)	3,67 (A)	4,79 (A)
C. Mansa	Hojas	0,3 M	1,47(A)	74,76 (A)	3,17 (A)	6,59 (C)
C. Mansa	Hojas	0,5 M	1,63(A)	73,73 (A)	3,17 (A)	6,44 (C)
C. Mansa	Tallo	0,3 M	1,12(A)	71,66 (A)	2,97 (A)	6,24 (CE)
C. Mansa	Tallo	0,5 M	1,07(A)	72,33 (A)	3,61 (A)	6,47 (C)

Tabla 41

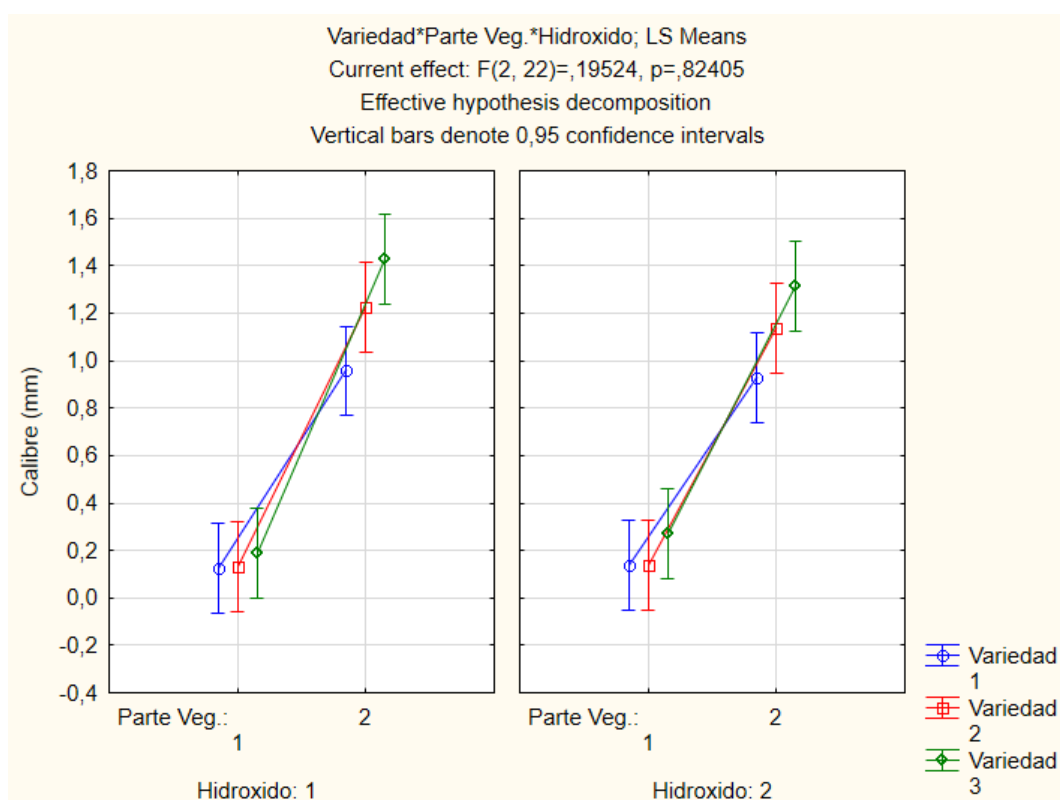
*Resultados del Análisis Tukey ($P>0,05$), para la Interacción A*B*C de las variables Ópticas.*

Factor A	Factor B	Factor C	Color	Textura
C. Brava	Hojas	0,3 M	4,80 A	5,66 (A)
C. Brava	Hojas	0,5 M	5,60 C	5,70 (A)
C. Brava	Tallo	0,3 M	4,66 AC	3,73 (B)
C. Brava	Tallo	0,5 M	4,56 ABC	3,66 (B)
C. Bicolor	Hojas	0,3 M	4,20 B	5,43 (A)
C. Bicolor	Hojas	0,5 M	4,47 ABC	3,80 (BC)
C. Bicolor	Tallo	0,3 M	4,73 A	3,90 (BC)
C. Bicolor	Tallo	0,5 M	4,60 ABC	5,70 (A)
C. Mansa	Hojas	0,3 M	4,80 A	5,43 (A)
C. Mansa	Hojas	0,5 M	4,73 A	5,60 (A)
C. Mansa	Tallo	0,3 M	4,23 BC	4,36 (C)
C. Mansa	Tallo	0,5 M	4,60 ABC	4,36 (C)

Interacciones significativas en el estudio del proceso de extracción de celulosa.

Figura 10

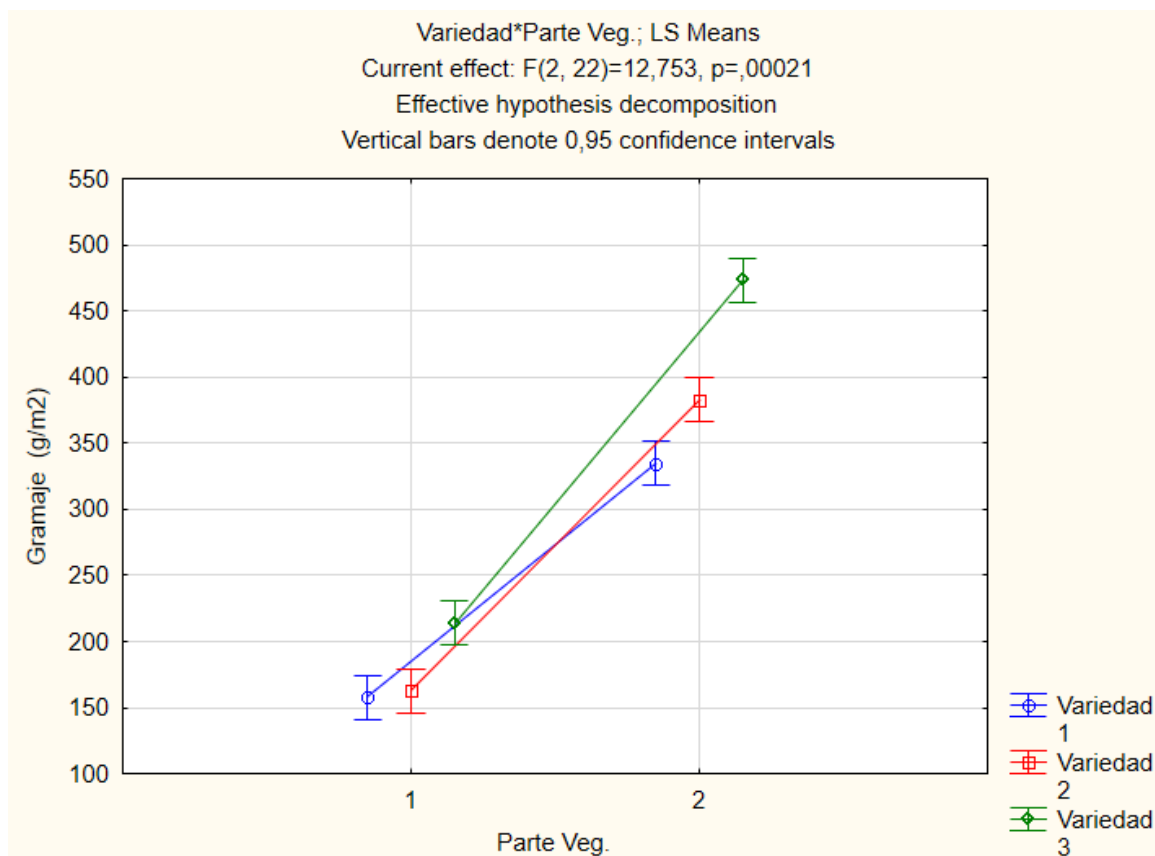
*Interacción A*B*C para la variable Calibre*



En la figura 9 se muestra la interacción A*B*C (Variedad * Parte vegetal * Hidróxido) para el Calibre, donde se identificó que el grupo C con mayor calibre pertenece al tratamiento T6 (C. Mansa * Tallo * 0,3 M) el cual obtiene una media de 1,43 mm. Por otro lado, el grupo A posee menor calibre al que pertenece T1 (C. Brava * Hoja * 0,3 M) con una media de 0,12 mm.

Figura 11

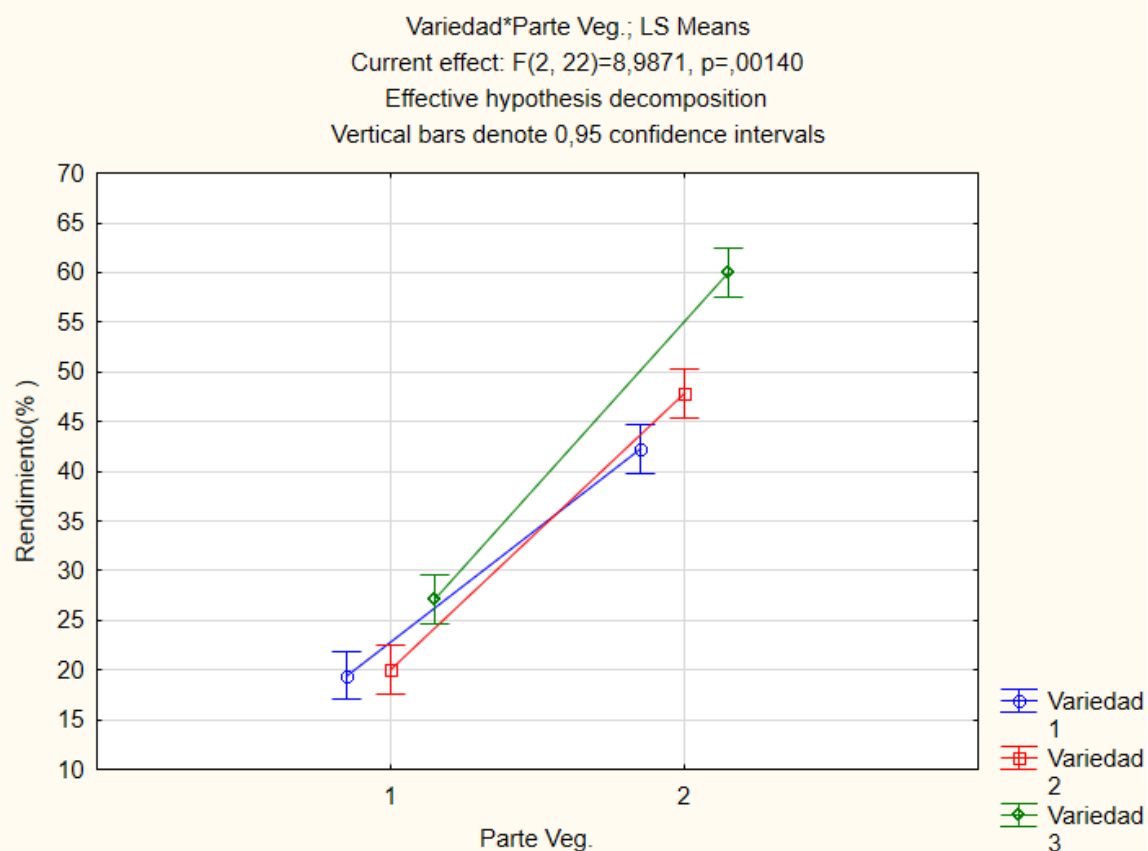
*Interacción A*B para la variable Gramaje.*



En la figura 10 se muestra la interacción A*B (Variedad* Parte vegetal) para el Gramaje, donde se visualizan claramente las diferencias de los tratamientos en que se utilizó como materia prima las hojas, respecto de los tratamientos que utilizaron tallos, en donde el mayor gramaje pertenece a la interacción (C. Mansa * Tallo), el cual obtiene una media de 473,13 g/m², mientras el menor gramaje se obtiene en la interacción (C. Brava * Hoja) con una media de 157,52 g/m².

Figura 12

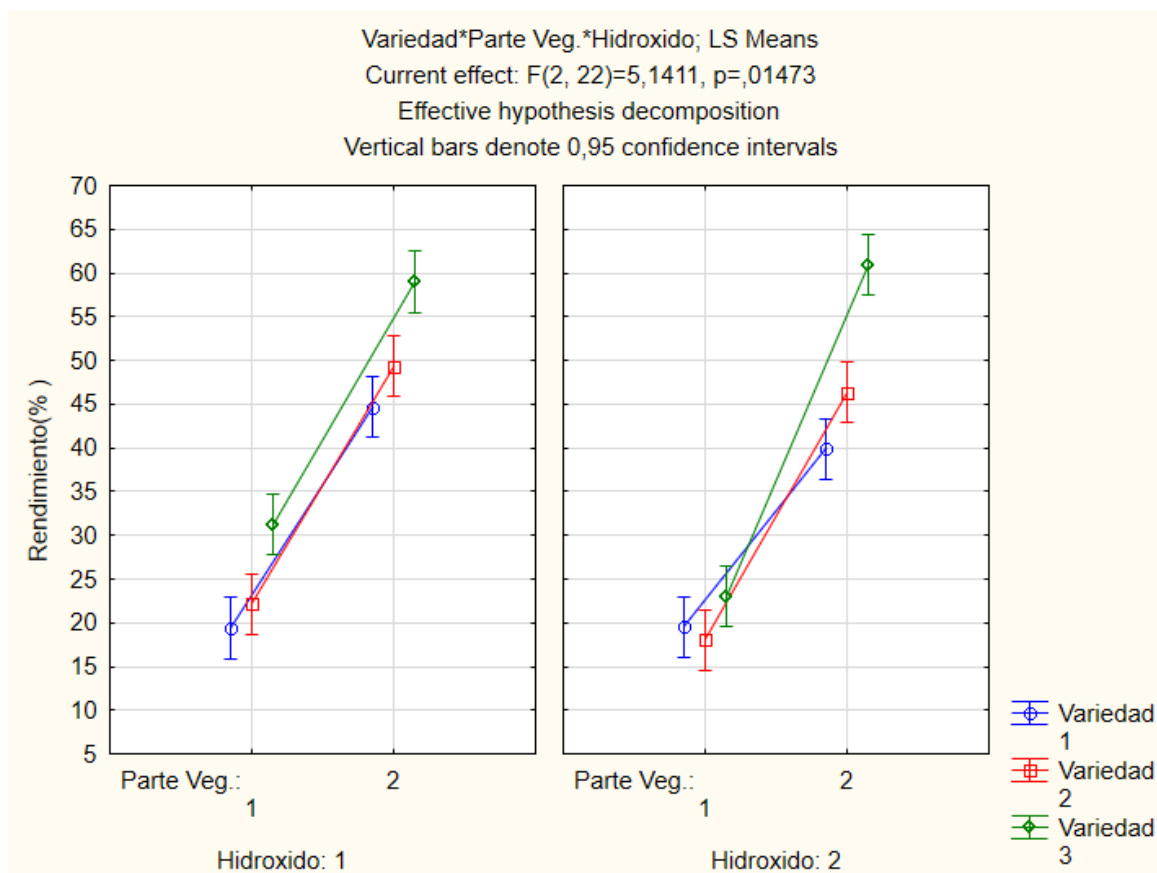
*Interacción A*B para la variable Rendimiento.*



En la figura 11 se muestra la interacción A*B (Variedad* Parte vegetal) para el Rendimiento, donde se visualizan claramente las diferencias de los tratamientos en que se utilizó como materia prima las hojas, respecto de los tratamientos que utilizaron tallos, en donde el mayor rendimiento pertenece al grupo E donde se encuentra la interacción (C. Mansa * Tallo), el cual obtiene una media de 59,97 %, mientras que el menor rendimiento se encuentra en el grupo A donde pertenece a la interacción (C. Brava * Hoja) con una media de 19,46 %.

Figura 13

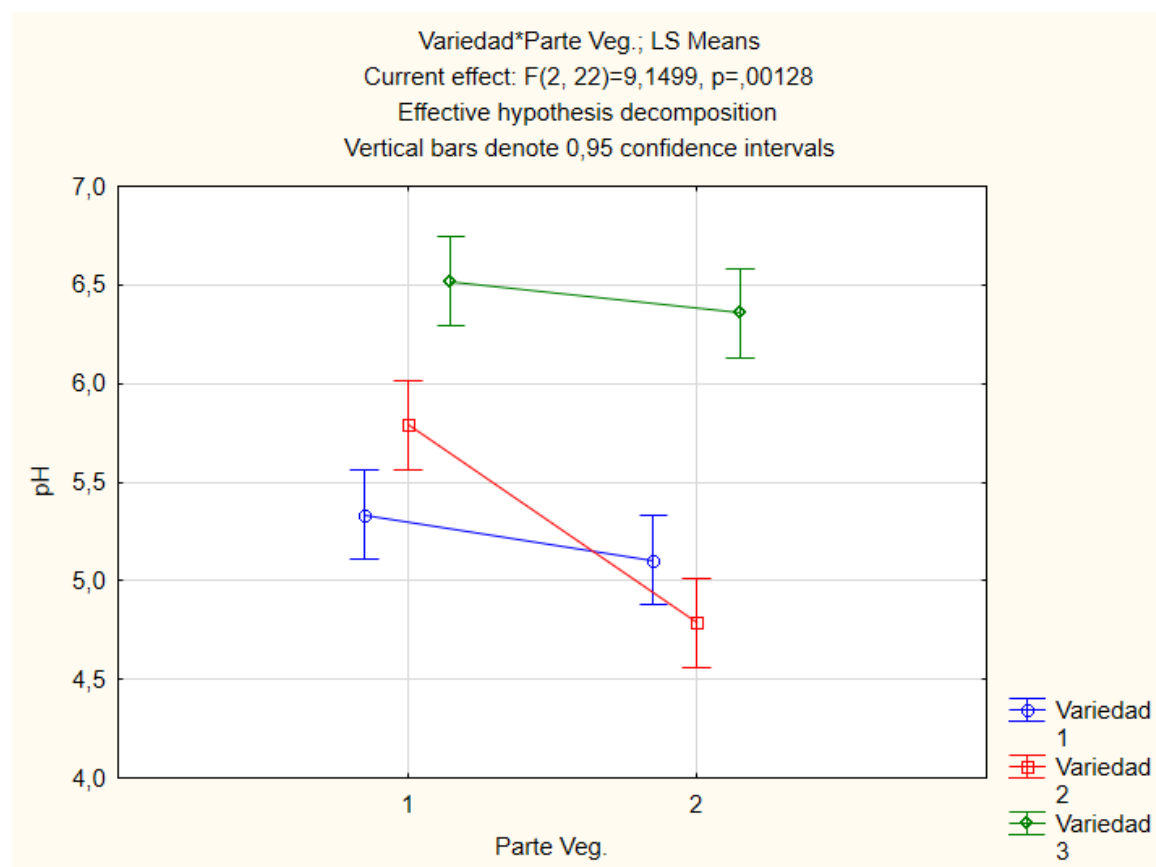
*Interacción A*B*C para la variable Rendimiento.*



En la figura 12 se muestra la interacción A*B*C (Variedad * Parte vegetal * Hidróxido de Sodio) para el Rendimiento, donde se identificó que las mejores interacciones se dan en el grupo F, al que pertenecen el T6 (C. Mansa * Tallo * 0,3 M) con una media de 59,01% y T12 (C. Mansa * Tallo * 0,5 M) con una media de 60,92 %, mientras que el grupo A, de menor rendimiento, se obtiene del tratamiento T7 (C. Brava * Hoja * 0,5 M) con una media de 18,02 %.

Figura 14

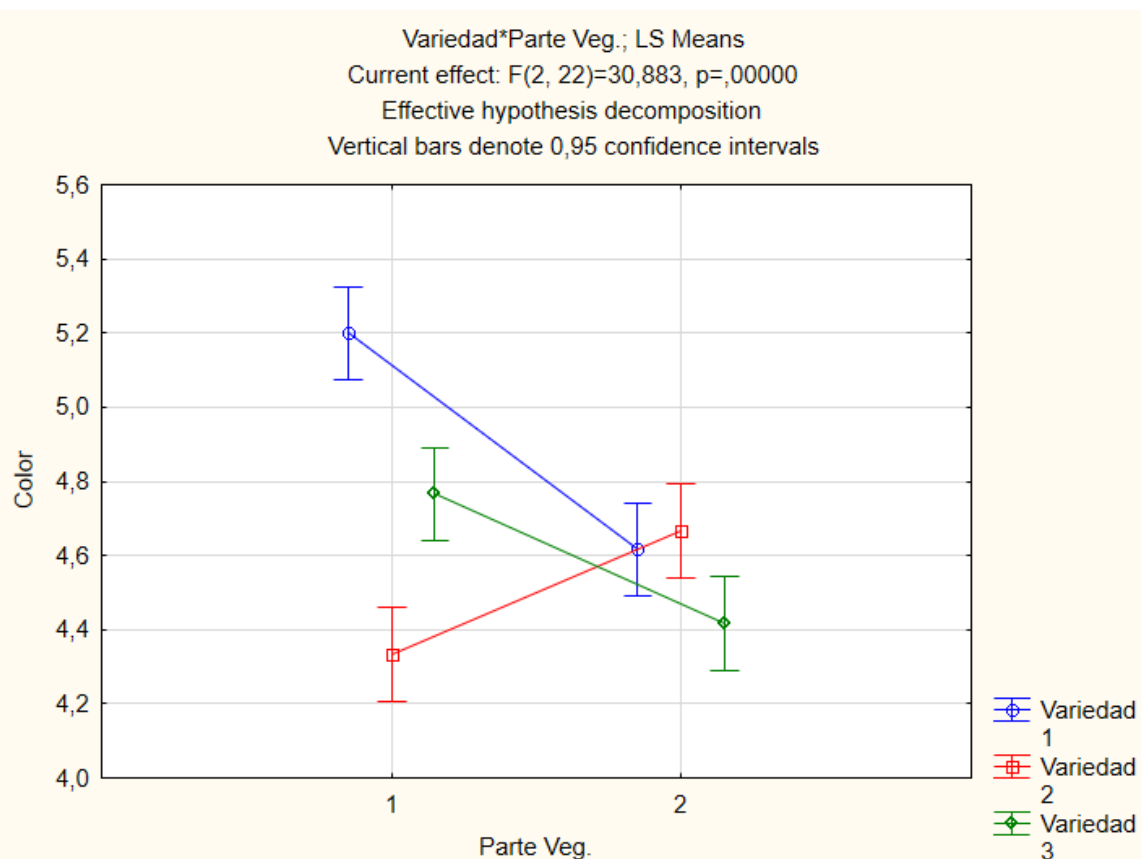
*Interacción A*B para la variable pH.*



En la figura 13 se muestra la interacción A*B (Variedad * Parte vegetal) para el pH, donde se visualizan claramente las diferencias de los tratamientos en que se utilizó como materia prima las hojas respecto de los tratamientos que utilizaron tallos, en donde el mayor valor para pH pertenece al grupo D donde se encuentra la interacción (C. Mansa * Hoja) con una media de 6,51 y (C. Mansa * Tallo) con una media de 6,35, mientras que el menor pH encuentra en el grupo A donde pertenece a la interacción (C. Bicolor * tallo) con una media de 4,78.

Figura 15

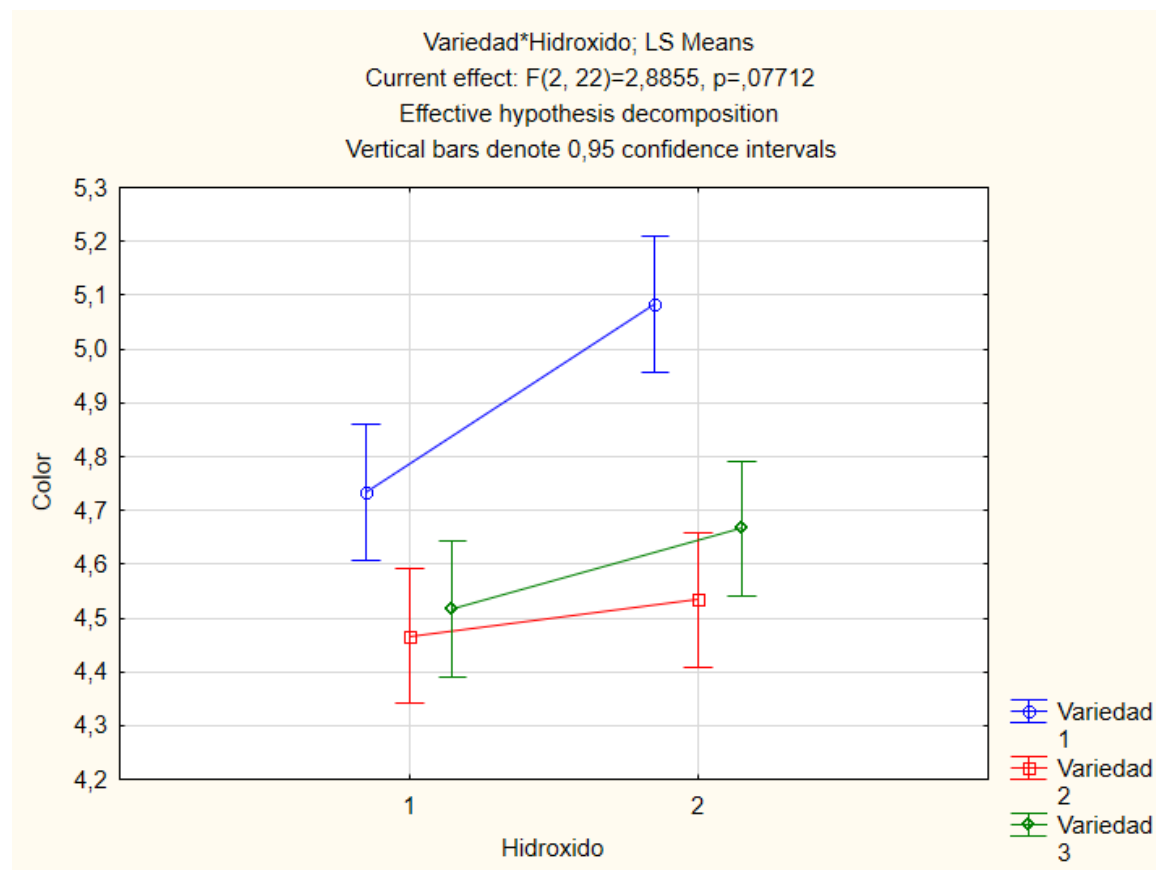
*Interacción A*B para la variable Color.*



En la figura 14 se muestra la interacción A*B (Variedad * Parte vegetal) para el color, donde se grafican claramente las diferencias de los tratamientos en que se utilizó como materia prima las hojas respecto de los tratamientos que utilizaron tallos, mostrando que el mayor valor en la escala de color pertenece al grupo C, donde se encuentra la interacción (C. Brava * Hoja) con una media de 5,20 (Beige perla), mientras que el menor valor en la escala de color se encuentra en el grupo A, al que pertenece la interacción (C. Bicolor * Hoja) con una media de 4,33 (Ligeramente Beige Perla).

Figura 16

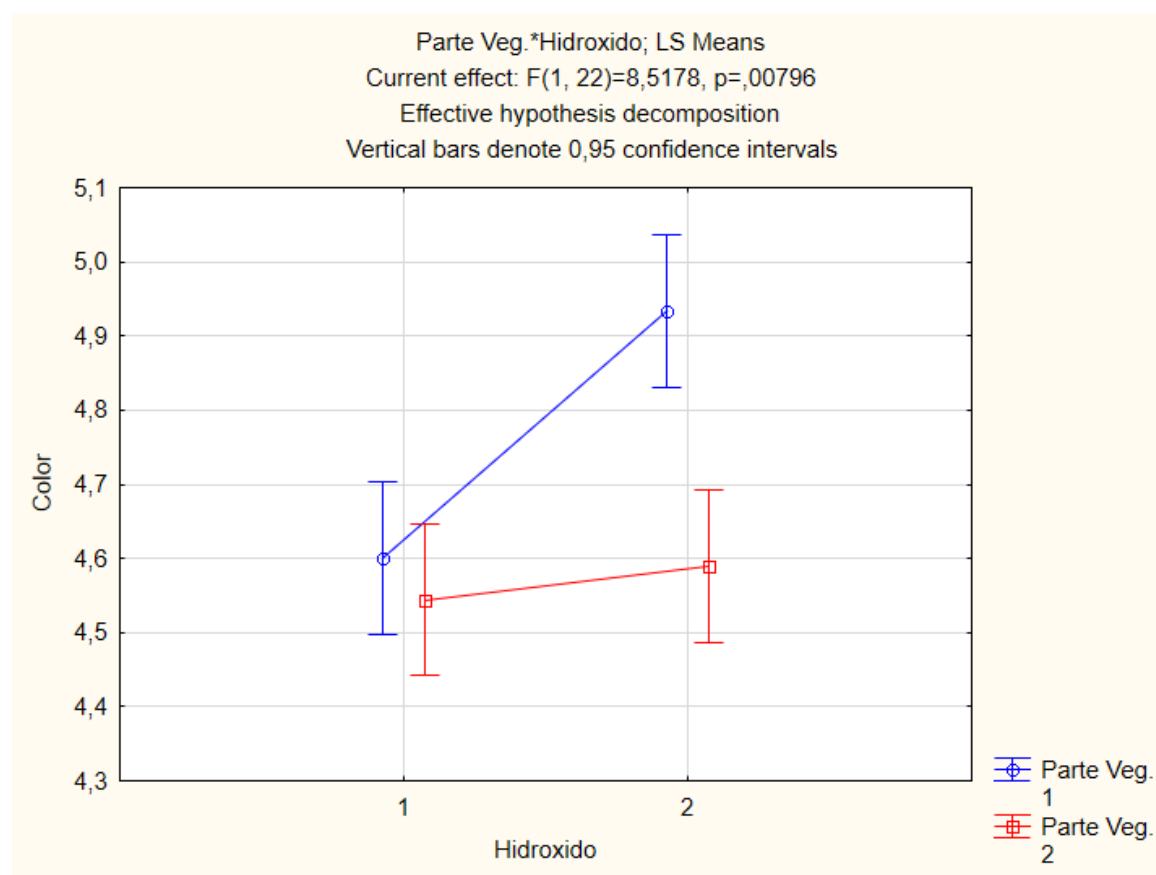
*Interacción A*C para la variable Color.*



En la figura 15 se muestra la interacción A*C (Variedad * Hidróxido) para el color, puesto que el mayor valor en la escala de color pertenece al grupo C, donde se encuentra la interacción (C. Brava * Hoja) con una media de 5,20 (Beige perla), mientras que el menor valor en la escala de color se encuentra en el grupo A, al que pertenece la interacción (C. Bicolor * Hoja) con una media de 4,46 (Ligeramente Beige Perla).

Figura 17

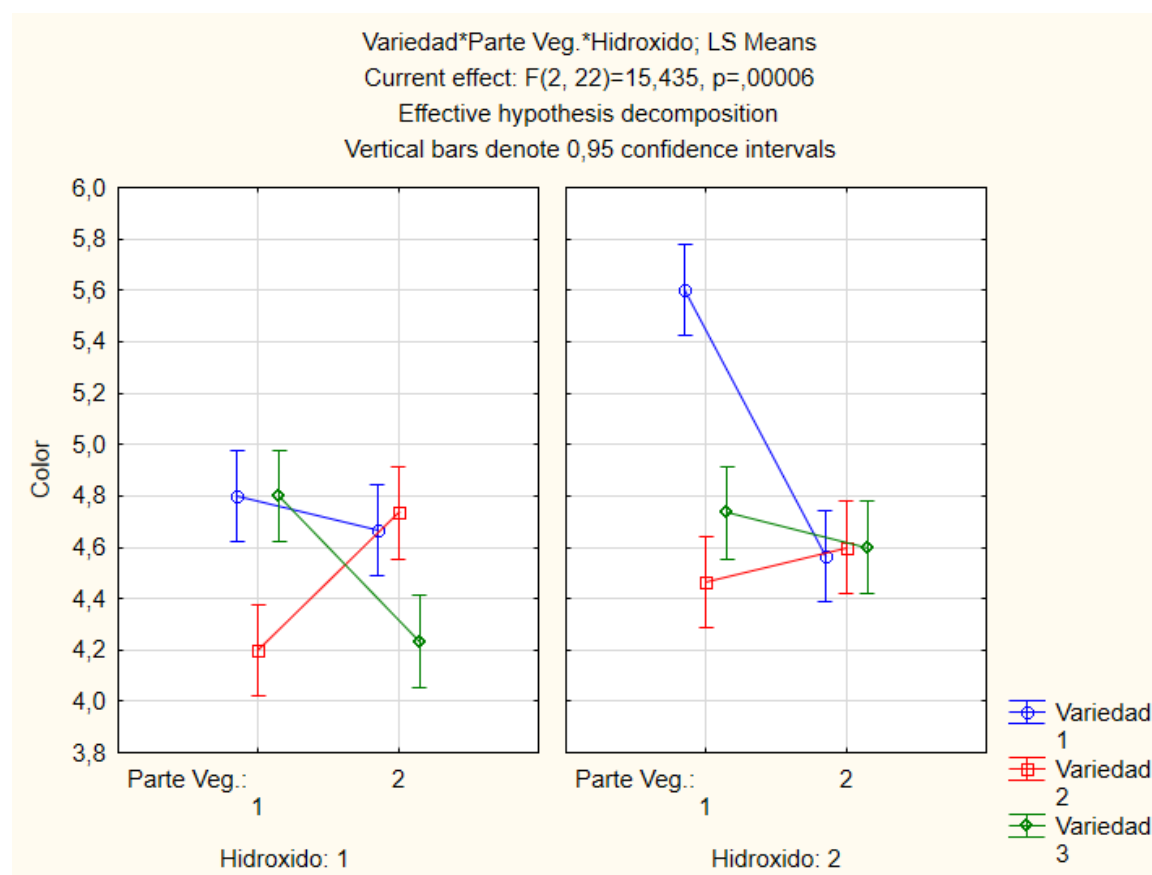
*Interacción B*C para la variable Color.*



En la figura 16 se muestra la interacción B*C (Parte Vegetal * Hidróxido de sodio) para el color, puesto que el mayor valor en la escala de color pertenece al grupo B, donde se encuentra la interacción (Hoja * 0,5M) con una media de 5,93 (Beige perla), mientras que el menor valor en la escala de color se encuentra en el grupo A, al que pertenece a la interacción (tallo * 0, 3M) con una media de 4,58 (Ligeramente Beige Perla).

Figura 18

Interacción A*B*C para la variable Color.



En la figura 17 se muestra la interacción A*B*C (Variedad * Parte vegetal * Concentración de hidróxido de sodio) para el color, puesto que el mayor valor en la escala de color pertenece al grupo C, donde se encuentra la mejor interacción (Caña Brava * Hoja * 0,5 M) con una media de 5,60 (Beige Perla), mientras que el menor valor en la escala de color se encuentra en el grupo A, al que pertenece a la interacción (Caña Bicolor * Tallo * 0,3 M) con una media de 4,20 (Ligeramente Beige Perla).

CAPITULO V

Discusión

Variedades (Factor A)

Respecto a las variedades (Caña Brava, Caña Bicolor) y un biotipo (Caña Mansa) de Caña Guadua, para la obtención de pulpa de celulosa con la finalidad de elaborar papel, de las cual cuales se evaluaron las propiedades físicas, química y ópticas.

Aguilar, Houbron & Rustrian (2014) describen al Calibre, también conocido como Espesor, como una distancia perpendicular entre las dos caras del papel; se expresa en milímetros (mm). Para la variable Calibre, el mayor valor alcanzado lo obtuvo la Caña Mansa con 0,8 mm, seguido de la Caña Bicolor 0,65 mm y, por último, la Caña Brava con 0,53 mm. De acuerdo a la norma INEN 2904 (2015), el valor mínimo del calibre para papel debe ser 0,06 mm, lo cual supera este requisito, pasando a ser considerada cartón compacto, de acuerdo a Rusketa (2020), donde señala que, a partir de a partir de 0,3 mm, este tipo de papel se considerará como cartón.

Para la variable Densidad Aparente, el mayor resultado se obtuvo por parte la Caña Brava con $0,77 \text{ g/m}^3$, seguido de la variedad Caña Bicolor $0,77 \text{ g/m}^3$ y, por último, el biotipo Caña Mansa con $0,65 \text{ g/m}^3$, concordando así con lo mencionado por IDIG (2012), que explica que algunas cifras normales de densidad aparente del papel van de 0.5 g/cm^3 hasta 0.75 g/cm^3 , lo que indica que contienen más del 50% de aire. Dicho autor también explica que uno de los

factores que puede influenciar directamente en la densidad del papel es el calandrado de la materia prima durante el secado, ya que permite compactar aún más la fibra. Al ser papel obtenido en laboratorio, de manera artesanal, esto influyó en las variables físicas de los papeles elaborados.

Para la variable Gramaje, el valor más alto pertenece la Caña Mansa 343,55 g/m², seguido por la Caña Bicolor con 272,65 g/m² y la Caña Brava con 246,26 g/m². Por lo tanto, los valores mencionados concuerdan con lo dicho por BIBUCH (2013), donde menciona que la norma UNE 57003 sobre papel define que, si el papel se halla por encima de 250 g/m², el papel debe denominarse 'cartón'. Se sigue que las muestras elaboradas de la Caña Guadua por gramaje son un ejemplo de cartón.

La Caña Mansa fue la variedad que generó un mayor valor en la variable Rendimiento con 43,55 %, seguido por la Caña Bicolor con 33,95% y, por último, la Caña Brava con 30,87 %. Los resultados obtenidos son semejantes con los obtenidos por Rubio (2018), donde se extrajo pulpa de celulosa de *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris*, aplicando un método similar donde el mejor resultado de dicha investigación fue de 49 % para la Caña Guadua, tomando en consideración que solo se trabajó con tallos. También expresa que el rendimiento va a estar relacionado con la cantidad de lignina que posea la caña.

Para la variable Resistencia al Rasgado no se obtuvieron diferencias significativas entre las variedades. La caña Brava obtuvo 4,77 N, la Caña Bicolor 5,34 N y la caña Mansa 5,49 N, superando lo requerido por la norma INEN 2904 (2015), donde se especifica que la resistencia mínima de un papel debe ser 275

mN o 0,275 N, por lo que, de acuerdo a la normativa INEN, estas cumplen con dicho parámetro para considerarse papel.

Para la variable Ceniza no se obtuvieron diferencias significativas entre las variedades, donde la Caña Brava obtuvo 1,27 %, la Caña Bicolor 1,32 % y la Caña Mansa 1,47 %, lo cual concuerda con lo citado por Ponce (2019), quien refuta que el contenido de cenizas para papeles que no poseen recubrimiento, debe ser igual o menor al 15 %.

Para la variable Fibra, el mejor resultado se obtuvo de la Caña Brava con 81,72 %, la Caña Bicolor 76,69 % y la Caña Mansa 73,12 %, donde solo el papel de la Caña Brava puede considerarse como tal, ya que, según lo mencionado por Gonzales (2010), el porcentaje de fibra mínimo debe ser del 80 %.

Respecto a la variable Humedad, el mayor porcentaje lo obtuvo la Caña Mansa con 3,57 %, la Caña Bicolor 3,23 % y la caña Mansa 3,03 %. La norma INEN 2904 (2015) para papel, establece que el valor máximo debe estar entre 7 a 8 %. Por lo tanto, los resultados obtenidos están dentro del requisito establecido.

La variable pH no marcó diferencia significativa entre las variedades, donde la Caña Brava obtuvo 5,21, la Caña Bicolor 5,29 y la Caña Mansa un 6,43. Estos valores son inferiores a los establecidos según lo indica Ponce (2019), donde menciona que de acuerdo la norma ISO 11108, se requiere un pH mínimo de 7,5 a 10,0. Por otro lado, Mejía (2000) indica que, cuando el pH es menor a 5, tiende a amarillarse y perder calidad. Es importante recordar que en el ensayo no se utilizó aditivos, a diferencia de la industria papeleras, que suelen utilizar modificadores de pH para mejorar este parámetro.

Las variables Color y Textura no presentaron diferencia significativa para las variedades. Con relación al color, las tonalidades obtenidas fueron tendiendo a beige perla, en valores de 4,5 (Ligeramente Beige Perla) para Caña Brava, 4,59 (Ligeramente Beige Perla) para Caña Bicolor y 4,90 (Asemejándose a “Beige Perla”) para Caña Mansa. Por otro lado, la textura arrojó valores de 4,69 (Ligeramente liso) para Caña Brava, 4,70 (Ligeramente liso) para Caña Bicolor y 4,94 se acerca (Liso) para Caña Mansa.

Parte Vegetal (Factor B)

Con relación a las partes vegetativas (Tallos y Hojas) de Caña Guadua para la obtención de pulpa de celulosa con la finalidad de elaborar papel, de las cuales se evaluaron las propiedades físicas, químicas y ópticas.

La norma INEN 2904 (2015) indica que el valor mínimo del calibre para papel debe ser 0,06 mm. El calibre obtenido del papel de las hojas de la Caña guadua es de 0,17 mm, mientras que el procedente de los tallos es de 1,16 mm, siendo estos valores mucho mayores que el propuesto por la normativa, y se considera cartoncillo, ya que supera los 0,3 mm de acuerdo a Rusketa (2020).

IDIG (2012) menciona que las cifras normales de densidad aparente del papel van de 0.5 g/cm³ hasta 0.75 g/cm³. Ahora bien, la densidad obtenida por los papeles elaborados de las hojas de la Caña Guadua es de 1,10 g/cm³, el cual supera los valores ya mencionados, por lo que se considera un papel más denso con menor cantidad de aire al interior de su estructura. Po otro lado, los papeles elaborados por los tallos muestran una densidad de 0,35 g/cm³, y según el mismo autor, este papel contiene más del 50 % de aire.

BIBUCH (2013) menciona que la norma UNE 57003 define que para los papeles en lo que el gramaje superó los 250 g/m^2 debe denominarse 'cartón', de acuerdo con esto el valor más alto pertenece a los tallos ya que obtuvo un valor de $397,02 \text{ g/cm}^2$, por lo tanto, se lo considera cartón, por otro lado, el papel que se obtuvo de las hojas logró un gramaje de $177,95 \text{ g/cm}^2$, por lo que cumple con la norma ya mencionada así que se lo considera papel.

Rubio (2018) extrajo pulpa de celulosa de *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris* aplicando un método similar, donde el mejor resultado de dicha investigación fue 49 % para la Caña Guadua, lo que concuerda con los resultados obtenidos a partir de los tallos, que generaron el mejor rendimiento con un 50,02 %. Por otro lado, de las hojas se obtuvo un rendimiento del 22,22 %, mucho menor al de los tallos. Se debe tomar en consideración que la investigación antes mencionada fue hecha solamente con tallos.

La norma INEN 2904 (2015) especifica que la resistencia al rasgado requerida mínima de un papel debe ser 275 mN o 0,275 N. Con relación a esto, las muestras del papel elaboradas a partir del tallo tienen una resistencia de 7,13 N y el de las hojas es de 3,27 N, por lo que, de acuerdo a la normativa INEN, se cumple con dicho parámetro y se considera papel.

Ponce (2019) menciona que el contenido de cenizas para papeles que no poseen recubrimiento debe ser igual o menor al 15 %. Con relación a la variable ceniza, no se obtuvieron diferencias significativas entre los productos elaborados a partir de las hojas 1,30 % y de los tallos 1,40 %, lo cual cumplen con dicho parámetro.

Para la variable fibra, no se obtuvo diferencia significativa, donde el papel proveniente de los tallos posee un 78,63 % de fibra y el de las hojas 75,72 %. Dichos valores no cumplen con lo mencionado por Gonzales (2010), donde el porcentaje de fibra mínimo para papel debe ser del 80%.

INEN 2904 (2015) establece que el valor máximo de humedad en el papel debe estar entre 7 a 8 %. En este caso, la humedad para los papeles obtenidos a partir de las hojas es de 3,18 % y de los tallos 3,37 %. Por lo tanto, los resultados obtenidos están dentro del requisito.

El pH es una de las variables más importantes que influye en la calidad del papel. Mejía (2000) indica que cuando el pH es menor a 5, tiende a amarillarse. La variable pH no implicó una diferencia significativa entre las muestras obtenidas a partir de las hojas y de los tallos, donde el pH del papel elaborado con hojas fue de 5,42 y del tallo 5,88, por lo cual ninguno cumple con la norma ISO 11108, donde se requiere un pH mínimo de 7,5 a 10,0, según lo indica Ponce (2019). Por otro lado, cabe recalcar que en el ensayo no se utilizaron aditivos.

La variable color no presentó diferencia significativa para las variedades. Las tonalidades obtenidas fueron acercándose a beige perla, con valores de 4,57 para el papel elaborado con hojas y de 4,44 en el papel de los tallos. Por otro lado, la textura sí marcó una diferencia significativa, permitiendo observar que el papel elaborado con hojas adquirió mejor textura con un valor de 5,58, tomando un aspecto liso, mientras que el papel elaborado con tallos alcanzó un valor de 3,97, tomando un aspecto rugoso. IDIG (2012) añade que la compresión es uno de los principales factores que afectan a las propiedades

físicas y ópticas, por lo que, si no se aplica la compresión necesaria, se afectarán las uniones de la fibra que conforman al papel, generando irregularidades, situación confirmada en este caso mediante la textura del papel.

Concentración de hidróxido (Factor C)

Con relación las dos concentraciones de hidróxido de sodio (0,3 M y 0,5 M) para la obtención de pulpa de celulosa con la finalidad de elaborar papel, en las cuales se evaluaron las propiedades físicas, químicas y ópticas.

BIBUCH (2013) menciona que la norma UNE 57003 define que los papeles en los que el gramaje supera los 250 g/m^2 , deben denominarse 'cartón', en tanto que, para el calibre, el valor mínimo requerido para papel debe ser de 0,06 mm, de acuerdo a la norma INEN 2904 (2015). El calibre obtenido por las muestras a las que se aplicó 0,03 M de hidróxido de sodio es de 0,68 mm, mientras que el calibre para la muestra a la que se aplicó 0,5 M de hidróxido de sodio es de 0,65 mm, siendo este último valor mayor que lo antes mencionado, y se considera cartoncillo, ya que supera los 0,3 mm de acuerdo a Rusketa (2020).

La Densidad Aparente del papel va de 0.5 g/cm^3 hasta 0.75 g/cm^3 , de acuerdo a lo mencionado por IDIG (2012). En este caso, la densidad obtenida de los papeles a los que se aplicó 0,03 M de hidróxido de sodio es de $0,76 \text{ g/cm}^3$, mientras que la densidad para la muestra a la que se aplicó 0,5 M, es de $0,69 \text{ g/cm}^3$. Dichos valores apenas superan lo anteriormente mencionado, por lo que, de acuerdo al mismo autor, este papel contiene más del 50 % de aire.

Con relación a la variable Gramaje, no se identificó diferencia significativa. En el caso de las muestras de papel a las que se aplicó 0,3 M de hidróxido de sodio, se obtuvo un gramaje de 288,72 g/m² y las muestras de papel a las que se aplicó 0,5 M, de 286,26 g/m². De acuerdo a BIBUCH (2013), se toma en cuenta la norma UNE 57003 que define a los papeles cuyo gramaje supera los 250 g/m² con la denominación de cartón. Por lo tanto, ya que cumplen con dicho parámetro, estos vienen a ser considerados como cartón.

El mejor resultado obtenido en Rendimiento lo presentaron las muestras a las que se aplicó hidróxido de sodio al 0,3 M con un valor del 37,63 %, seguido de las muestras a las que se aplicó hidróxido de sodio al 0,5 M, con un valor del 34,61 % de rendimiento. Estos valores son menores de acuerdo a los resultados obtenidos por Rubio (2018), donde obtuvo un 49 % de rendimiento. Cabe recalcar que las muestras de esta investigación fueron sometidas a un triproceso de deslignificación, por lo que se afecta considerablemente al rendimiento, lo que coincide con la investigación de Ponce (2019), donde se probó la diferencia de dos ciclos (Proceso y Reproceso), donde afirma que, al someter la pasta de celulosa al reproceso, se eliminan resinas, ceras, pectinas y lignina, que no se eliminan en su totalidad durante el primer proceso. Por lo tanto, se obtuvo una pasta de celulosa más pura, pero de rendimiento menor, lo cual sucede exactamente de la misma manera en esta investigación.

La norma INEN 2904 (2015) especifica que la resistencia al rasgado requerida mínima de un papel debe ser de 275 mN o 0,275 N. De acuerdo a los resultados obtenidos, no se identificó diferencia significativa. En este caso, las muestras de papel a las que se aplicó 0,3 M de hidróxido de sodio obtuvieron una resistencia de 5,07 N y las muestras de papel a las que se aplicó 0,5 M, de

5,35 N, por lo que, de acuerdo a la normativa INEN, cumplen con dicho parámetro y se lo considera papel.

Para la variable Ceniza no se obtuvieron diferencias significativas entre las muestras de papel a las que se aplicó 0,3 M de hidróxido de sodio, de las cuales se obtuvo un 1,32 % y a las que se aplicó 0,5 M, un 1,39 %. Ponce (2019) menciona que cuando el papel no tiene recubrimiento, el contenido de cenizas debe ser igual o menor del 15%, por lo cual cumplen con dicho parámetro.

Los resultados para la variable fibra no mostraron diferencias significativas. Las muestras de papel a las que se aplicó 0,3 M de hidróxido de sodio contaban con un 76,76 % de fibra, mientras que a las que se aplicó 0,5 M de hidróxido de sodio, un 77,59 %. Dichos valores no cumplen con lo mencionado por Gonzales (2010), donde el porcentaje de fibra mínimo para papel debe ser del 80 %, además de un 20 % que corresponde a compuestos como almidones, resinas, ceras y pectinas.

INEN 2904 (2015) establece que el valor máximo de humedad en el papel debe estar entre 7 y 8%. En este caso, la humedad no presentó diferencia significativa entre las muestras de papel a las que se aplicó 0,3 M de hidróxido de sodio con un 3,21 % de humedad, mientras que a las que se aplicó 0,5 M de hidróxido de sodio, un 3,35 %. Por lo tanto, los resultados obtenidos están dentro del requisito normativo.

Mejía (2000) indica que cuando el pH es menor a 5, tiende a amarillarse, influyendo de manera directa en la calidad del papel. Con relación a la variable pH, no se encontró una diferencia significativa entre las muestras de papel a las

que se aplicó 0,3 M de hidróxido de sodio, cuya medición de pH fue de 5,55, y a las que se aplicó 0,5 M de hidróxido de sodio, de 5,75, por lo cual ninguna cumple con la norma ISO 11108, donde se requiere un pH mínimo de 7,5 a 10,0, según lo indica Ponce (2019). Por otro lado, cabe recalcar que en el ensayo no se utilizaron aditivos que modifican el pH.

Las variables Color y Textura no presentaron diferencia significativa para las diferentes concentraciones de hidróxido de sodio. Con relación al color, las tonalidades obtenidas se aproximan al beige perla, en valores de 4,57 para las muestras a las que se proporcionó hidróxido de sodio al 0,3 M y de 4,76 para las muestras a las que se proporcionó hidróxido de sodio al 0,5 M. Por otro lado, la textura tampoco presentó diferencia significativa, puesto que el resultado obtenido para la concentración de hidróxido de sodio al 0,3 M es de 4,74 y al 0,5 M, de 4,82. De acuerdo a estos datos, las muestras se aproximan a la textura designada como lisa.

Interacción A*B*C

Por medio de la Interacción A*B*C, se estudia la influencia de los tres factores a la vez (Variedades*Parte Vegetativa*Concentración de Hidróxido) en la obtención de pulpa de celulosa con la finalidad de elaborar papel, de las cuales se evaluaron las propiedades físicas, químicas y ópticas. Debido a esto, se consideró a la interacción Caña Mansa – Tallo – 0,5 M como la mejor interacción de entre las demás.

La interacción Caña Mansa – Tallo – 0,5 M destaca entre en las variables físicas en cuanto a Calibre (1,31 mm), el cual es superior a 0,3 mm,

designándolo como cartoncillo, de acuerdo a Rusketa, (2020); en Gramaje ($472,85 \text{ g/m}^2$), de igual manera se lo clasifica como cartón, ya que supera el valor de un máximo de 250 g/m^2 , de acuerdo a la norma UNE 57003; en Rendimiento (60,92 %), supera los resultados obtenidos por Rubio (2018), donde se obtiene el 49% de rendimiento extrayendo pulpa de los tallos; en Resistencia (6,84 N), la norma INEN 2904 (2015) especifica que la resistencia mínima de un papel debe ser de 275 mN o 0,275 N, por lo cual, está dentro del parámetro; en cuanto a Densidad, es la única variable física en la que no destacó, con solo $0,36 \text{ g/m}^3$, puesto que, de acuerdo a IDIG (2012), se estima que la Densidad Aparente del papel va de 0.5 g/cm^3 hasta 0.75 g/cm^3 , por lo que no cumple con dicho requisito. Este mismo autor indica que este papel contiene más del 50 % de aire y que una de las causas que mejora las propiedades físicas es el calandrado de la materia prima durante el secado, ya que permite compactar aún más la fibra, mejorando la densidad de los papeles. También se debe considerar que el papel fue obtenido en laboratorio de manera artesanal y, al no haber aplicado un calandrado como lo hace propiamente la industria papelera, esto influyó directamente sobre las muestras.

En la interacción Caña Mansa – Tallo – 0,5 M, en lo que respecta a las variables químicas, los mejores resultados los obtuvo el pH (6,47), que sin embargo no alcanza el valor mínimo necesario para cumplir con la norma ISO 11108, donde se requiere un pH mínimo de 7,5 a 10,0, según lo indica Ponce (2019). Pero a su vez, según lo expuso Mejía (2000), no es un papel de mala calidad, ya que el pH 6,47 es ligeramente ácido, proporcionando la ventaja de equilibrar la acidez y evitar el riesgo de amarillarse con facilidad. Por parte de las variables Fibra (72,33 %), se obtuvo un valor que no es el óptimo, pero sí

considerable, ya que Gonzales (2010) indica que el porcentaje de fibra mínimo debe ser del 80 % para papeles. Para la variable Ceniza (1,07 %), también se cumple con el requisito, ya que este valor es menor al indicado por Ponce (2019), donde refuta que el contenido de cenizas debe ser igual o menor al 15 % para los papeles que no poseen recubrimiento. Por último, la variable Humedad (3,61%) se corresponde a la normativa INEN 2904 (2015) para papel, que establece que el valor máximo de humedad debe de ser de 7 a 8%, por lo tanto, los resultados obtenidos están dentro del requisito establecido.

Al final, en las variables ópticas, el papel resultante de la interacción Caña Mansa – Tallo - 0,5 M destaca entre los papeles con mejor tonalidad (4,60, “Beige Perla”) y una textura aceptable (4,36, “Ligeramente Liso”), considerando que fue elaborado de manera artesanal, asunto que influye en la compactación de la fibra.

CAPITULO VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones.

Factor A (Variedades)

Se concluye que el biotipo Caña Mansa presentó mejores características físicas, químicas y ópticas, confiriéndole al papel propiedades físicas que lo clasifican como cartón, cuyo calibre es de 0,8 mm, densidad aparente de 0,65 g/m³, gramaje de 343,55 g/m², rasgado de 5,49 N, rendimiento 43,55 %; sobre las propiedades químicas, solo las variables fibra (73,12 %) y pH (6,43) presentaron diferencia significativa respecto de las otras variables como ceniza (1,47 %) y humedad (3,57 %), que no presentaron diferencia significativa, pero fueron los mejores resultados en cuanto a dichas variables. Y, por último, entre las variables ópticas se dieron estos valores, siendo para color 4,90, que lo aproxima a la tonalidad beige perla, y en textura 4,94, es decir, que se corresponde a liso. Por lo tanto, cumple con la mayoría de características químicas y ópticas para clasificarlo como papel.

Con base en los datos obtenidos para el factor A (variedades), donde se encontró diferencias significativas para la mayoría de variables físicas, químicas y ópticas, se concluye que se acepta la hipótesis alternativa con el argumento de que las variedades de Caña Guadua y el biotipo sí afectan a la calidad y al rendimiento del papel.

Factor B (Partes Vegetativas)

También se concluye que los tallos proporcionan mayor rendimiento (50,02 %), en comparación a las hojas (22,22 %), con características físicas, químicas y ópticas, que lo caracterizan como cartón, con un calibre de 1,16 mm, densidad aparente de 0,35 g/cm³, gramaje de 397,02 g/cm² y resistencia de 7,13 N.

También se concluye que los tallos obtuvieron características químicas y ópticas que confieren características al papel, tales como pH de 5,88, 1,40 % de ceniza, 78,63 % de fibra, 3,37 % de humedad, un color (4,77) ligeramente beige perla y una textura (3,97) ligeramente lisa.

Con base en los datos obtenidos para el factor B (Parte Vegetativa), donde sí se encontraron diferencias significativas para la mayoría de variables físicas, químicas y ópticas, por lo que se concluye que se acepta la hipótesis alternativa con el argumento de que las hojas y los tallos sí afectan a la calidad y al rendimiento del papel blanco.

Factor C (Concentraciones de Hidróxido)

En cuanto a las propiedades físicas de los papeles que se elaboraron con diferentes concentraciones de hidróxido de sodio, se concluye que el mayor rendimiento se obtuvo en la concentración 0,03 M con un 37,63 %, calibre de 0,68 mm, gramaje de 288,72 g/cm², densidad aparente de 0,76 g/cm³, la resistencia al rasgado de 5,07 N, pues dichas características le confieren propiedades del cartón.

En cuanto a las propiedades químicas y ópticas para los papeles que se elaboraron con hidróxido de sodio al 0,3 M se obtuvo 76,76 % de fibra, 1,32 % de ceniza, 3,21 % de humedad, 5,55 de pH; y en cuanto al color (4,57), ligeramente beige perla, y la textura obtuvo 4,74, que se aproxima a liso, por lo que se concluye que las propiedades químicas y ópticas son las de un papel.

Con base en los datos obtenidos para el Factor C (Concentración de hidróxido de sodio), donde solo se encontró diferencia significativa en el rendimiento y en el pH, por lo cual se concluye que se acepta la hipótesis nula, con el argumento de que la concentración de hidróxido de sodio al 0,3 y al 0,5 no influyeron en el proceso de obtención del papel, puesto que en ambos casos se obtuvieron papeles con las mismas características

Interacción A*B*C

Se concluye que la mejor interacción fue A*B*C (Caña Mansa – Tallo – 0,5 M), que destaca entre en las variables físicas en cuanto a calibre (1,31 mm), gramaje (472,85 g/m²), rendimiento (60,92 %), resistencia (6,84 N), pH (6,47), fibra (72,33 %), ceniza (1,07 %), humedad (3,61 %); por último, en las variables ópticas de color (4,60, beige perla) y textura (4,36, ligeramente liso) aceptables.

Recomendaciones.

Para la elaboración de pulpa de celulosa, se recomienda utilizar el biotipo Caña Mansa, ya que presenta excelentes características químicas, especialmente su pH, una de las variables más importantes que influyen en la calidad y durabilidad de los papeles.

En lo que respecta a la parte vegetativa, se recomienda utilizar los tallos, ya que estos tienen un excelente rendimiento en comparación con las hojas.

En cuanto a las concentraciones de hidróxido de sodio, se recomienda utilizar 0,3 M, ya que los papeles obtenidos bajo esta concentración obtuvieron prácticamente las mismas cualidades que si se han utilizado 0,5 M de concentración; la única diferencia es el rendimiento con apenas un 3,02 % de margen entre ambas.

Con respecto a las densidades de los papeles, se recomienda el prensado o la implementación del calandrado, que implica mayor presión sobre el papel durante el secado, para lograr un papel de Caña Guadua con más uniformidad y una mayor densidad aparente.

Se recomienda a las futuras investigaciones realizar un Análisis Económico, donde se tome en consideración los diferentes resultados que proporcionan las variables y así poder determinar con mayor precisión cuál es económicamente rentable, ya que el ensayo solo se produjo a nivel de laboratorio con fines investigativos.

Considerando que todos los valores del pH fueron por debajo de los requeridos para la elaboración de papel, se recomienda utilizar agentes alcalinizantes con el fin de mejorar dicho parámetro.

CAPITULO VII

Bibliografía

- Aguilar, N., Houbron, E., & Rustrian, E. (2014). *PAPEL AMATE DE PULPA DE CAFÉ (Coffea arabica) (RESIDUO DE BENEFICIO HÚMEDO)*. Obtenido de Universidad Autónoma Indígena de México: <https://www.redalyc.org/pdf/461/46131111008.pdf>
- Añazco, M. (2015). Obtenido de <https://www.industrias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/GABAR-Cadena-Bambu-Ecuador.pdf>
- ATSDR. (2002). Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts174.pdf
- BIBUCH. (2013). *Mecanica e Industria*. Obtenido de <https://bibuch.es/concept/718-materiales/1313-3-2-cartoncillo-es-de.html>
- Cadena , E. (2008). Estudio del refinado de pastas de papel. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93808/TEMCC1de1.pdf>.
- Chiluiza , C., & Hernández , J. (2009). *Elaboración de papel artesanal de Caña Guadua* . Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1901/1/CD-2457.pdf>
- Cruz , C. (2014). Obtenido de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Seminario-Celulosa_27101.pdf
- Dula , I. (2014). *Agentes de deterioro* . Obtenido de <https://es.slideshare.net/planetaweb221/agentes-del-deterioro>
- Ekos . (2017). *Papel y Cartón, Aporte a la economía en el día a día de los ecuatorianos*. Obtenido de <https://www.ekosnegocios.com/negocios/verArticuloContenido.aspx?idArt=9811>
- Enríquez, F. (2013). *COMPORTAMIENTO DEL HIDRÓXIDO DE SODIO Y POTASIO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA AMBIENTAL*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/870/1/T-UCE-0017-22.pdf>
- Espinell , J. (2014). *La caña guadua en el espacio interior* . Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=2ahUKEwj83bfBuirhAhWtuFkKHfrCCpAQFjAEegQIABAC&url=http%3A%2F%2Fdspace.uazuay.edu.ec%2Fbitstream%2Fdatos%2F3916%2F1%2F10521.pdf&usg=AOvVaw04KkvDWIG0absLREQDc9xv>
- Estrada , M. (2010). https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjLl4jZwabjAhUGx1kKHeelCdcQFjAAegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F281294722_Extraccion_y_caracterizacion_mecanica_de_las_fibras_de_bambu_.
- Fernandez , L. (2005). *Elaboración de cartones a partir de brozas de quinua (Chenopodium quinua Willd.) y paja de Cebada (Hordeum vulgare L.)*” . Perú: UNA-PUNO. .

- Gómez , S. (2010). *Propuesta de la estructura organizacional, manuales organizacionales y procedimientos de la gerencia de abastecimiento de fibras en una empresa recicladora de papel* . Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/8421/T2.117.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>
- Gonzales, H. (2010). *MERCEOLOGÍA DE PAPEL: Interpretación de los capítulos 47, 48 y 49*. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/merceologia-de-papel-interpretacion-cap-47-48-y-49-del-arancel-de-aduanas-rev-pdf-free.html>
- IDIG . (2012). Investigación y Desarrollo para la Industria Grafica. <http://investigaciongrafica.blogspot.com/2008/05/espesor-densidad-y-bulk-del-papel.html>.
- INEN2904. (2015). PAPEL Y CARTÓN PAPEL. PARA CUADERNOS. REQUISITOS. *Servicio de Normalización del Ecuador*.
- Kay Teschke , & Paul Demers. (2009). Obtenido de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Enciclopedia OIT/tomo3/72.pdf>
- Kirk, R., Sawyer, R., & Egan , H. (1996). *Composición y análisis de alimentos de Pearson*. México: Continental SA de CV.
- Laqui , C. (2017). Obtenido de <file:///C:/Users/USER/Downloads/353540058-Pulpa-y-Papel-Propiedades-Fisicas.pdf>
- Lasso, S. (2018). *Importancia del papel*. Obtenido de <https://www.aboutespanol.com/importancia-del-papel-180079>
- Lizcano , C. (2010). *Recuperacion de celulosa a partir de papel periodico Post-consumo para la obtención de derivados de celulosa* . Obtenido de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133247.pdf>
- Lozada , C. (2012). Obtenido de <file:///C:/Users/USER/Downloads/TESIS%20CRISTY%20LOSADA.pdf>
- Mejía , E. (2000). *Produccion de pulpa y Papel artesanal de totora. Investigador Asociado al Centro Nacional de Fibras Naturales*. Ecuador: PUCE-I. Obtenido de PUCE-I.
- Morales , S. (2015). Obtenido de http://digital.csic.es/bitstream/10261/132717/1/morales_de_la_rosa_silvia.pdf
- Pandey , K. (2002). Obtenido de A study of chemical structure of soft and hardwood and wood and polymers: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/doctorado/documentos/tesis_edith.pdf
- Perea , J. (2003). Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=20&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjnmcuFp5fhAhVpw1kKHUOHAGQ4ChAWMAI6BAGJEAI&url=http%3A>

%2F%2Finvestigacion.utmachala.edu.ec%2Fproceedings%2Findex.php%2Futmach%2Farticle%2Fdownload%2F194%2F166%2F&usg

- Ponce , G. (2019). *ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE PULPA CELULÓSICA A PARTIR DE RESIDUOS VEGETATIVOS DE TRES VARIETADES DE PLATANO (Musa paradisiaca L.) PARA LA ELABORACIÓN DE PAPEL BLANCO*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/20399/1/T-ESPESD-002895.pdf>
- Rubio, M. (2018). *PULPA QUÍMICA, MÉTODO SODA ANTRAQUINONA, A PARTIR DE TALLOS DE Guadua angustifolia Y Bambusa vulgaris*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/162862345.pdf>
- Ruiz , G. (2018). *El proceso del papel o de cómo un árbol se vuelve papel*. Obtenido de <https://elblogverde.com/el-proceso-del-papel-o-de-como-un-arbol-se-vuelve-papel/>
- Rusketa. (2020). Tipos de cartón. <https://www.rusketa.com/tipos-de-carton/>.
- Serk , H., Granlundz , I., Pesquet , E., & Barrosoy , J. (2015). *Atlas de histología vegetal y animal*. Obtenido de <https://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-v/ampliaciones/lignina.php>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2015). *PAPEL Y CARTÓN. PAPEL PARA CUADERNOS. REQUISITOS*. Quito-Ecuador.
- Suárez , J., & Molina , A. (2008). *Plan de negocios para la producción y comercialización de papel de tallos de rosas en la ciudad de Quito*. Obtenido de <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/1249/1/UDLA-EC-TIC-2009-05.pdf>
- Teneche , G. (2016). Obtenido de <https://guaduabambucolombia.com/2016/04/14/especies-variedades-y-biotipos-de-guadua-angustifolia-kunth/>
- tropicos. (2021). Obtenido de <http://legacy.tropicos.org/Image/100465577>
- Universidad de Granada . (2015). Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj3hqB59JbAhWyq1kKHe4RAM0QFjAAegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fwww.ugr.es%2F~aangel%2FBellasArtes%2FTema15BA.ppt&usg=AOvVaw3_prLedPH6IDOLxNK5MPV6