

**Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas,
Químicas y Naturales. Secretaría de Investigación y Posgrado. Maestría en
Ciencia y Tecnología de los Materiales Fibrosos.**

Maestranda
Agatha Estefanía Raquel Prado Gárate

**Tacuara (*Guadua trinii*) y Bambú (*Guadua
angustifolia*) como recurso lignocelulósico
no tradicional para la obtención de
nanocelulosa.**

**Tesis de Maestría presentada para obtener el título de “Magíster
en Ciencia y Tecnología de los Materiales Fibrosos”**

Director
Dra. María Evangelina Vallejos
Co-Director
Mgter. Teresa Suirez

Posadas, 2019



Esta obra está licenciado bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

**TACUARA (*Guadua trini*) y BAMBÚ (*Guadua angustifolia*)
COMO RECURSO LIGNOCELULÓSICO NO TRADICIONAL
PARA LA OBTENCIÓN DE NANOCELULOSA**

PRESENTADO POR:

Ing. Agatha Estefanía Raquel Prado Gárate

**Tesis presentada a la Universidad
Nacional de Misiones como
exigencia parcial de la Maestría en
Ciencia y Tecnología de los
Materiales Fibrosos**

Director: Dra. María Evangelina Vallejos

Co-Director: Mgter. Teresa Suirez

Junio 2019

A mi mamá y a mi abuelito; todo, siempre gracias a ellos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi Directora, la Dra. María Vallejos; mi co-Directora, la Mgter. Teresa Suirezs, al Dr. Fernando Felissia y al Dr. Enrique Gonzáles Mora; por sus consejos, orientaciones y apoyo incondicional. Un agradecimiento especial a la Dra. María Cristina Area, Directora Interina Instituto de Materiales de Misiones (IMAM) UNaM-CONICET y del Programa de Celulosa y Papel (PROCYP) por el apoyo institucional para la realización del trabajo experimental desarrollado en la presente tesis.

De igual manera a Nico, Alejandra, Nanci, Marco, el Sr. Cabrera y a Daniel, por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta tesis. A la Universidad Nacional de Misiones y a la Universidad Nacional Agraria La Molina (Laboratorios de Pulpa y Papel), por brindarme sus instalaciones. A mi mamá y a mi abuelito, por el apoyo incondicional que siempre me brindan.

RESUMEN

En el presente estudio se evalúa la aptitud de dos especies de Bambú (*Guadua angustifolia* y *Guadua trinii*) como recurso lignocelulósico para la obtención de nanocelulosa; caracterizando física, química y morfológicamente a las muestras, y realizando un fraccionamiento químico para la producción y caracterización de CNF.

Se caracterizó físicamente la materia prima a través de la densidad de cada especie; la caracterización morfológica se realizó mediante la medición de largo, ancho y espesor de pared de las fibras y el análisis de los cortes histológicos de cada cara de la materia prima. La caracterización química de la materia prima se realizó evaluando su contenido de extractivos, cenizas, lignina y carbohidratos dentro de cada especie.

El fraccionamiento químico se realizó por medio de dos pulpados químicos a la soda AQ para cada especie, uno con un pre-tratamiento hidro-térmico y el otro sin pre tratamiento. Las condiciones usadas para la cocción de ambas especies, con y sin pre tratamiento hidro-térmico, fue de 18% de NaOH y antraquinona (AQ) al 0,1%, el programa utilizado en ambos casos fue de 170°C durante 60 minutos. El tiempo de calentamiento hasta 170°C fue de 75 minutos. La relación sólido:líquido para el material con pre tratamiento fue de 1:4 y para el material sin pre tratamiento fue de 1:3.

También se realizó una caracterización del material sólido obtenido luego del pulpado, en el cual se obtuvieron los valores de rendimiento, retención de agua, contenido de lignina, grado de polimerización y de alfa, beta y gama celulosa. Se realizó también la producción de nanocelulosa con el método de reactivo de oxidación TEMPO; esta nanocelulosa también fue caracterizada obteniendo su consistencia y viscosidad.

La densidad promedio obtenida de *Guadua trinii* fue de 0,53 g/cm³ y de *Guadua angustifolia* 0,47 g/cm³ datos que confieren diversas propiedades a cada una de las especies. Mediante la caracterización morfológica se obtuvo un largo promedio de fibra de *Guadua trinii* de 1,044 mm y para *Guadua angustifolia* de 1,441 mm, y un espesor de pared promedio de 3,78 μm y 2,01 μm, respectivamente. A partir de la caracterización química se obtuvo para *Guadua trinii* un porcentaje de

extractivos totales de 8,66%, 4,05% de ceniza, 23,9% de lignina total y 65,6% de carbohidratos estructurales; y para *Guadua angustifolia* un porcentaje de extractivos totales de 9,55%, 4,58% de ceniza, 25,2% de lignina total y 63,8% de carbohidratos estructurales.

Durante el fraccionamiento químico se obtuvieron valores de rendimiento de pulpado con pre-tratamiento hidro-térmico para *Guadua trinii* de 36,53%, y para *Guadua angustifolia* de 37,28%; mientras que para el material sin pre tratamiento se obtuvo un rendimiento de 47,28% y 44,82%, respectivamente. Si bien son valores cercanos, el número de kappa fue de 19,8 para *Guadua trinii* y 37,2 para *Guadua angustifolia*, ambas con pre tratamiento; y un Kappa de 21,8 y 29,3 para las mismas especies sin pre tratamiento hidro-térmico. Ello demuestra que *Guadua trinii* tiene aptitudes optimas en comparación con *Guadua angustifolia*, para la industria de pulpa y papel.

Dentro de la caracterización de la pulpa obtuvimos un WRV de 1,863 para *Guadua trinii* sin pre-tratamiento hidro-térmico y 1,852 para la misma especie con pre-tratamiento; y de 1,895 para *Guadua angustifolia* sin pre-tratamiento y 1,855 con pre-tratamiento. Un grado de polimerización de 3324 para *Guadua trinii* sin pre-tratamiento y de 4059 para la misma especie con pre-tratamiento; 3019 para *Guadua angustifolia* sin pre-tratamiento y de 3460 con pre-tratamiento. Dentro de *Guadua trinii* sin pre-tratamiento se obtuvo un porcentaje de alfa, beta y gama celulosa de 91,61%, 6,68% y 1,44%, respectivamente, y para la misma especie con pre-tratamiento fue de 97,72%, 1,16% y 1,12%, respectivamente; mientras que para *Guadua angustifolia* sin pre-tratamiento se obtuvo 91,61%, 6,72% y 1,66% respectivamente, y para la misma especie con pre tratamiento 97,72%, 1,16% y 1,12%, respectivamente.

Se evaluó el potencial de las fracciones celulósicas de ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico para la producción de nanocelulosa mediante un pre-tratamiento químico de oxidación TEMPO, seguido de un tratamiento mecánico de nanofibrilación utilizando un molino helicoidal. Las nanofibras fueron caracterizadas mediante la tasa de grupos carboxílicos promedio alcanzadas en la oxidación y la viscosidad de suspensiones acuosas diluidas de la nanocelulosa. El contenido de grupos carboxílicos de *Guadua angustifolia* con y sin tratamiento hidro-térmico fueron 895,7 $\mu\text{Eq/g}$ y 1162,7 $\mu\text{Eq/g}$, respectivamente, mientras que

para *Guadua trinii* con y sin tratamiento hidrotérmico presenta una tasa de grupos carboxílicos promedio de 978,7 $\mu\text{Eq/g}$ y 1293,6 $\mu\text{Eq/g}$, respectivamente. El efecto de la especie y el proceso para la obtención de pulpa sobre la relación de aspecto (relación entre ancho y altura) de las nanofibras de celulosa, fueron determinadas en base a la viscosidad de diferentes suspensiones acuosas. Se determinó que existe una significativa correlación entre el contenido de grupos carboxílicos y la viscosidad de las suspensiones, lo que indica que cuanto mayor es el contenido de grupos carboxílicos mayor es la viscosidad de las suspensiones, lo cual puede relacionarse con una mayor relación de aspecto de las nanofibras.

Los datos obtenidos durante los diversos ensayos fueron comparados entre especies y con la bibliografía mediante un análisis estadístico con el programa Statgraphics.

A pesar de pertenecer al mismo género *Guadua*, presentan distintas propiedades y características; esto se debe a la zona de la que son oriundas y a la disposición y cantidad de sus elementos constitutivos.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
1. Poaceae, Bambusoideae	5
1.1. <i>Guadua angustifolia</i>	8
1.2. <i>Guadua trinii</i>	10
2. Bambú como materia prima fibrosa	10
3. Caracterización morfológica del bambú	12
4. Caracterización química del bambú y de sus pulpas	18
5. Obtención de micro y nanocelulosa a partir de bambú	21
6. Evaluación de las características de CNF y CMF	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS	27
1. Materias primas	27
2. Caracterización física y química de las muestras	27
3. Caracterización morfológica de las muestras	31
4. Proceso de fraccionamiento	33
• Clasificación de las fibras (Bauer McNett)	35
5. Caracterización de la pulpa soda-AQ	36
6. Producción y caracterización de CNF	39
• Tasa de grupos carboxílicos	40
7. Evaluación global los resultados	41
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
1. Caracterización física y química de las muestras	42
2. Caracterización morfológica	55
• Análisis de los cortes histológicos	55
• Datos biométricos	58
3. Fraccionamiento de ambas especies	91
4. Caracterización de la fracción sólida	94
• Clasificación de las fibras (Bauer McNett)	94
• α , β y γ celulosa en la pulpa	95
• Grado de polimerización	96
• Valor de retención de agua (WRV)	97
• Cristalinidad de la pulpa	97
5. Producción y caracterización de CNF	100
• Tasa de grupos carboxílicos	101
• Viscosidad de la nanocelulosa	102
V. CONCLUSIONES	107

VI. REFERENCIAS	109
VII. ANEXOS	120
1. Densidades básicas (DB)	120
2. Ancho, lumen y espesor de pared de fibra	122
3. Longitud de fibra por fracción (Bauer McNett)	128
• 30 mesh	128
• 50 mesh	132
• 100 mesh	134
• 200 mesh	136
4. Ancho, lumen y espesor de pared de fibra por fracción (Bauer McNett)	138

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Características Biométricas de diferentes especies de bambú	14
Tabla 2.2: Estudio anatómico de la especie <i>Guadua aculeata Rupr.</i>	15
Tabla 2.3: Dimensiones medias de la fibra de la materia prima de bambú	16
Tabla 2.4: Resultados de estudio biométrico de las especies <i>Guadua angustifolia</i> y <i>Bambusa vulgaris</i> .	17
Tabla 2.5: Clasificación de la relación de Runkel.	18
Tabla 2.6: Composición química de diversas especies de bambú	20
Tabla 2.7: Valores de ancho típicos para NFC obtenidos por diferentes métodos	26
Tabla 4.1: Densidad básica.	42
Tabla 4.2: ANOVA para las densidades de cada altura entre e intra-grupo de <i>G. trinii</i>	42
Tabla 4.3: ANOVA para las densidades de cada altura entre grupos e intra-grupo para la <i>Guadua angustifolia</i>	43
Tabla 4.4: ANOVA multifactorial para las densidades grupales (altura) para ambas especies	44
Tabla 4.5: Prueba de múltiples rangos para densidades grupales (altura), ambas especies.	45
Tabla 4.6: Porcentaje de sequedad de las muestras con extractivos	46
Tabla 4.7: Porcentaje de extractivos solubles en alcohol benceno	47
Tabla 4.8: Porcentaje de extractivos solubles en agua caliente.	47
Tabla 4.9: Porcentaje de extractivos totales	47
Tabla 4.10: Porcentaje de cenizas de las muestras no extraídas	48
Tabla 4.11: Porcentaje de sequedad de las muestras sin extractivos	49
Tabla 4.12: Porcentaje de lignina insoluble en las muestras sin extractivos	50
Tabla 4.13: Porcentaje de lignina soluble en las muestras sin extractivos	50
Tabla 4.14: Factor de corrección de la lignina a partir de la ceniza	50
Tabla 4.15: factor de corrección de la lignina a partir de los extractivos	51
Tabla 4.16: Porcentaje de lignina total en las muestras sin extractivos	51
Tabla 4.17: Factor de corrección de los azúcares a partir de la ceniza	52
Tabla 4.18: Factor de corrección de los azúcares a partir de los extractivos	52
Tabla 4.19: Composición de carbohidratos estructurales de <i>Guadua trinii</i>	53
Tabla 4.20: Composición de carbohidratos estructurales de <i>Guadua angustifolia</i>	53
Tabla 4.21: Caracterización de la composición química.	54
Tabla 4.22: Longitud de fibra promedio (Analizador de fibras FQA 360).	58
Tabla 4.23: Ancho de fibra promedio (Analizador de fibras FQA 360).	60
Tabla 4.24: Espesor promedio de pared de fibra	62
Tabla 4.25: Medición promedio en el analizador FQA, de largo y ancho de fibra luego de pulpado a la soda-AQ con y sin tratamiento hidrotérmico.	64
Tabla 4.26: Medición promedio en microscopio Leika de longitud de fibra luego de pulpado a la soda-AQ.	65
Tabla 4.27: Medición promedio en microscopio Leika de ancho de las fibras luego de pulpado a la soda AQ con y sin tratamiento hidro-térmico por fracciones.	68
Tabla 4.28: Medición promedio en microscopio Leika de lumen de las fibras luego de pulpado a la soda AQ con y sin tratamiento hidro-térmico por fracciones.	69

Tabla 4.29: Medición promedio en microscopio Leika de espesor de pared de las fibras luego de pulpada a la soda AQ con y sin tratamiento hidro-térmico	69
Tabla 4.30: ANOVA para las longitudes promedio de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo de <i>G. angustifolia</i> pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.	72
Tabla 4.31: ANOVA para los largos de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo de <i>G. angustifolia</i> pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.	73
Tabla 4.32: ANOVA para los largos de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo de <i>Guadua trinii</i> pulpada a la soda-AQ sin tratamiento hidro-térmico.	74
Tabla 4.33: ANOVA para los largos de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo de <i>Guadua trinii</i> pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.	74
Tabla 4.34: ANOVA multifactorial de las longitudes promedio de fibra para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.	75
Tabla 4.35: Prueba de múltiples rangos de longitudes promedio de fibra en ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.	76
Tabla 4.36: ANOVA para los anchos de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo de <i>G. angustifolia</i> pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.	76
Tabla 4.37: ANOVA para los anchos de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo de <i>G. angustifolia</i> pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.	77
Tabla 4.38: ANOVA para los anchos de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo de <i>Guadua trinii</i> pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.	78
Tabla 4.39: ANOVA para los anchos de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie <i>G. trinii</i> pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.	79
Tabla 4.40: ANOVA multifactorial de los anchos de fibra para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.	80
Tabla 4.41: Prueba de múltiples rangos de ancho promedio de fibra para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.	81
Tabla 4.42: ANOVA para espesor de lumen de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo de <i>G. angustifolia</i> pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico	81
Tabla 4.43: ANOVA para espesor de lumen de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo de <i>G. angustifolia</i> pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.	82
Tabla 4.44: ANOVA para espesor de lumen de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo de <i>G. trinii</i> pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.	83
Tabla 4.45: ANOVA para espesor de lumen de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo de <i>G. trinii</i> pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.	84
Tabla 4.46: ANOVA multifactorial de espesor de lumen de fibra para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.	85
Tabla 4.47: Prueba de múltiples rangos de espesor de lumen de fibra para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.	86
Tabla 4.48: ANOVA para espesor de pared de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo de <i>G. angustifolia</i> pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidrotérmico	86
Tabla 4.49: ANOVA para espesor de pared de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo de <i>G. angustifolia</i> pulpada a la soda AQ, con tratamiento hidrotérmico	87
Tabla 4.50: ANOVA para espesor de pared de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo de <i>G. trinii</i> pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.	88
Tabla 4.51: ANOVA para espesor de pared de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo de <i>G. trinii</i> pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.	89
Tabla 4.52: ANOVA multifactorial del espesor de pared de fibra para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.	90
Tabla 4.53: Prueba de múltiples rangos de espesor de pared de fibra para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.	91

Tabla 4.54: Rendimiento después de tratamiento hidro-térmico para las especies <i>G. trinii</i> y <i>G. angustifolia</i>	92
Tabla 4.55: Rendimiento después de la cocción soda-AQ del material pretratado.	92
Tabla 4.57: Número de Kappa para las pulpas con y sin tratamiento hidro-térmico.	93
Tabla 4.58: Clasificación de fibras por Bauer Macnett de <i>G. trinii</i> y <i>G. angustifolia</i> con y sin tratamiento hidro-térmico	95
Tabla 4.59: α , β y γ celulosa en las pulpas con y sin tratamiento hidro-térmico	96
Tabla 4.60: Grado de polimerización de <i>G. trinii</i> y <i>G. angustifolia</i> con y sin tratamiento hidro-térmico	96
Tabla 4.61: Valor de retención de agua de las pulpas con y sin tratamiento hidrotérmico.	97
Tabla 4.62: Cristalinidad para las pulpas con y sin tratamiento hidro-térmico.	98
Tabla 4.63: Contenido de grupos carboxílicos de la nanocelulosa de ambas especies con y sin tratamiento hidrotérmico	102
Tabla 4.64: Viscosidad de nanocelulosa para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Distribución geográfica de los bambúes	5
Figura 2.2: Estructura morfológica del culmo de la <i>Guadua angustifolia</i> Kunth	7
Figura 2.3: Ilustración esquemática de la estructura de la pared secundaria de una fibra	13
Figura 2.4: Individualización de nanofibras de polvo de bambú.	23
Figura 2.5: Efecto del tiempo de refinación en el grado de sustitución de la celulosa	24
Figura 3.1: Caracterización física de ambas especies de bambú	28
Figura 3.2: Etapas de la caracterización química de ambas especies	31
Figura 3.3: Etapas de la caracterización morfológica – cortes histológicos	31
Figura 3.4: Etapas de la caracterización morfológica – datos biométricos – longitud y ancho de ambas especies	32
Figura 3.5: Etapas de la caracterización morfológica – datos biométricos – longitud y ancho de ambas especies	33
Figura 3.6: Esquema de fraccionamiento	34
Figura 3.7: Clasificador de fibras Bauer Mcnett	35
Figura 3.8: Centrífuga 3000 RPM	38
Figura 3.9: Viscosímetro digital	40
Figura 4.1: Gráfico de medias para las densidades básicas de la especie <i>Guadua trinii</i>	43
Figura 4.2: Gráfico de medias para las densidades básicas de la especie <i>Guadua angustifolia</i>	44
Figura 4.3: a. Disgregado de <i>Guadua trinii</i> , b. Disgregado de <i>Guadua angustifolia</i>	55
Figura 4.4: a.Corte radial 10X de <i>G. trinii</i> , b. Corte radial 40X de <i>G. trinii</i> , c. Corte radial 10X de <i>G. angustifolia</i> , d. Corte radial 40X de <i>G. angustifolia</i>	55
Figura 4.5: a.Corte longitudinal 10X de <i>G. trinii</i> , b. Corte longitudinal 40X de <i>G. trinii</i> , c. Corte longitudinal 10X de <i>G. angustifolia</i> , d. Corte longitudinal 40X de <i>G. angustifolia</i>	56
Figura 4.6: a.Corte transversal 10X de <i>G. trinii</i> , b. Corte transversal 40X de <i>G. trinii</i> , c. Corte transversal 10X de <i>G. angustifolia</i> , d. Corte transversal 40X de <i>G. angustifolia</i>	56
Figura 4.7: Frecuencia de largo aritmético de <i>Guadua trinii</i>	59
Figura 4.8: Frecuencia de largo aritmético de <i>Guadua angustifolia</i>	59
Figura 4.9: Frecuencia del ancho de <i>Guadua trinii</i>	60
Figura 4.10: Frecuencia del ancho de <i>Guadua angustifolia</i>	61
Figura 4.11: Frecuencia del espesor de pared de <i>Guadua trinii</i>	63
Figura 4.12: Frecuencia del espesor de pared de <i>Guadua angustifolia</i>	63
Figura 4.13: Imágenes de microscopía óptica de la medición de longitud de fibra de <i>Guadua angustifolia</i> S/HT. Magnificación 10X	66
Figura 4.14: Imágenes de microscopía óptica de la medición de longitud de fibra de <i>Guadua angustifolia</i> C/HT. Magnificación 10X	66
Figura 4.15: Imágenes de microscopía óptica de la medición de longitud de fibra de <i>Guadua trinii</i> S/HT. Magnificación 10X	67
Figura 4.16: Imágenes de la medición de longitud de fibra de <i>Guadua trinii</i> S/HT.	67
Figura 4.17: Imágenes de la medición de ancho de fibra de <i>Guadua angustifolia</i> S/HT. Magnificación 20X	70

Figura 4.18: Imágenes de la medición de ancho de fibra de <i>Guadua angustifolia</i> C/HT. Magnificación 20X	70
Figura 4.19: Imágenes de la medición de ancho de fibra de <i>Guadua trinii</i> S/HT. Magnificación 20X	71
Figura 4.20: Imágenes de la medición de ancho de fibra de <i>Guadua trinii</i> C/HT. Magnificación 20X	71
Figura 4.21: Gráfico de medias para los largos de fibra de la especie <i>Guadua angustifolia</i> pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico	72
Figura 4.22: Gráfico de medias para los largos de fibra de la especie <i>Guadua angustifolia</i> pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico	73
Figura 4.23: Gráfico de medias para los largos de fibra de la especie <i>Guadua trinii</i> pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico	74
Figura 4.24: Gráfico de medias para los largos de fibra de la especie <i>Guadua trinii</i> pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico	75
Figura 4.25: Gráfico de medias para los anchos de fibra de la especie <i>Guadua angustifolia</i> pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico	77
Figura 4.26: Gráfico de medias para los anchos de fibra de la especie <i>Guadua angustifolia</i> pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico	78
Figura 4.27: Gráfico de medias para los anchos de fibra de la especie <i>Guadua trinii</i> pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico	79
Figura 4.28: Gráfico de medias para los anchos de fibra de la especie <i>Guadua trinii</i> pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico	80
Figura 4.29: Gráfico de medias para el lumen de fibra de la especie <i>Guadua angustifolia</i> pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico	82
Figura 4.30: Gráfico de medias para el lumen de fibra de la especie <i>Guadua angustifolia</i> pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico	83
Figura 4.31: Gráfico de medias para el lumen de fibra de la especie <i>Guadua trinii</i> pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico	84
Figura 4.32: Gráfico de medias para el lumen de fibra de la especie <i>Guadua trinii</i> pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico	85
Figura 4.33: Gráfico de medias para el espesor de pared de fibra de la especie <i>Guadua angustifolia</i> pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico	87
Figura 4.34: Gráfico de medias para el espesor de pared de fibra de la especie <i>Guadua angustifolia</i> pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico	88
Figura 4.35: Gráfico de medias para el espesor de pared de fibra de la especie <i>G. trinii</i> pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico	89
Figura 4.36: Gráfico de medias para el espesor de pared de fibra de la especie <i>G. trinii</i> pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico	90
Figura 4.37: Difracción de rayos X para la pulpa de <i>Guadua trinii</i> sin tratamiento hidro-térmico	98
Figura 4.38: Difracción de rayos X para la pulpa de <i>Guadua angustifolia</i> sin tratamiento hidro-térmico	99
Figura 4.39: Difracción de rayos X para la pulpa de <i>Guadua trinii</i> con tratamiento hidro-térmico	99
Figura 4.40: Difracción de rayos X para la pulpa de <i>Guadua angustifolia</i> con tratamiento hidro-térmico	100
Figura 4.41: Producción de nanocelulosa	101
Figura 4.42: Viscosidad de nanocelulosa en función de la velocidad de corte de <i>Guadua angustifolia</i> con y sin tratamiento hidro-térmico	104

- Figura 4.43:** Viscosidad de nanocelulosa en función de la velocidad de corte de *G. trinii* con y sin tratamiento hidro-térmico 105
- Figura 4.44:** Línea de tendencia de la correlación entre Grupos carboxílicos ($\mu\text{Eq/g}$) vs. Viscosidad en agua (mPa.s) 105

I. INTRODUCCIÓN

La industria forestal tiene la gran oportunidad de poder aprovechar la silvicultura y el manejo de madera para la producción de biocombustibles, biomateriales y bioproductos. Los subproductos lignocelulósicos del manejo de bosques implantados (como ramas y troncos) y de la conversión primaria de la madera (virutas y aserrín principalmente), se pueden emplear como materia prima que puede reemplazar petróleo crudo o gas natural en muchas aplicaciones. (1)

El valor económico de la biomasa está determinado por la relación entre los ingresos procedentes de los diversos productos a valores de mercado y los costos su producción. La IEA Bioenergy ha desarrollado la siguiente definición para la biorrefinería: Biorrefinería es el procesamiento sostenible de la biomasa en un espectro de productos comercializables y la energía. Esto significa que la biorrefinería puede constituir una instalación, un proceso, una planta, o incluso un grupo de instalaciones. (2)

Una biorrefinería es una estructura que produce combustibles, energía y productos químicos a partir de la biomasa; surge debido a la necesidad de cuidar el medio ambiente y se realiza mediante la aplicación de procesos de ciclo cerrado, y amigables con la naturaleza. En sus comienzos y debido a los problemas con el petróleo, se consideró la obtención de etanol como combustible a partir de los subproductos lignocelulósicos, y más tarde, se encontró que además de biocombustibles era posible obtener otros productos químicos a partir de la biomasa aplicando el concepto de biorrefinería. (3)

La biorrefinería a partir de materias primas lignocelulósicas abarca la refinación de la biomasa lignocelulósica (madera, paja, etc.) con salidas intermedias (celulosa, hemicelulosas, lignina) a procesar en un espectro de productos y bioenergía. Se espera que la biomasa lignocelulósica se convierta en la fuente más importante de biomasa del futuro ya que presenta costos moderados y, menor competencia con la producción de alimentos. (4)

Los productos a partir de la biorrefinería sirven para la incorporación de la biomasa en la elaboración y formulación de estrategias energéticas a corto, mediano y largo plazo; demandan de análisis de impactos técnicos, económicos, ecológicos, ambientales y sociales; y contribuyen al manejo

sustentable de los recursos naturales para la producción de materias primas para la producción de bioenergía. (5)

La biorrefinería es una verdadera oportunidad para la industria, ya que puede ayudar a mejorar la rentabilidad de las empresas que procesan materiales lignocelulosicos. Esto ha llevado a intensificar el estudio de los materiales lignocelulósicos como materia prima alternativa renovable para la industria energética, de productos químicos, farmacéuticos y para la fabricación de biomateriales. (6)

El bambú es un recurso lignocelulósico disponible en grandes cantidades y de rápido crecimiento, que generalmente no requiere pesticidas ni fertilizantes para su cultivo. Son plantas perennes leñosas cuya floración es poco frecuente y algunas especies incluso florecen después de un intervalo muy largo de crecimiento vegetativo. Por lo tanto, la demarcación taxonómica de géneros y especies de bambúes leñosos hasta ahora no está bien resuelta. Aunque se conocen más de 1000 especies de bambú en el mundo, solamente alrededor de 50 especies son aprovechadas comercialmente.

El potencial del bambú como un recurso lignocelulósico se basa en su elevada rapidez de crecimiento y sus propiedades de absorción de carbono. El bambú no requiere replantación después de la cosecha, ya que rebrota a partir de la estructura de raíz de rizomas.

Las plantaciones de bambú (*Guadua angustifolia*) se han promovido en Perú desde el año 2005, utilizando una técnica colombiana, que facilita su propagación. Esto ha permitido que las plantaciones de bambú pasaran de unas 3000 ha a más de 10000 ha, en un lapso de 12 años. Su cultivo es alentado por el mercado de la caña de bambú, entera y rolliza, de aproximadamente 6 m de longitud, cuyo precio sin valor agregado se incrementó de 0,5 a 3 USD por unidad para el mercado de la construcción (extensiones de terrazas, casas de campo, almacenes agrícolas, etc.). El 90% del bambú proviene de plantaciones, y se llega a pagar hasta 10 dólares por unidad. A pesar de la crisis del 2008, el mercado sigue creciendo, incluso haciendo frente a la competencia de China, que no posee este tipo de bambú.

La estructura de *Guadua* es más simple que la de la madera y se cosecha a los

4 años. Es hueca por dentro, alcanza diámetros de 17 cm, con espesor de pared de 15 mm, excepcionalmente puede llegar a 18 mm. El tallo alcanza alturas de hasta 25 m, aunque depende de la región. Al sur de Lima (provincia de Mala) llega a 16 m. En la zona Nor-oriental (Cajamarca, Amazonas y San Martín) y selva central (Pasco, Junín) crece en pisos altitudinales de entre 900 a 1400 msnm.

En el año 2016, en la Universidad Agraria La Molina (UNALM), con algunos socios institucionales, se ha instaurado un Círculo de Investigación del Bambú (CIB) del Perú. La UNALM promueve la investigación con bambú en 3 campos: la cadena de valor y mercados, la taxonomía y etnobotánica, y por último la tecnología para su transformación. El mercado del bambú es muy complejo aún, a pesar que predomina el mercado de la construcción. La producción de bambú es muy dispersa, conformando un mercado muy entrelazado entre comerciantes, productores, transportistas y la autoridad oficial.

Guadua angustifolia (caña de Guayaquil) es una de las más duras, alcanza una densidad básica de 700 kg/m³; en Paraguay y NE de Argentina (Misiones y Corrientes) hay una similar, *Guadua chacoensis* (caña tacuara) que crece de forma silvestre. (7)

Guadua trinii es una planta de 8-10 m de alto. Presenta rizomas definidos, paquimorfos. Las cañas de 3-5 cm diámetro son huecas, con paredes de 5-7 mm de espesor (8). Se puede encontrar en el sur de Brasil, Uruguay y la Argentina. En Argentina, esta especie habita en las provincias de Buenos Aires, Corrientes, Entre Ríos y Misiones. Crece en el interior de la Selva Misionera llegando a formar matas densas imposibles de penetrar. (9) Esta especie se emplea en la construcción de las paredes de los ranchos, al adherirse el barro a las espinas y asperezas (10,11); también ha sido utilizada en la industria de fabricación de papel. (12)

Este trabajo se integra al estudio de Biorrefinerías de recursos fibrosos no convencionales para obtener productos de alto valor del PROCYP. (13,14)

El objetivo general de este trabajo es valorizar un recurso de rápido crecimiento y gran interés regional, obteniendo celulosa, hemicelulosas, lignina y extractivos, como fuente de productos de alto valor. La hipótesis de trabajo es

que se pueden obtener productos de alto valor como la nanocelulosa a partir de recursos lignocelulósicos no tradicionales como la tacuara (*Guadua trini*) y el bambú (*Guadua angustifolia*), aprovechando integralmente estos materiales lignocelulósicos mediante la utilización de procesos de fraccionamiento eficientes, económicos y de baja contaminación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. *Poaceae, Bambusoideae*

Las especies vegetales conocidas comúnmente como bambú pertenecen a la familia *Poaceae*, y están agrupadas en la subfamilia *Bambusoideae*, la cual posee 75 géneros y 1250 especies, distribuidas a lo largo del mundo, exceptuando Europa. (15,16)

El mayor número de especies de bambúes se encuentran en la región del Pacífico asiático, donde los géneros más comunes son *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Farsia* y *Phyllostachys*. En América tropical, existe casi la mitad de la diversidad mundial de bambúes, con un total de 41 géneros y 451 especies (17). Los bambúes comprenden la más primitiva, diversa y menos estudiada subfamilia de las gramíneas. Incluye miembros herbáceos y leñosos ubicados dentro de dos grandes supertribus: *Olyrodae* (bambúes herbáceos) y *bambusodae* (bambúes leñosos). (18) La Figura 2.1 muestra la distribución geográfica de los bambúes (19).

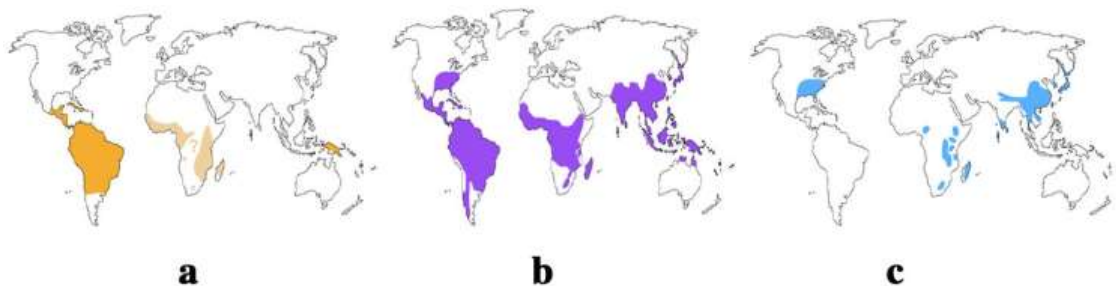


Figura 2.1. Distribución geográfica de los bambúes: (a) bambú herbáceo, (b) todos los bambúes leñosos, y (c) bambúes leñosos de climas templados. (19)

Los bambúes leñosos, o de la tribu *Bambuseae*, se dividen en nueve subtribus, tres endémicas de América (*Astrostylidiinae*, *Chusqueinae* y *Guaguinae*), cinco del Asia (*Bambusinae*, *Nastinae*, *Melocanninae*, *Racemobambosinae* y *Shibataeinae*) y una común para ambos continentes (*Arundinatiinae*). Los bambúes leñosos se caracterizan por tener rizomas fuertes bien desarrollados,

culmos leñosos, brotes nuevos protegidos por hojas caulinares, complejos sistemas de ramificación, lámina foliar decidua, floraciones cíclicas y espigas con múltiples flores bisexuales (17). Crecen en hábitats abiertos, donde son polinizados por el viento, y su diversidad está asociada con la radiación que llega a los diversos valles y laderas abruptas de cordilleras, montañas y serranías.

En cuanto a su utilización, en el Hemisferio Oriental existen especies apropiadas para la producción de celulosa, papel y biocombustible, como son *Bambusa vulgaris* Var. *vulgaria* y *Dendrocalamus strictus*; otras para la construcción de distintos tipos de muebles, caracterizados por ser livianos y confortables; como el género *Schizostochyum*, y también por ser ricas en sabor y textura como el *Dendrocalamus asper*, el cual es utilizado en la producción de rebrotes comestibles a nivel industrial.

Por otro lado, en los últimos años, casi todos los países de América se han involucrado en el estudio del conocimiento integral sobre los bambúes, profundizando en temas relacionados con su caracterización y utilización. Colombia es un país rico en conocimiento sobre este tipo de plantaciones, su utilización e industrialización, especialmente con su especie nativa *Guadua angustifolia*. Brasil cuenta con grandes extensiones de plantaciones de *Bambusa vulgaris* como generadoras de materia prima para la producción de celulosa, papel y etanol. Costa Rica posee un proyecto de vivienda social que promueve el uso de *Guadua angustifolia* como materia prima para la construcción de viviendas.(18)

Los bambúes son plantas con una gran diversidad morfológica; hay géneros desde unos pocos centímetros de altura con tallos herbáceos hasta bambúes de 30 metros de altura con tallos leñosos (20). McClure menciona que los bambúes están conformados principalmente por rizomas, culmos y ramas, además de yemas, hojas caulinares, follaje, inflorescencia y frutos (21). Aunque el estudio taxonómico de las plantas se hace a partir de la flor, la floración infrecuente de los bambúes ha dado como resultado que otras estructuras morfológicas jueguen un papel relevante en la clasificación de estas plantas. A continuación, se describe cada una de estas estructuras:

- *Rizoma*: Es el órgano responsable de la reproducción vegetativa a través de su ramificación (22). El sistema de rizomas forma la parte subterránea de la planta sirviéndole de anclaje a ésta en el suelo. Los rizomas cumplen una función vital: es el órgano responsable de la reproducción vegetativa a través de la ramificación de los rizomas. También cumple una función de almacenaje y transporte de nutrientes. (23) Es un eje segmentado, típicamente subterráneo, que constituye la estructura de soporte de la planta y juega un papel importante en la absorción de nutrientes. Existen tres formas básicas de rizomas: paquimorfo, leptomorfo y amfimorfo. (17)
- *El culmo*: Constituye el eje aéreo segmentado que emerge del rizoma; equivale al tallo de otras plantas leñosas. Se divide en tres partes: cuello, nudos y entrenudos. El cuello es la parte que une el rizoma y el culmo, los nudos son los puntos de unión de los entrenudos; y los entrenudos son la porción del culmo comprendida entre dos nudos (17). Es precisamente de esta parte de la planta, a partir de la cual se usa para la elaboración de papel. En la Figura 2.2, se puede ver la estructura morfológica del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth.

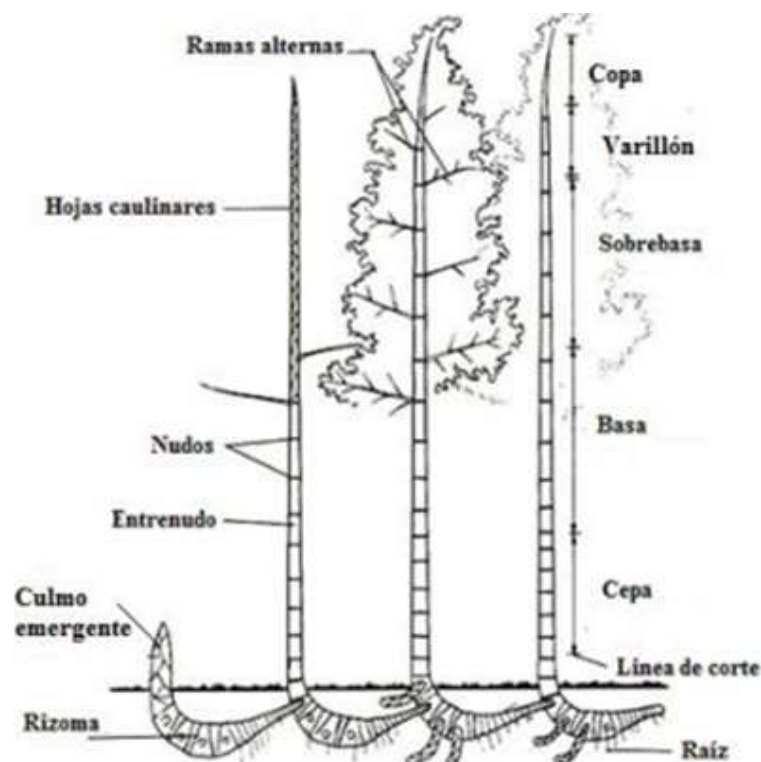


Figura 2.2: Estructura morfológica del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth.

(24)

- *Ramas*: Según Judziewic se presume que el sistema de ramificación de los bambúes leñosos es una adaptación por la competencia de luz por lo que la rápida expansión de superficies fotosintéticas y la posición óptima de las hojas son factores importantes. (23)
- *Hojas*: Las hojas de bambú caen y se renuevan un año después de su aparición. Incluso la temporada y la forma de renovación es diferente de acuerdo a la especie. Esta forma de mantenerse verde es para aumentar la eficiencia fotosintética. (23)
- *Hoja caulinar*: Según Judziewic consiste en una hoja amplia, una lámina reducida o modificada, y una lígula interna, pero la lígula externa está usualmente ausente. Pueden presentarse aurículas y fimbrias y una banda de tejido conocida como “faja” conecta a la base de la hoja con la línea nodal. (23)
- *Inflorescencia*: La espiguilla es la unidad básica de la inflorescencia de las *Poaceae*. En *Guadua angustifolia* es una panícula con flores pequeñas e imperfectas, de hasta 9 cm de longitud que se encuentran ubicadas en los extremos de las ramas. Son bisexuales, poco vistosas y de color rosado claro. (22)

1.1. *Guadua angustifolia*

Nombre científico: *Guadua angustifolia*

Nombre común: Bambú, caña guadua, caña brava, caña macho, caña de Guayaquil.

Familia: *Poaceae*

Guadua angustifolia es una especie endémica en América y se le considera como nativa de Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú. La distribución de esta especie se da en las siguientes zonas: bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST), bosque húmedo subtropical (bh-ST), bosque seco tropical (bs-T) y bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB). Crece desde 0 msnm hasta 2600 msnm, con temperaturas muy variables que van desde 16 °C hasta 36 °C, soporta alta humedad ambiental. (17)

Es un bambú de rizoma paquimorfo, nativo del sureste suramericano, particularmente de Colombia y Ecuador. Se encuentra en grupos de tallos espaciados, arqueados apicalmente; los tallos presentan color verde oscuro a verde claro y una banda blanquecina de 1,0 a 1,5 cm. de ancho en los nudos (25). Esta especie es la más sobresaliente de los bambúes americanos y es muy importante a nivel mundial. Es el tercer bambú más alto del mundo superado únicamente por dos especies asiáticas. (18)

Dentro de todos los bambúes americanos, la especie que más sobresale es *Guadua angustifolia* (17,26), seleccionada como una de las 20 mejores del mundo por sus excelentes propiedades físico-mecánicas, su gran tamaño (20 a 30 m) y por su comprobada utilización en la industria de la construcción y en la industria de pisos, paneles y aglomerados (26).

Guadua angustifolia tiene fibras naturales muy fuertes que permiten desarrollar productos industrializados tales como pisos de parquet, paneles, aglomerados, laminados y esteras. También, por su alto contenido de celulosa es una buena fuente para la producción de pulpa y papel (26). *Guadua* es considerada como uno de los bambúes de América más apropiados para la fabricación de papel (27). Su pulpa puede compararse con las pulpas obtenidas de *Bambusa tulda* de la India y *Arundinaria alpina* en África. Esta es la especie de bambú más utilizada en el Perú, presentando una considerable cantidad de usos, muchos de los cuales no presentan un mayor grado de procesamiento. Sin embargo, en el país se consumen muchos productos de otras especies de bambú que pueden ser elaborados tomando como materia prima cañas de esta especie. Las cañas de bambú son utilizadas como secciones de tallo directamente o con diversos grados de transformación; secas y preservadas para construcciones, abiertas para cerramientos y secciones basales y apicales para usos de acompañamiento de la construcción y agricultura.

1.2. *Guadua trinii*

Nombre científico: *Guadua trinii*

Nombre común: Tacuarazú, tacuara brava, yatevó, caña brava, tacuara pytá, tacuara.

Familia: Poaceae

Es una planta de 8-10 m de alto que presenta rizomas definidos y paquimorfos. Las cañas tienen 3-5 cm de diámetro y son huecas, con paredes de 5-7 mm de espesor. Los entrenudos son rugosos, ásperos y surcados con nudos con espinas rígidas y curvadas. Las hojas del culmo poseen vainas de 15-19 x 12-18 cm, mientras que las hojas del follaje tienen vainas pubescentes, estriadas y glabras en ambas caras, a veces pubescentes hacia el ápice de la cara adaxial. Carece de florescencia paniculada, de 1 m o más de largo, ramificada y foliosa. Presenta pseudoespiguillas de 2,5-3 x 0,6-0,7 cm, 5-8-floras, linear-lanceoladas, místicas, lustrosas, pajizas, a veces con tintes violáceos, glabras; glumas y glumelas aovadas, ápice agudo; gluma superior coriácea, 11-17-nervias, ápice agudo. (8)

Se puede encontrar en el sur de Brasil, Uruguay y la Argentina. En Argentina, habita en las provincias de Buenos Aires, Corrientes, Entre Ríos y Misiones. Crece en el interior de la Selva Misionera llegando a formar matas densas imposibles de penetrar. Es frecuente en la zona paranaense y en la región de los afluentes del río Uruguay, extendiéndose por los bosques en galería de Buenos Aires, en sus riberas, hasta el Delta del Paraná y los bosques ribereños de Hudson y Punta Lara, cerca de La Plata. (9)

Esta especie se emplea en la construcción de las paredes de los ranchos, al adherirse el barro a las espinas y asperezas (10,11) también ha sido utilizada en la industria para la fabricación de papel. (12)

2. Bambú como materia prima fibrosa

Los materiales lignocelulósicos no madereros más utilizados en el mundo para la producción de celulosa son: la paja (44%), el bagazo de caña de azúcar (18%), juncos (14%), bambú (13%), entre otros. El bambú presenta ventajas tales como:

crecimiento rápido, renovación a corto plazo y fácil propagación, propiedades que convierten al bambú en una materia prima potencial para la producción de celulosa para papel. La potencialidad del bambú como materia prima en la producción de pulpa y papel de elevada resistencia ha sido demostrada por diversos estudios. (28)

La pulpa proveniente del bambú presenta propiedades diferentes a otras pulpas procedentes de fibras de madera, sin embargo, presenta igual o mayor resistencia al rasgado que ellas. Se estima que alrededor de 35 especies de bambú son utilizadas como materia prima para la industria de pulpa y papel (29). Dependiendo de la especie, puede presentar fibras de características similares a las de latifoliadas y otras poseen fibras semejantes a las coníferas, así como existen especies de características intermedias. (30)

Muchas especies de bambú son aprovechadas para la producción de pulpa y papel, teniendo como ventajas su rápido crecimiento, facilidad del cultivo y transporte. (31)

En 2010, la industria del bambú en el mundo fue valorada en 1 billón de dólares americanos y Estados Unidos fue el principal importador de bambú en el mundo. Las fibras alternativas para la fabricación de papel podrían mejorar el nivel de empleo en el sector agricultura. El uso de fibras y materiales de bambú es más sostenible debido a que requiere menos agua y herbicidas que otros cultivos. (32)

En algunos países como China e India, el bambú constituye la principal fuente de materia prima para la producción de celulosa y papel. En 2003, la industria celulósica representó aproximadamente la mitad del consumo de bambú de la India, es decir, alrededor de 3 millones de toneladas para la producción de pulpa. (16,33)

Brasil, China y Japón son los únicos países que cuentan con extensas plantaciones para su comercialización, destacándose las plantaciones comerciales de bambú como generadores de materia prima para la producción de celulosa, papel y alcohol etílico en Brasil.(18,34)

A pesar de las ventajas agronómicas y tecnológicas de la pulpa celulósica producida a partir de bambú, su producción a nivel mundial es de baja escala.

Esto se debe principalmente, a la falta de información científica acerca de la constitución química y anatómica del bambú, y al desconocimiento tecnológico con respecto al procesamiento industrial adecuado de esta materia prima. (16)

En el Perú (Pucallpa, 1978), la empresa Paramonga Limitada S.A. instaló parcelas de bambú con fines experimentales para la producción de pulpa de papel. Los resultados fueron satisfactorios en plantaciones de cuatro años de *Bambusa vulgaris var. Striata*. Esta especie fue propagada en mayor escala en los terrenos de propiedad de la ex Papelera Pucallpa; pero por razones coyunturales se encuentra abandonada. (35)

Rubio (36) obtuvo un rendimiento de pulpa (factor H de 1000) en el rango de 40 - 50% a partir de *Guadua angustifolia*, utilizando un 18% de álcali activo; este porcentaje es mayor al obtenido por Clark & White (37), quien obtuvo pulpa a la soda, sin utilizar aditivos. También Rubio (36) menciona que, a mayor cantidad de álcali activo empleado, menor fue el rendimiento obtenido de pulpa, independientemente del factor H utilizado, lo cual coincide con Fuenmayor et al. (38), quienes señalan que el álcali activo es uno de los parámetros principales en el proceso de reducción de la pulpa, pues se relaciona directamente con la intensidad de las reacciones de deslignificación y la subdivisión de carbohidratos. La lignina residual muestra una relación directa con el rendimiento de obtención de pulpa y también disminuye conjuntamente con las otras determinaciones químicas, a medida que las condiciones de digestión son más enérgicas. (39)

3. Caracterización morfológica del bambú

Las fibras de bambú contribuyen 40-50% del volumen total del culmo y representa 60-70% del peso de la planta. Se localizan en los internodos, formando una capa protectora alrededor de los haces vasculares. Cerca de los nodos las fibras son cortas, mientras que hacia la zona central del internodo las fibras son largas. (40)

En la Figura 2.3 se muestra una ilustración esquemática de la estructura de la pared secundaria de una fibra en *Bambusa polimorfa*; en la figura se observa la

estructura en una fibra (a); y la estructura detallada (b), que muestra la orientación de las microfibrillas trenzadas entre las capas L2 y L3. Se debe tener en cuenta que la capa estrecha N2 está acompañada por zonas de transición (*t*). La pared primaria (*P*) es la capa más externa. Se observan la pared secundaria (*O*), las capas anchas (L1-L4), capas estrechas (N1-N3) y zona de transición (*t*).

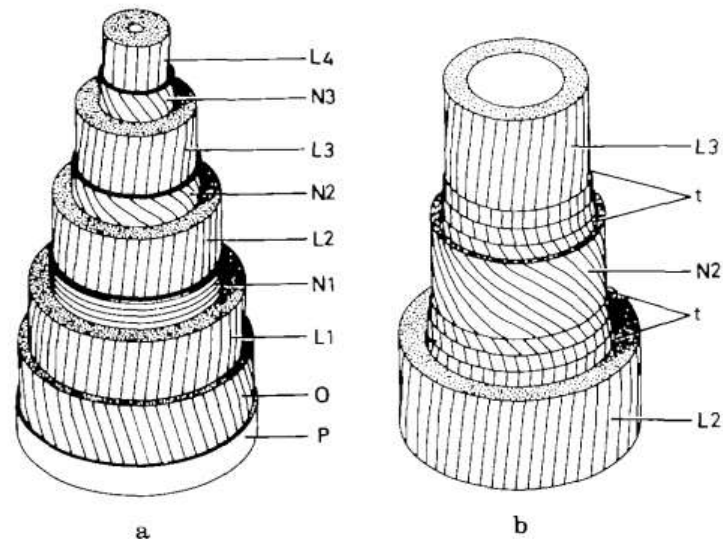


Figura 2.3: Ilustración esquemática de la estructura de la pared secundaria de una fibra en *Bambusa polymorfa*; (a) Estructura de una fibra; (b) estructura detallada. (41).

Las fibras del bambú, como regla, tienen la misma longitud que las fibras de latifoliadas pero son más cortas que las fibras de la mayoría de las coníferas. Sin embargo, las fibras de la especie *Bambusa vulgaris*, son más largas que la mayoría de las especies tropicales, y llegan a alcanzar la longitud de las fibras de pino. Los estudios de elasticidad de fibras en bambú señalan que son flexibles y fuertes. También se ha demostrado que el papel de bambú tiene buenas características en suavidad y absorción, por lo que se podrían utilizar en la manufactura de materiales de alta calidad, tales como papel tissue, papel bond, entre otros. (42)

El término fibras naturales cubre la gama de fibras vegetales, animales y vegetales. Sin embargo, en la industria de los materiales compuestos, por lo general se refiere a la fibra de madera, fibras del tallo, hojas, semillas y tallos de origen agroindustrial. Las fibras naturales muestran conjuntos jerárquicos de

microfibras llamada microfibrillas, que a su vez son el producto de la arquitectura supramolecular del polímero de celulosa. (43)

La naturaleza microfibrilar de la celulosa se estableció a partir de observaciones de microscopía electrónica (44,45). Para describir la disposición de las cadenas dentro de las microfibrillas, se han propuesto varios modelos, entre ellos los modelos con cadenas estiradas (46,47) y los modelos con cadenas dobladas. (48–50)

Las propiedades mecánicas de la celulosa se pueden caracterizar por sus características tanto en las regiones ordenadas (cristalinas) como en las desordenadas (amorfas) de la molécula. Las regiones amorfas aportan flexibilidad y plasticidad al material; mientras las regiones cristalinas contribuyen a la rigidez y a la elasticidad del material. (43)

Los culmos de *Bambusa vulgaris* provenientes de Sarawa (Nigeria) presentan una longitud promedio de sus fibras de 2,88 mm con un diámetro promedio de 14,8 μm , mientras que el diámetro promedio del lumen es de 9,55 μm (espesor de pared 2,58 μm). (51)

Las características biométricas para las siguientes especies de bambú, se muestran en la Tabla 2.1 (52):

Tabla 2.1: Características Biométricas de diferentes especies de bambú (52).

Especie	Longitud de fibra (mm)	Diámetro de Fibra (μm)	Espesor de pared (μm)
<i>Bambusa guadua</i>	1,3	10	2
<i>Bambusa arundinacea</i>	1,1	10	2
<i>Bambusa vulgaris</i>	1,2	11	3
<i>Bambusa amplexifolia</i>	1,2	10	2

En la Tabla 2.2 se presentan los resultados de un estudio anatómico de culmos de *Guadua aculeata* Rupr. provenientes de Puebla-México. (53) Las longitudes de fibra de los extremos del culmo y los anchos de la tercera parte (base) y los dos tercios de los culmos de diferentes especies se muestran en la Tabla 2.3.

(37) La Tabla 2.4 presenta el estudio biométrico de las especies *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris*. (36)

Tabla 2.2: Estudio anatómico de la especie *Guadua aculeata* Rupr. (53)

Variable	Sección longitudinal	Sección entrenudo			Sección cercana al nudo			Promedio
		Interno	Medio	Externo	Interno	Medio	Externo	
Longitud de fibra (mm)	Inferior	2,15	2,66	2,56	2,22	2,44	2,52	2,42
	Media	1,84	2,25	2,13	1,93	2,15	2,13	2,07
	Superior	1,84	2,22	2,12	1,66	1,99	1,96	1,96
	Promedio	1,94	2,38	2,27	1,93	2,19	2,20	2,15
Diámetro de fibra (µm)	Inferior	13,58	16,72	15,12	13,29	15,68	14,11	14,75
	Media	12,33	14,14	14,06	12,69	14,37	17,47	13,68
	Superior	12,22	13,42	12,62	12,15	13,02	12,21	12,61
	Promedio	12,71	14,76	13,93	12,71	14,36	13,60	13,68
Diámetro de lumen (µm)	Inferior	3,29	3,92	3,36	3,25	3,64	3,52	3,50
	Media	3,03	3,29	3,79	3,10	3,65	3,36	3,37
	Superior	3,07	3,26	3,04	2,69	3,01	2,99	3,01
	Promedio	3,13	3,49	3,40	3,01	3,44	3,29	3,29
Grosor de pared (µm)	Inferior	5,15	6,40	5,88	5,02	6,02	5,29	5,63
	Media	4,65	5,43	5,13	4,80	5,36	5,55	5,15
	Superior	4,58	5,08	4,79	4,73	5,00	4,61	4,80
	Promedio	4,79	5,64	5,27	4,85	5,46	5,15	5,19

Nota: Los promedios con letras iguales presentan diferencia no significativa entre ellas con un nivel de significancia de 5 por ciento.

Tabla 2.3: Dimensiones medias de la fibra de la materia prima de bambú. (37)

Especies	Longitud promedio de fibras ¹ (mm)	Ancho promedio de fibra ¹ (mm)	Relación largo/ancho ¹
<i>Bambusa vulgaris</i>	2,28 a	0,0096 bcde	240 a
<i>Phyllostachys rubromarginata</i>	1,77 b	0,0093 cde	190 b
<i>P. purpurata "Straighystem"</i>	1,72 bc	0,0096 bcde	176 bcd
<i>B. tuldoides</i>	1,70 bc	0,0097 bcde	176 bcd
<i>P. viridis</i>	1,69 bc	0,0114 ab	146 cdef
<i>P. meyeri</i>	1,62 bc	0,0092 cde	156 bcdef
<i>P. aurea</i>	1,61 bc	0,0108 abcd	149 bcdef
<i>Guadua angustifolia</i>	1,60 bc	0,0111 abc	148 cdef
<i>B. tulda</i>	1,56 bc	0,0096 bcde	161 bcdef
<i>P. flezuosa</i>	1,54 bc	0,0096 bcde	16 bcdef
<i>P. arcana</i>	1,52 bc	0,0117 a	130 ef
<i>B. longispiculata</i>	1,48 bc	0,0082 e	182 bc
<i>P. nidularia</i>	1,48 bc	0,0090 de	166 bcde
<i>P. purpurata "Solidstem"</i>	1,48 bc	0,0091 de	162 bcdef
<i>P. nigra "Henon"</i>	1,43 bc	0,0089 de	145 cdef
<i>P. vivar</i>	1,38 bc	0,0102 abcd	134 ef
<i>P. bambusoides</i>	1,37 bc	0,0104 abcd	132 ef
<i>P. pubescens</i>	1,30 bc	0,0093 cde	140 def
<i>P. gureosulcata</i>	1,26 bc	0,0082 e	156 bcdef
<i>P. dulcis</i>	1,20 c	0,0096 bcde	124 f

¹ Para una medida dada, dos promedios seguidos por la misma letra o letras no son significativamente diferentes en 5% según la prueba de Rango de Duncan. El mismo grado de importancia se aplica a las relaciones de longitud y ancho.

La longitud promedio de las fibras en bruto de bambú están en un rango aproximado de 102,1 μm mientras que el de la celulosa de bambú estaba en el rango de 91,4 μm . (54) Un parámetro importante para predecir las propiedades papeleras a través de la morfología de las fibras es el índice de Runkel, el cual es la relación entre el doble del espesor de la pared y el diámetro del lumen (55).

Tabla 2.4: Resultados de estudio biométrico de las especies *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris*. (36)

Especie	<i>Guadua angustifolia</i>	<i>Bambusa vulgaris</i>
Longitud de fibra (mm)	2,70	2,19
Diámetro e fibra (μm)	12,95	14,23
Grosor de pared (μm)	5,32	2,39
Diámetro de lumen (μm)	7,63	11,85
Índice de Runkel	1,40	0,40

Otras relaciones matemáticas utilizadas para tratar de relacionar mejor las propiedades de la hoja y los parámetros fibrosos son los coeficientes de flexibilidad, fieltabilidad y coarseness. (56)

$$\text{Índice de Runkel} = \frac{2e}{\lambda} = \frac{(A-\lambda)}{\lambda} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Dónde: λ es el ancho del lumen, A el ancho total de fibra y e el espesor de pared de fibra.

El Coeficiente de flexibilidad se define como:

$$f = \frac{\lambda}{A} = \frac{(A-2e)}{A} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Dónde: f es el coeficiente de flexibilidad, λ es el ancho del lumen, A el ancho total de fibra y e el espesor de pared de fibra.

El Coeficiente de fieltabilidad está dado por la Ecuación 2.3:

$$F = \frac{L}{A} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Dónde: F representa el coeficiente de fieltabilidad, L es la longitud de fibra y A es el ancho.

El Coarseness se determina a partir de la Ecuación 2.4:

$$\text{Coarseness} = \frac{\text{Peso}}{\text{Longitud}} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Relacionado con: Área ocupada = Área total sección — Área del lumen

La densidad básica de la madera se encuentra fuertemente correlacionada con el grosor de pared de la fibra, diámetro del lumen y longitud de la fibra; esto tiene un efecto en la calidad de la pulpa. Una madera que posee una densidad elevada se caracteriza por tener una pared celular gruesa y lumen angosto, y por lo tanto más cantidad de material y menos espacios vacíos por unidad de volumen, en tanto que ocurrirá lo contrario con maderas de baja densidad (57). El coeficiente de flexibilidad de las maderas densas será inferior a las maderas de baja densidad, y por lo tanto, su pulpa será de menor calidad. La Tabla 2.5 (58) presenta una clasificación de la aptitud papelera de las fibras en base al índice de Runkel.

Tabla 2.5: Clasificación de la relación de Runkel. (58)

Grado	Rango	Clasificación
I	< 0,25	Excelente
II	0,25 – 0,50	Muy buena
III	0,50 – 1,00	Buena
IV	1,00 – 2,00	Regular
V	> 2,00	Mala

4. Caracterización química del bambú y de sus pulpas

La composición química de las materias primas fibrosas, desde el punto de vista papelerero, es importante para complementar la evaluación de la aptitud para fabricación de pulpa para papel. Las especies con contenidos altos de celulosa y hemicelulosas y contenidos bajos de lignina, extractivos y cenizas presentan mejores posibilidades que aquellas cuya composición es inversa. (59)

La composición química del bambú es bastante similar a las maderas de latifoliadas. Sus principales constituyentes son: celulosa, hemicelulosas y lignina, los cuales representan el 90% del total de masa. Otros constituyentes en menor cantidad son: las resinas, taninos, entre otros. Sin embargo, si se compara con la madera, el bambú tiene mayor contenido extractivos alcalinos y sílice. (60)

Las especies que tienen altos contenidos de cenizas y/o sílice darán lugar a un mayor desgaste de los elementos que intervienen en el talado, trozado, astillado y desfibrado, pudiendo también eventualmente presentar inconvenientes en la recuperación de reactivos en los procesos químicos y en la conservación de las máquinas papeleras. (61)

En la producción de pulpa química, los valores del número kappa, la lignina Klason, hemicelulosas y extractivos se reducen con el incremento del tiempo de cocción de los chips de bambú. El alto grado de solubilización de la lignina (valores medidos a partir del número kappa y la lignina Klason) confirma la eficiencia y selectividad de la extracción en solvente orgánico. (28)

La deslignificación ocurre en 3 etapas: inicial, dominante y residual. En la etapa inicial se remueve gran cantidad de hemicelulosas y baja cantidad de lignina. En la etapa dominante, hay una alta remoción de lignina y hemicelulosas y finalmente, la remoción de lignina ocurre lentamente como resultado de una mayor inercia de la lignina residual en la fase residual. El mantenimiento del proceso por tiempos de reacción más largos, puede conducir a reacciones de hidrólisis y degradación de cadenas de celulosa. Para la pulpa de bambú, la etapa dominante está limitada a 2 horas, en base a la disminución significativa del contenido de lignina y hemicelulosas, en comparación a 1 hora de cocción. La etapa residual comprende 3 horas de reacción, desde la solubilización de la lignina y la remoción de extractivos y hemicelulosas; ocurre más lentamente y hay una mayor degradación de la cadena de celulosa, lo cual produce una disminución en la viscosidad. Para la cocción de materiales no maderables por el proceso con solventes orgánicos se requieren temperaturas entre 165 – 195°C por al menos una hora. En los procesos de pulpado convencional, la deslignificación se lleva a cabo también en un rango entre 1 y 2 horas, dependiendo de la temperatura y la materia prima. (62)

En la producción de pulpa a partir de bambú de *Bambusa tuldooides* mediante procesos a la soda y kraft se pueden alcanzar rendimientos de 50,3% (Kappa 30) y 55,0% (Kappa 31,4), respectivamente (condiciones de cocción: 160°C y 2 horas de duración) (63). En el proceso de pulpado de bambú en solvente orgánico, los valores de rendimiento y número kappa están dentro del promedio encontrado en reacciones llevadas a cabo por métodos convencionales.

El parámetro de viscosidad está asociado con el grado de polimerización de la celulosa y permite estimar el grado de degradación de esta macromolécula en los procesos de pulpado. Por lo tanto, en general, los valores de mayor viscosidad indican una mayor preservación de carbohidratos y celulosa en particular. (64)

En la Tabla 2.6 se muestra la composición química de algunas especies de bambú presentada por diversos autores.

Tabla 2.6: Composición química de diversas especies de bambú

Espece	Celulosa (%)	Hemic. (%)	Holoc. (%)	Lignina (%)	Ceniza (%)	C.I.	Ref.
Bambú (varios)	50	25	-	25	-	-	(65)
<i>Bambusa vulgaris</i>	66,5	-	-	26,9	-	-	(66)
<i>Guadua angustifolia</i>	60,83	-	-	15,21	-	-	
<i>D. asper</i>	68,5 (*)	-	71,8	28,7 (**)	0,02	-	(67)
<i>D. membranaceus</i>	67,9 (*)	-	74,3	27,6 (**)	0,02	-	
<i>Phyllostachys pubescens</i>	74,36 (*)	25,20	-	0,08	0,27	56,89	
(nanocelulosa)							(43)
Subproductos bambú (nanocelulosa)	68,76 (*)	28,45	-	1,01	1,78	56,27	

Dónde: (*) alfa celulosa, (**) acido insoluble, C.I.: coeficiente de cristalinidad

5. Obtención de micro y nanocelulosa a partir de bambú

Las nanopartículas celulósicas o nanocelulosas poseen una estructura única que se puede emplear como refuerzos de materiales con un rendimiento mejorado y nuevas funcionalidades, dependiendo de la forma en que se extraigan de árboles, plantas u otras especies que contengan celulosa. (68)

La celulosa se encuentra en las plantas como nanofibrillas de celulosa (NCF), que tienen un diámetro típico de 10-50 nm y varios micrómetros de longitud (69,70). Debido a su singular estructura supermolecular y efectos a nanoescala, las NCF se pueden emplear como elementos reforzantes para producir materiales compuestos avanzados con excelente rendimiento (71–73). Estos materiales compuestos tienen un gran potencial en muchos campos importantes, como dispositivos opto electrónicos, envases y productos farmacéuticos (74,75). Los NCF se pueden preparar a partir de una gran variedad de recursos lignocelulósicos, entre los cuales, la madera fue la materia prima utilizada más inicialmente (76). Otras fuentes de materiales fibrosos también han sido investigadas, como el lino, el cáñamo, el sisal (40), la cáscara de soja (77), pulpa de remolacha (78), bagazo (79), entre otras. Recientemente, otros subproductos agrícolas, paja de arroz, paja de colza y tallos de maíz, también han recibido una atención creciente como potencial fuente de materia prima renovable para la producción de NCF. Estos recursos provienen de cultivos que tienen ciclos de crecimiento más cortos, presentan menores contenidos de lignina en comparación con las fibras madereras, y se pueden deslignificar bajo condiciones menos severas (80,81). El bambú, es un material lignocelulósico abundante con alto contenido de celulosa, que tiene un gran potencial como materia prima para la producción de NCF (82).

El término "nanocelulosa" generalmente se refiere a materiales celulósicos que tienen al menos una dimensión en el rango nanométrico. Hay dos estructuras principales, celulosa nanofibrilada (NFC) y nanocristales de celulosa (NCC).

La diferencia está relacionada con su morfología (54). La NCC se puede considerar como las regiones cristalinas de la NFC. La NCC, que muestra una forma de cristal corto de 100 a 200 nm de longitud y de 4 a 25 nm de diámetro, ha sido extensamente aislada por tratamiento de hidrólisis ácida (83). La NFC

tiene un diámetro debajo de 100 nm y una longitud de varias micras, que puede ser aislada por procesos mecánicos. (84)

La estructura de las fibras puede ser desorganizada utilizando una estrategia de deconstrucción que consiste en extraer la estructura de los sub elementos de las microfibrillas de celulosa. La deconstrucción multinivel de las fibras naturales se puede hacer mecánicamente sometiendo las suspensiones de fibras de celulosa a altas fuerzas de corte. El material obtenido, llamado celulosa microfibrilada, está compuesto de fibrillas de celulosa de tamaño micro/nanométrico con una alta relación de aspecto (largo/diámetro).

Los nanocristales de celulosa son la otra familia importante de las nanopartículas de celulosa. Su preparación involucra un proceso químico de hidrólisis ácida destinado a disolver cadenas amorfas de las fibras de celulosa y liberar dominios cristalinos. Por lo tanto, consiste en una sub entidad de microfibrillas de celulosa que tienen características geométricas más definidas de nanopartículas en forma de barra (whiskers) que la celulosa microfibrilada. (59)

Diferentes estudios han combinado varios pretratamientos con algunas técnicas de fibrilación mecánica, incluyendo el uso de refinado (85), enzimas (86), tratamiento con ácido alcalino (77), tratamiento con líquido iónico (87) y modificación química (88,89). Entre estos métodos, la modificación química, que implica la adición de grupos cargados negativamente en la superficie de la microfibrilla, ha logrado un interés considerable incluyendo la carboximetilación (90) y oxidación mediada (TEMPO) de la 2,2,6,6-tetrametilpiperidina-1-oxilo (91). Se espera que estos generen sistemas NFC con distribuciones de tamaño de partícula más pequeñas debido a la gran cantidad de cargas en comparación con otros procesos de pretratamiento (92,93). Recientemente, se ha aplicado la técnica ultrasónica para aislar las nanofibras de celulosa y se ha descrito su efecto en la degradación de enlaces de polisacáridos. (94–96)

Las NCFs son haces largos de cadenas de celulosa, depositados lateralmente mediante enlaces de hidrógeno entre polímeros adyacentes. En los últimos años, la producción y aplicación de NCFs ha generado un creciente interés industrial debido a su alta resistencia específica y rigidez, biodegradabilidad, reproducibilidad y biocompatibilidad (97–100). Actualmente, los métodos de

desintegración mecánica para la producción de NCF ganaron mucha aceptación porque es más ambientalmente amigable que los métodos químicos. En el método de homogeneización de alta presión se ejercen fuerzas de corte y fuerzas de impacto sobre las paredes fibrosas a través de rápidas aperturas y cierre de válvulas durante la homogeneización y esto conduce a un alto grado de fibrilación (101–104). En el método de crio-trituración, los NCF son liberados de las paredes celulares de la planta congelada a través de fuerzas cizallamiento elevadas (105,106). La molienda también es adecuada para la preparación de NCF (61,105,107–109). Recientemente, se demostró que el ultrasonido contribuye significativamente para una extracción de NCFs de las plantas. (Figura 2.4). (97,110,111)

Las NFCs de bambú pueden ser producidas con rendimientos superiores al 70% a través de una combinación de tratamientos mecánico, enzimático, carboximetilación y homogeneización ultrasónica. (82) El efecto del tiempo de refinación en el grado de sustitución de la celulosa se muestra en la Figura 2.5.

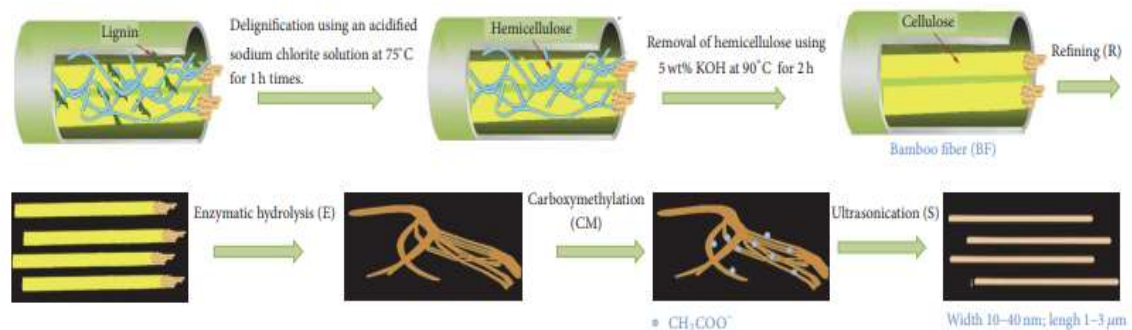


Figura 2.4: Individualización de nanofibras de polvo de bambú con un aparato de ultrasonido típico a escala de laboratorio bajo condiciones neutras. (83)

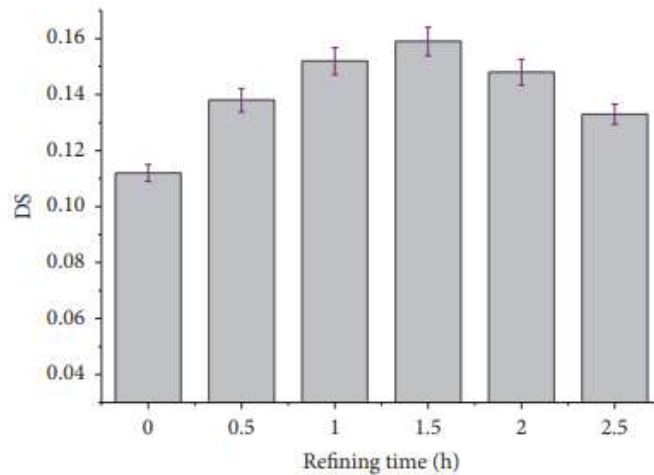


Figura 2.5: Efecto del tiempo de refinación en el grado de sustitución de la celulosa. (83)

6. Evaluación de las características de CNF y CMF

Las nanofibras pueden ser caracterizadas mediante análisis termogravimétrico, espectroscopía infrarroja de transformación de Fourier, difracción de rayos X (en polvo), analizador de tamaño de partículas láser, microscopía electrónica de barrido (SEM), microscopía de fuerza atómica (AFM), y microscopía electrónica de transmisión (TEM).

El análisis mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM) se suele emplear para determinar las dimensiones de las NFCs. El análisis mediante TEM de las dimensiones de nanofibrillas obtenidas a partir de pulpas celulósicas tratadas con oxidación TEMPO de especies de *Dendrocalamus asper* y *Dendrocalamus membranaceus* determinaron que la longitud puede ser de varias micras y el ancho promedio puede ser del orden de 5 a 7 nm (66). Otro estudio empleando TEM para medir dimensiones de nanocristales de celulosa mediante hidrólisis ácida controlada de pulpa de bambú ha indicado que el rango de longitud según el tipo de ácido empleado varió entre 3-200 nm (ácido sulfúrico), 20-85 nm (ácido clorhídrico), 20-40 nm (mezcla de ácido acético y nítrico) y 6,5-20 nm (ácido fosfórico). Este estudio ha indicado que los nanocristales producidos con ácido sulfúrico y el ácido fosfórico poseen una mayor cristalinidad y una menor estabilidad térmica que aquellos tratados con ácido clorhídrico y una mezcla de ácido acético y nítrico (96).

El consumo de energía para preparar NCFs de células parenquimatosas es mucho más bajo que en las fibras de pulpa de bambú. En primer lugar, los ciclos de homogeneización a alta presión requerida para la desintegración completa son marcadamente diferentes y, en segundo lugar, las fibras de pulpa de bambú tienen que someterse a un pretratamiento de ultrasonido de alta intensidad por al menos 30 minutos antes de que puedan alimentarse a un homogeneizador de alta presión (102–104). Un estudio realizado por Wang describe el aislamiento de fibrillas de nanocelulosa desde las células parenquimatosas de bambú (*Phyllostachys pubescens*) con ultrasonido de alta intensidad; en el cual los subproductos de bambú con alta proporción de células parenquimatosas fueron tamizados en un tamiz de malla 200 y el material resultante, con una gran cantidad de células parenquimatosas, se sometió a tratamiento ultrasónico para obtener fibrillas de nanocelulosa (NCF) (112). El ultrasonido con mejor tiempo de irradiación fue de 40 min para una suspensión con 0,25% de concentración de células parenquimatosas. El hidrogel NCF obtenido bajo estas condiciones tiene una transmisión de luz del 85% a una concentración del 0,1%. El mismo tiempo de irradiación para un hidrogel NCF con una concentración del 0,25% mostró los datos de viscosidad dinámica más altos.

Dufresne (68) ha recopilado las características geométricas de nanocelulosa de varias fuentes obtenidas con diferentes pretratamientos, lo cual se presenta en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7: Valores de ancho típicos para NFC obtenidos por diferentes métodos. (68)

Fuente	Tratamiento mecánico	Pre tratamiento	Ancho		
			(nm)		
Algodón	Molienda	Ninguno	20 - 90		
<i>Pseudotsuga menziesii</i>			13 - 20		
Abeto de douglas			12 - 55		
Pulpa de papa			12 - 35		
Paja de arroz			20 - 90		
Tunicin			100 - 1000		
Pulpa de madera					
Pulpa blanqueada de abeto negro del norte	Criogénica	Enzimática	10 - 100		
Bambú	Ultrasonido de alta densidad		10 - 40		
Lino			15 - 100		
<i>Abies nephropelis</i> . Madera de abeto aguja			10 - 20		
Fibras de celulosa regenerada			30		
Paja de trigo			15 - 35		
Raquís de plátanos	Alta presión	Ninguna	5 - 60		
Mazorca de maíz			5 - 60		
Dátil de palma			5 - 10		
Racimos de frutos vacíos de palma aceitera			5 - 40		
Kenaf			10 - 90		
Cáscara de limón			3 - 100		
Afrecho de maíz			5 - 20		
<i>Opuntia ficus indic.</i> Cladodios			5		
Cáscara o nopal			2 - 5		
Pulpa de papa			5		
<i>Pinus radiata</i> D. Don. Madera de pino radiata			15		
Caucho de madera			10 - 90		
Sisal			52 ± 15		
Pulpa de remolacha azucarera					5
Pulpa de remolacha azucarera					30 - 100
Pulpa de remolacha azucarera			2 - 15		
Bagazo de caña de azúcar			30		
Pulpa al sulfito de conífera			10 - 100		
Caldo de soja	Homogenización	Molienda	50 - 100		
Vainas de soja		Molienda	50 - 100		
Paja de trigo		Criogénica	10 - 80		
Cáscara de soja		Criogénica	20 - 120		
Pulpa kraft blanqueada de eucalipto		Enzimática		20	
Pulpa al sulfito blanqueada				5 - 20	
Pulpa al sulfito blanqueada de conífera				30 ± 10	
Pulpa al sulfito blanqueada de madera				5 - 30	
Pulpa al sulfito de conífera		Carboximetilación		5 - 15	
Celulosa bacterial		TEMPO- mediated oxidation		3 - 100	
Pulpa al sulfito blanqueada de algodón			3 - 5		
Pulpa kraft blanqueada de latifoliada			5		
Pulpa kraft de Conífera/Latifoliada			3 - 4		
Tunicin			3 - 20		

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Materias primas

Las especies de tacuara (*Guadua trini*) y bambú (*Guadua angustifolia*) se obtuvieron del noreste de Argentina (Eldorado, Misiones) y del centro de Perú (Junín), respectivamente. Se seleccionaron muestras de cañas de aproximadamente 3 años de edad de manera que fueran lo más representativas posible.

Los tallos de ambas especies se dividieron en tres partes de 1,5 metros cada una. Se cortaron muestras de entrenudos en dimensiones de 10 cm de alto y se trasladaron al laboratorio donde se realizaron los tratamientos necesarios para la caracterización química y estructural y la preparación del material destinado a los posteriores tratamientos. Estas muestras se secaron durante 5 días al aire y se cortaron en pedazos más pequeños, dependiendo del análisis al cual serían sometidas.

2. Caracterización física y química de las muestras

- Caracterización física:

Se determinó la densidad básica (Db) mediante Norma ISO 22157-1 “Bamboo - Determination of physical and mechanical properties”. Esta densidad representa el peso seco de muestra en un volumen dado existente cuando las paredes celulares están saturadas de agua, es decir, cuando el contenido de humedad está aproximadamente al 30%. Como el volumen en estas condiciones es constante, permite hacer comparaciones de propiedades mecánicas sobre la base de una definición común de densidad.

$$Db = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Volumen verde}}$$

Ecuación 3.1

El tallo se dividió en tres partes de 1,5 metros cada una, empezando desde la línea de corte; es decir, cepa, base y sobrebase. Se extrajeron 12 muestras de 25 x 25 milímetros de cada una de estas partes (total: 36 muestras), las cuales se pesaron en una balanza electrónica. Posteriormente se halló el volumen de cada muestra por el método de Arquímedes, el cual consiste en la sumersión de las muestras de bambú en agua con un peso determinado y al ser la densidad del líquido (agua) 1 g/cm³, se halló el volumen de cada muestra por la diferencia de pesos.

Estas muestras fueron identificadas y secadas en estufa a 105°C durante 24 horas. Luego se determinó el peso seco y el volumen, también por el método de Arquímedes. Este proceso se realizó para ambas especies. (Figura 3.1).

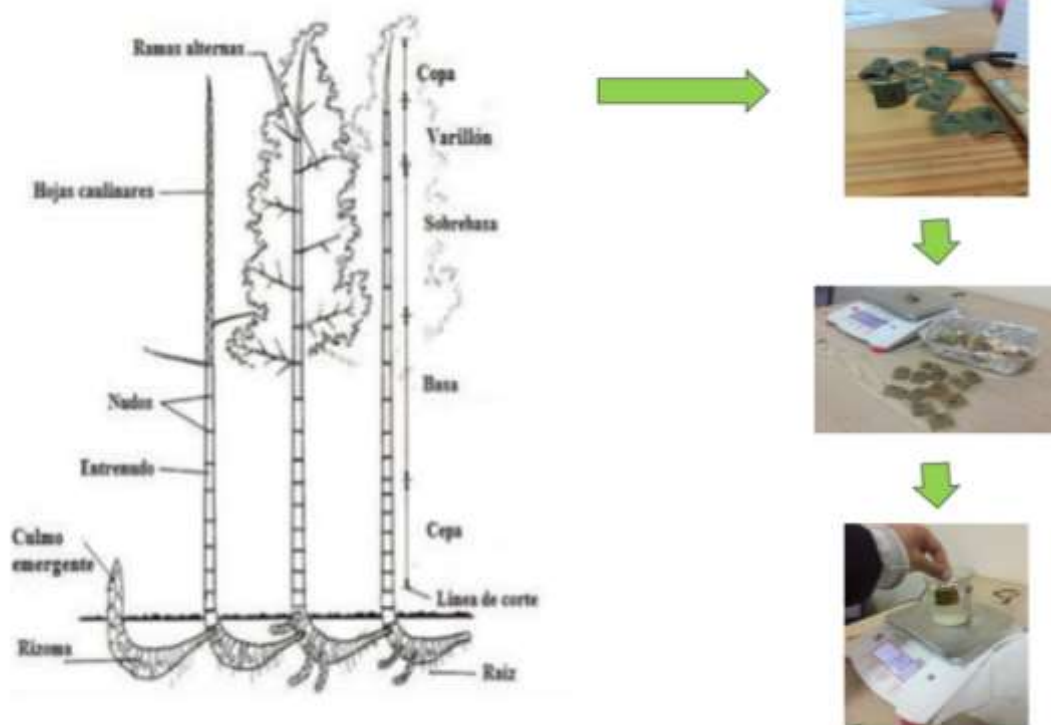


Figura 3.1: Caracterización física de ambas especies de bambú.

- Caracterización de la composición química:

Para la caracterización de la composición química se determinaron:

- ✓ Extracción secuencial con solventes
- ✓ Lignina total, Celulosa y Hemicelulosas
- ✓ Carbohidratos estructurales
- ✓ Grupos acetilos
- ✓ Cenizas

Las etapas de la caracterización química de ambas especies se muestran en la Figura 3.2. Se utilizaron los métodos analíticos estándares para biomasa del National Renewable Energy Laboratory, NREL: "Preparation of Samples for Compositional Analysis" NREL/TP -510-42620, "Determination of Extractives in Biomass" NREL/TP-510-42619, "Determination of Ash in Biomass" NREL/TP-510 - 42622, "Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass" NREL/TP -510 -42618. Para la identificación de carbohidratos, se utilizó cromatografía líquida HPLC con una columna AMINEX-HPX87H (BIO-RAD) con detectores de Índice de refracción y arreglo de diodos.

Las muestras de bambú se molieron y tamizaron con malla 20/80 y se determinó el contenido de humedad para ambas especies. Se pesó aproximadamente 2 gramos de aserrín en un recipiente limpio, seco y previamente tarado. Se secó en estufa a 105°C hasta peso constante (1 hora y media). Se enfrió la muestra en desecador y se pesó.

El contenido de cenizas se determinó colocando la muestra previamente pesada en un crisol y luego en la mufla calentada lentamente hasta llegar a los 575°C +/-25°C, se calcinó durante aproximadamente 3 horas hasta que no aparecieron partículas de carbón (negras) en el crisol. Luego, cuando la temperatura bajó hasta 100°C, se colocó en un desecador para enfriar y por último se determinó el peso de la ceniza.

Para determinar el contenido de extractivos solubles en alcohol benceno se pesó la muestra a extraer y se la colocó dentro del cartucho para la extracción. Posteriormente, se colocó el cartucho con la muestra en el Soxhlet, y se agregó 150 mL de la mezcla de alcohol-benceno al balón de extracción. La extracción se realizó durante 4 horas, ya que el Soxhlet tiene que realizar 30 ciclos de extracción en total. Al finalizar, se recuperó el solvente que quedó en la cámara del extractor. Se colocó nuevamente éste en el aparato y se siguió destilando

hasta que el residuo en el balón quedó en 20-25 mL. El extracto se transfirió a un pesafiltro, previamente tarado, lavando el balón con pequeñas cantidades de alcohol-benceno. Se evaporó el solvente y se secó en estufa a 105°C, luego se enfrió el pesafiltro conteniendo los extractivos en un desecador, y se pesó.

Los extractivos solubles en agua se determinaron colocando el material previamente extraído con alcohol benceno en un Erlenmeyer con 100 mL de agua destilada y se puso en un baño de agua hirviendo durante 3 horas. El sólido extraído se separó por filtración, y se lavó y secó hasta peso constante. Posteriormente se enfrió en el desecador y se determinó el peso de la muestra.

Por último, el porcentaje de lignina insoluble (Klason) de la muestra libre de extractivos se determinó colocando la muestra en un vaso de 50 mL con 15 mL de H₂SO₄ (al 72%) añadido lentamente y macerando el material con una varilla de vidrio durante dos horas. Luego se diluyó con agua hasta obtener una concentración de ácido de 3%. Se puso durante una hora en autoclave a 121°C para hidrolizar los oligómeros de celulosa y las hemicelulosas a monómeros (azúcares). La lignina insoluble se dejó sedimentar, y se filtró el sobrenadante sobre un filtro de vidrio sinterizado previamente tarado; luego fue transferida al filtro usando agua caliente y una varilla de vidrio. La lignina insoluble se lavó con agua caliente hasta quitar completamente el ácido, se secó a 105°C hasta peso constante, se enfrió en un desecador y se pesó la muestra. La lignina soluble se determinó por espectrofotometría UV/Vis determinando la absorbancia de la lignina en el hidrolizado obtenido después de filtrar la lignina insoluble. La longitud de onda utilizada fue de 205 nm donde la absortividad es de 110 L/g*cm.

La concentración de los carbohidratos hidrolizados a las formas monoméricas fue medida por cromatografía líquida (HPLC). La concentración de monómeros se expresó en base a los polímeros precursores: Glucanos, Xilanos, Arabinanos y Grupos Acetilos.



Figura 3.2: Etapas de la caracterización química de ambas especies.

3. Caracterización morfológica de las muestras

- Análisis de los cortes histológicos:

Se cortó un anillo de la parte media del tallo, este fue cortado en pedazos más pequeños y luego los mismos fueron cortados en láminas delgadas de forma tangencial, transversal y radial con un micrótopo. Luego estas láminas fueron observadas en un microscopio Leika 360 verificándose así los elementos fibrosos y vasculares de cada muestra. Este proceso se realizó para cada especie. (Figura 3.3).

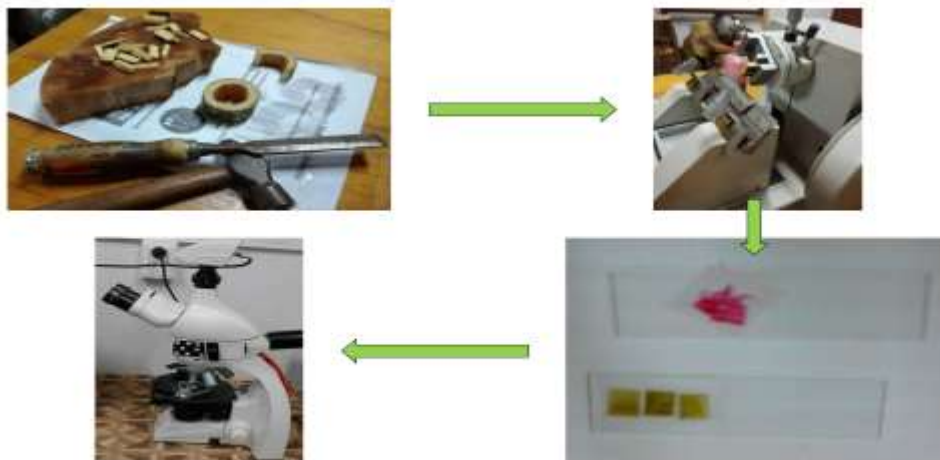


Figura 3.3: Etapas de la caracterización morfológica – cortes histológicos de ambas especies.

- Determinación de los parámetros biométricos:

Ancho y largo de fibra: Se realizó un disgregado de las muestras (aproximadamente 3 g) de cada especie para obtener fibras en un tubo de ensayo con dióxido de cloro y carbonato de sodio (2 gotas de cada uno). Se prepararon suspensiones acuosas de estos disgregados y se midió el ancho y largo de la fibra mediante un analizador de calidad de fibra FQA 360. Este análisis se realizó poniendo la suspensión en 3 vasos de laboratorio con el mismo peso de fibra, los cuales se ubicaron en el plato del analizador para determinar los valores de largo y ancho de fibra. Esto se realizó siguiendo la Norma ISO 16065. El rango de medición del largo de fibras se fijó en 0,2 a 20 milímetros, y el rango de la medición del ancho de fibras de 0,5 a 20 milímetros. (Figura 3.4).



Figura 3.4: Etapas de la caracterización morfológica – datos biométricos – longitud y ancho de ambas especies.

Espesor de la pared de la fibra: El mismo disgregado de la fibra con dióxido de cloro y carbonato de sodio, fue teñido con safranina y observado en un microscopio conectado a una cámara y a la lente del mismo. Mediante un programa de análisis de imagen se midió el ancho del lumen y el ancho total de la fibra; obteniendo así mediante la diferencia entre ambos, el espesor promedio de la pared de fibra. El espesor promedio fue medido sobre un total de 200 fibras. (Figura 3.5).



Figura 3.5: Etapas de la caracterización morfológica – datos biométricos – longitud y ancho de ambas especies.

4. Proceso de fraccionamiento

La separación de los componentes mayoritarios se realizó de acuerdo al esquema de la Figura 3.6 donde se presenta en forma detallada las distintas fracciones y el análisis de los mismos. Se aplicaron procesos estándares y modificados de pulpado aplicando el concepto de biorrefinería para separar las fracciones del material: celulosa, hemicelulosas y lignina. Se seleccionó la estrategia de fraccionamiento que permitiera obtener un material adecuado para la obtención de nanocelulosa (CNF). Se utilizó un digestor discontinuo de 7 litros de capacidad, tipo MK, con controlador automático programable de tiempo y temperatura, con calentamiento indirecto.

Se realizaron pulpados a la soda-AQ para cada especie, uno con previo tratamiento hidro-térmico con la finalidad de hidrolizar las hemicelulosas y el otro sin tratamiento hidro-térmico. Para ambas especies, se realizó un previo lavado de chips. El tratamiento hidro-térmico consistió en pre-tratar el material con agua y temperatura de 180°C durante 30 minutos. El tiempo de calentamiento hasta 180°C fue 75 minutos usando una relación sólido:líquido de 1:2,42. El rendimiento total de la pulpa pre-tratada, depende del rendimiento obtenido luego de este pretratamiento.

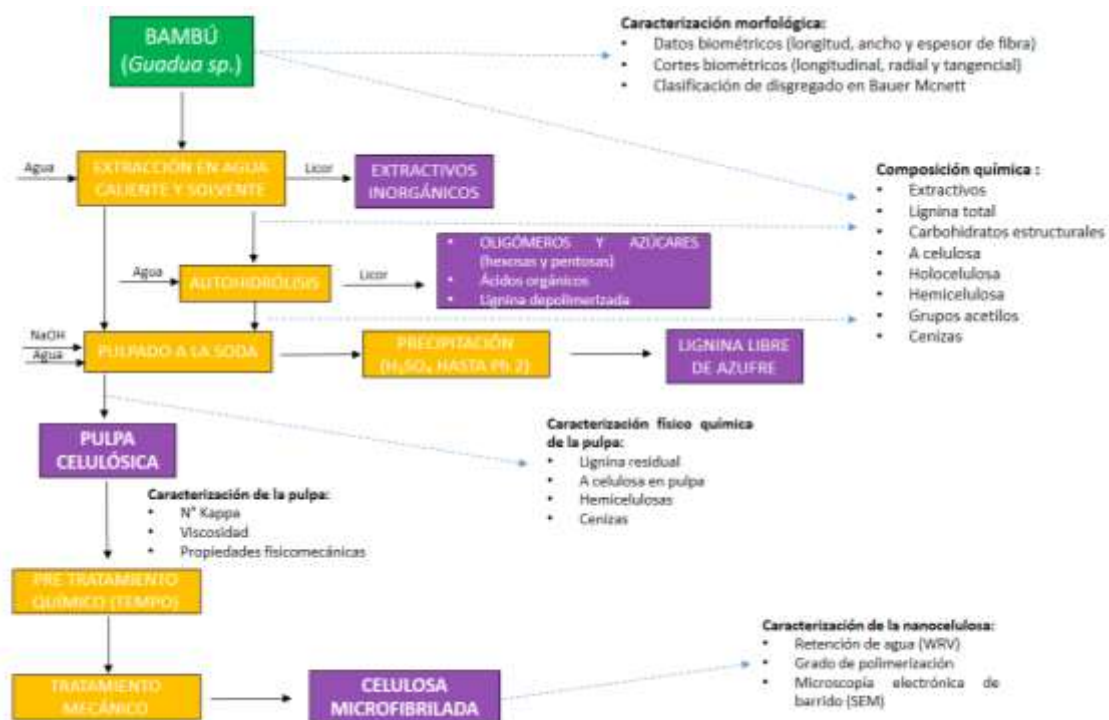


Figura 3.6: Esquema de fraccionamiento de ambas especies.

Para la deslignificación de ambas especies, con y sin tratamiento hidrotérmico, se usaron 18% de NaOH y 0,1% de antraquinona (AQ), a 170°C durante 60 minutos. El tiempo de calentamiento hasta 170°C fue de 75 minutos. La relación sólido: líquido para el material pretratado fue de 1:4 y para el material sin pretratamiento fue de 1:3. Cabe mencionar que la relación es elegida para que la cocción se realizara en estado acuoso y debe cubrir toda la materia sólida.

Luego de las cocciones se determinó el número de Kappa de las pulpas de cada muestra con la finalidad de medir indirectamente el contenido de lignina residual (TAPPI T236 – Kappa Number of Pulp).

La distribución de longitudes de la pulpa fue determinada mediante la clasificación de fibras en el equipo Bauer McNett (TAPPI 233 cm-95). Se midió el tamaño promedio de fibras separándolas mediante mallas de 30, 50, 100 y 200 mesh. Los resultados fueron expresados como porcentaje en peso de fibra retenido en cada una de las mallas. Se trabajó con 10 gramos de masa seca, haciéndose una repetición para cada pulpa.

- Clasificación de las fibras (Bauer McNett):

La clasificación de fibras se realizó bajo el uso del equipo Bauer McNett (Figura 3.7) con mallas 30, 50, 100 y 200 de mesh; los resultados se muestran en la tabla 4.56. Se pesaron 10 gramos secos de pulpa y se le agregó 1 litro de agua, se pasó por el desintegrador durante tres minutos, se pesó y se llevó a peso total de 2000 gramos agregando agua, y se separó en dos muestras de peso de 1000 gramos cada una. Las muestras de 1000 gramos previamente agitadas se vuelcan y se dejan bajo agitación en el Bauer McNett durante 20 minutos, se limpió cada una de las mallas y se separó en bandejas previamente taradas, se llevan a estufa (105°C) hasta peso constante, y se obtienen los pesos de las retenciones de cada mesh. El ensayo de clasificación se realizó por duplicado para cada especie.



Figura 3.7: Clasificador de fibras Bauer Mcnett

5. Caracterización de la pulpa soda-AQ

Composición química y características de las pulpas obtenidas:

- α , β y γ celulosa en pulpa: (TAPPI 203 om-93)

El contenido de α celulosa se realizó mediante la extracción de la pulpa blanqueada utilizando NaOH al 17,5% y agua destilada durante 60 minutos, y empleando sulfato ferroso amónico para titular. El contenido de α celulosa se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\% \textit{ alfa celulosa} = \frac{(100 - 6,85 (V_2 - V_1) * N * 20)}{A * W}$$

Ecuación 3.2

Dónde: V_1 es el volumen del sulfato ferroso amónico gastado en la titulación de la muestra, V_2 es el volumen del sulfato ferroso amónico gastado en el blanco, N la normalidad de la solución del sulfato ferroso amónico, A el volumen del filtrado usado en la valoración y W el peso seco de la pulpa.

El contenido de β y γ celulosa se obtuvo por medio de la reacción de la muestra residual del ensayo anterior con una solución de dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado (96%). Estos contenidos se hallaron mediante las siguientes ecuaciones:

$$\% \textit{ gamma celulosa} = \frac{(100 - 6,85 (V_4 - V_3) * N * 20)}{A * W}$$

Ecuación 3.3

Dónde: V_3 es el volumen del sulfato ferroso amónico gastado en la titulación de la muestra, V_4 es el volumen del sulfato ferroso amónico gastado en el blanco, N la normalidad de la solución del sulfato ferroso amónico.

$$\% \textit{ beta celulosa} = 100 - (\% \alpha \textit{ celulosa} + \% \gamma \textit{ celulosa})$$

Ecuación 3.4

- Grado de polimerización: (ISO 5351/1)

El grado de polimerización se determinó a partir de la viscosidad de la pulpa al 0,5% de concentración, usando 0,5 M cuprietilendiamina como solvente y un viscosímetro capilar para una muestra en peso seco de 0,1250 gramos de pulpa seca en estufa. La viscosidad intrínseca se determinó según norma ISO 5351/1 – 1981 “Cellulose in dilute solutions – Determination of limiting viscosity number – Part 1: Methods in cupri –ethylene-diamine (CED) solution”. El grado de polimerización se calculó con la ecuación de Staudinger-Mark-Houwink.

La viscosidad dinámica se obtuvo mediante la norma Tappi T230 om-94 y la viscosidad intrínseca siguiendo la norma ISO 5351/1-1981

El grado de polimerización (DP) se calculó mediante la ecuación de Staudinger – Mark- Houwink.

$$\text{Viscosidad intrínseca } [n] = k_{DP} * DPDP^a$$

Ecuación 3.5

Dónde: $k_{DP} = 2,28$, $a = 0,76$

- Valor de retención de agua (WRV): (SCAN-C 62:00)

El valor de retención de agua de las pulpas se obtuvo usando un embudo Büchner, con un papel filtro humedecido, conectado a un matraz de succión. Formándose una almohadilla de pulpa con un gramaje en horno seco de 1700 (± 100) g/m². Esta mata de fibras luego fue puesta en los tubos de la centrífuga, los cuales fueron preparados previamente con algodón y una malla con mesh de 140. Se centrifugó durante 15 minutos a 4000 rpm. Luego, la mata de fibras se secó en estufa a 105°C hasta peso constante. El valor de retención de agua fue hallado mediante la ecuación 3.6:

$$WRV = \frac{m_1}{m_2} - 1$$

Ecuación 3.6

Dónde: m_1 es la masa de la almohadilla de prueba húmeda centrifugada, en gramos; m_2 es la masa de la almohadilla de prueba seca, en gramos.

El valor de retención de agua (WRV) se obtuvo mediante el uso de una centrífuga. Se pesaron 4 gramos de pulpa y se saturó completamente con agua obteniendo una masa homogénea. El material resultante se pasó a tubos acondicionados con mallas para filtrar el agua centrifugada, se instalaron dos muestras de 3 gramos cada una, para equilibrar el peso en la centrífuga, como se muestra en la Figura 3.8. Luego se centrifugó a 3000 RPM durante 15 minutos, se llevó a un pesafiltro previamente tarado, se pesó el conjunto y se secó en estufa (105°C) hasta peso constante.



Figura 3.8: Centrífuga 3000 RPM

- Cristalinidad de la pulpa

Este ensayo no es destructivo, pero la pulpa se seca dentro del equipo (DRX marca PANalytical Modelo Empirean) mientras se realiza éste, en condiciones de temperatura de 18°C y baja humedad.

Se rellenó la probeta con la pulpa utilizando un ánodo de cobre, se aplicaron 40 kV y 45 mA. Se realizó un barrido hasta un ángulo de 80°. Los datos fueron procesados mediante el Programa High Score Plus.

El índice de cristalinidad de las pulpas Soda-AQ con y sin pretratamiento se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de cristalinidad (\%)} = \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) * 100 \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Dónde I_1 es la intensidad en el mínimo (2θ entre 18°-19°), I_2 es la intensidad en el máximo del pico cristalino (2θ entre 22°-23°).

6. Producción y caracterización de CNF

La producción de nanocelulosa se realizó con un pretratamiento químico (oxidación por reactivo TEMPO). El pretratamiento con TEMPO se realizó con 10 gramos de pulpa seca, 10% de NaBr, 1,6% de TEMPO, 5 mmoles de NaClO. Se utilizó NaOH como medio para que la reacción se mantuviera con pH entre 10 y 10,5; este proceso tuvo una duración de aproximadamente 1 hora. La pulpa oxidada con TEMPO fue lavada tres veces con dos litros de agua. Cada muestra de pulpa se pasó 10 veces por el molino coloidal (1% de consistencia).

Se realizó la caracterización de la nanocelulosa obtenida mediante:

- Rendimiento de CNF respecto al peso del material contenido en la suspensión inicial.
- Grupos carboxílicos
- Valor de retención de agua (WRV).
- Microscopía electrónica de barrido (SEM).
- Viscosidad de la suspensión de nanofibras.

La viscosidad se midió con un viscosímetro digital de paletas equipado con un sensor de temperatura a 25°C (Figura 3.9). Se preparó 100 mL de suspensión al 0,3% de consistencia para cada especie con y sin tratamiento hidro-térmico. Cada una de las muestras fue agitada durante 60 minutos a 500 revoluciones para homogenizar. Cada medición se realizó por duplicado.(113)



Figura 3.9: Viscosímetro digital

- Tasa de grupos carboxílicos

La tasa de grupos carboxílicos de la nanofibra de celulosa se obtuvo a partir de la titulación conductimétrica. La cantidad de grupos carboxílicos presentes por cada gramo de pulpa seca indica el grado de la oxidación con el tratamiento TEMPO. (113)

Para este trabajo de investigación se pesaron 0,1 gramos de muestra seca de cada especie con y sin tratamiento hidrotérmico, las cuales fueron llevadas a 250 mL con 0,001 M de NaCl. La suspensión fue agitada durante 60 minutos, luego se agregó HCl 0,01 M (hasta pH=3). El medio en el que se realizó este procedimiento fue en una atmósfera de N₂ con el vaso precipitado cubierto. La titulación se realizó utilizando 0,1 M de NaOH, midiendo la conductividad cada 0,5 mL de NaOH agregado. La titulación se inició midiendo la conductividad de la suspensión sin agregarle NaOH, luego al agregarle NaOH la conductividad disminuyó, hasta volverse constante y por último nuevamente aumentó. Se finalizó la medición al alcanzar el valor de conductividad inicial.

Con los valores de los volúmenes inicial y final, se determinó la tasa de grupos carboxílicos en $\mu\text{mol/g}$ mediante la siguiente ecuación:

$$CC \left(\frac{\mu\text{mol}}{g} \right) = \frac{(V_2 - V_1)(\text{mL})}{\text{Peso seco (g)}} * 0,01N \text{ NaOH} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Dónde CC: tasa de grupos carboxílicos

7. Evaluación global los resultados

El análisis de los resultados fue realizado mediante el programa estadístico STATGRAPHICS. Los resultados se compararon con los presentados por diferentes autores en la bibliografía.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Caracterización física y química de las muestras

1. Determinación de la densidad básica:

La caracterización física de las muestras se realizó mediante la determinación de la densidad básica para cada especie, tal como se muestra en la Tabla 4.1. Se observa que la densidad básica promedio fue 0,53 g/cm³ y 0,42 g/cm³ para *Guadua trinii* y *Guadua angustifolia*, respectivamente. *Guadua angustifolia* mostró una mayor diferencia de densidades en las distintas partes muestreadas, dentro del mismo individuo.

Tabla 4.1: Densidad básica (12 muestras).

<i>Especie</i>	<i>Guadua trinii</i>	<i>Guadua angustifolia</i>
Parte	Densidad básica (g/cm ³)	
Cepa	0,53	0,38
Base	0,52	0,49
Sobrebases	0,55	0,38
Promedio	0,53	0,42
Desvío estándar	0,023	0,055

El ANOVA se realizó descomponiendo la varianza de las densidades básicas en dos componentes: un componente entre grupos (dependiendo de la altura del culmo en que fue tomada, es decir, cepa, base y sobrebases) y un componente dentro de cada grupo. (Tabla 4.2).

Tabla 4.2: ANOVA para las densidades a cada altura (grupo) entre grupos e intra-grupo de *Guadua trinii*.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0071	2	0,0035	8,65	0,0010
Intra grupos	0,0135	33	0,0004		
Total (Corr.)	0,0206	35			

Se determinó que la media de densidad básica entre un nivel de altura y otro (cepa, base y sobrebases) son significativamente diferentes (valor-*P* fue menor

que 0,05 para un nivel de confianza de 95,0%). En la Figura 4.1 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que las densidades básicas (DB) para las tres alturas muestran que existe una diferencia significativa entre la sobrebase respecto de la base y la cepa.

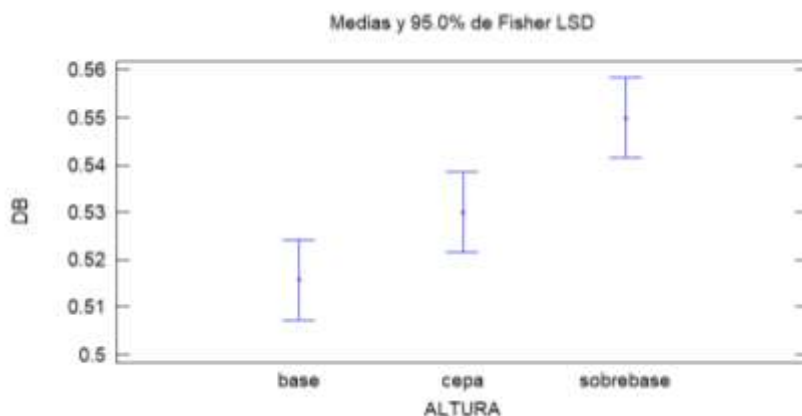


Figura 4.1: Gráfico de medias para las densidades básicas de la especie *Guadua trinii*.

Guadua angustifolia también presentó una diferencia estadísticamente significativa en la densidad básica entre los diferentes niveles de altura (valor-*P* es menor que 0,05 para un nivel de confianza del 95,0%).

Tabla 4.3: ANOVA para las densidades de cada altura (grupo) entre grupos e intra-grupo para la especie *Guadua angustifolia*

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre-grupos	0,0953	2	0,0476	173,98	0,0000
Intra-grupos	0,0090	33	0,0003		
Total (Corr.)	0,1043	35			

En la Figura 4.2 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que las densidades básicas para las alturas de cepa y sobrebase se encuentran en un mismo grupo homogéneo, lo que sugiere que entre estas dos alturas no hay diferencia estadísticamente significativa; no obstante, entre estas dos alturas y el grupo a la altura de base, muestran una media por encima una de la otra, lo que indica que también existe una diferencia significativa entre ellas.

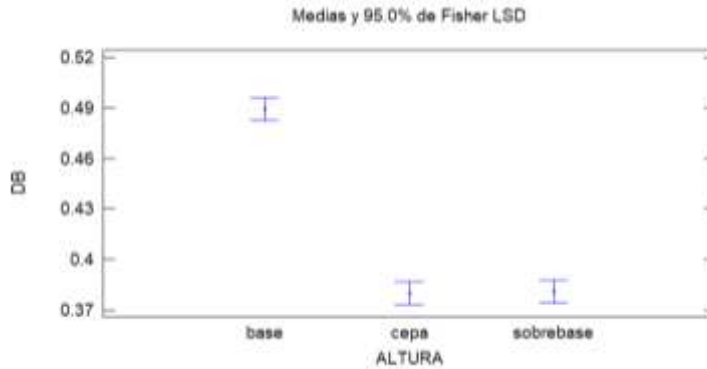


Figura 4.2: Gráfico de medias para las densidades básicas de la especie *Guadua angustifolia*

Se realizó el ANOVA multifactorial para comparar las densidades entre ambas especies y por grupos de altura (cepa, base y sobrebase) para corroborar si existe diferencia significativa de los factores altura y especie, sobre la densidad básica. (Tabla 4.4).

Tabla 4.4: ANOVA multifactorial para las densidades grupales (por altura) para ambas especies.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: altura	0,0317	2	0,0158	11,80	0,0000
B: especie	0,2381	1	0,2381	177,35	0,0000
Residuos	0,0913	68	0,0013		
Total (corregido)	0,3610	71			

Todas las Razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores (altura y especie). Puesto que dos valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre DB (densidad básica) con un 95,0% de nivel de confianza.

A su vez se realizó un procedimiento de comparación múltiple para determinar que medias son significativamente diferentes de otras. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias

estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza, y además se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas, no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. Estos resultados se muestran en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5: Prueba de múltiples rangos para las densidades grupales (por altura) para ambas especies. Método: 95,0% LSD.

Altura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Cepa	24	0,4544	0,0075	X
Sobrebase	24	0,4650	0,0075	X
Base	24	0,5032	0,0075	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Base - Cepa	*	0,0488	0,0211	
Base - Sobrebase	*	0,0383	0,0211	
Cepa - Sobrebase		-0,0106	0,0211	

* indica una diferencia significativa.

Según Londoño (20) el valor de la densidad de los bambúes oscila entre 0,5 y 0,9 g/cm³; lo cual se encuentra muy cercano a los valores obtenidos aquí para ambas especies, la autora nombrada expresa que el valor de densidad para *Guadua trinii* es de 0,53 es de g/cm³, el mismo valor hallado en esta investigación. Mientras que el Círculo del bambú de la UNALM Perú (9) indica que el valor de la densidad básica para *Guadua angustifolia* es 0,45 g/cm³, bastante cercano a los 0,47 g/cm³ aquí obtenido.

Según Wehr y Barrichelo (114), el rango óptimo para el proceso de producción de celulosa es de 0,45 y 0,55 g/cm³, por lo que ambas especies están dentro de este rango. Wahab et al. (115) y Gomide, Colodette y Oliveira (116) han indicado que la densidad del bambú aumenta con la edad y que la edad ideal para la producción de celulosa es entre los 2 y los 4 años, en ambos casos las muestras tienen 3 años, por lo que según estos autores se encontrarían en la edad adecuada para tener una mejor densidad, con potencialidad para la obtención de celulosa.

Cuanto más denso es el bambú, mayor será la masa de muestra en un dado volumen de digestor, lo que puede proporcionar un mayor rendimiento en la producción de pulpa. Sin embargo, el aumento de densidad básica dificulta la impregnación del licor de cocción, lo que implica un aumento de la carga del álcali. (117)

- Determinación del contenido de humedad de la muestra con extractivos:

Para la caracterización química se hallaron porcentajes de extractivos, cenizas, lignina y azúcares contenidos en cada una de las especies. En la Tabla 4.6 se puede observar que la muestra de *Guadua trinii* tiene un porcentaje de sequedad de 89,62%, mientras que *Guadua angustifolia* tiene un porcentaje de sequedad de 86,69%. Con estos datos podremos obtener el peso seco de cada muestra para los siguientes análisis.

Tabla 4.6: Porcentaje de sequedad de las muestras con extractivos.

Peso (g)	<i>Guadua trinii</i>	<i>Guadua angustifolia</i>
Pesafiltro	42,63	30,60
PF + MH	43,71	32,02
PF + MS	43,60	31,83
MH	1,08	1,42
MS	0,97	1,23
% Sequedad	89,62	86,69

PF: pesafiltro, MH: muestra húmeda, MS: muestra seca

- Determinación de extractivos en alcohol benceno:

El contenido de extractivos solubles en alcohol benceno fueron significativamente diferentes para ambas especies, 6,05% y 5,72% para *Guadua trinii* y *Guadua angustifolia*, respectivamente (Tabla 4.7). Los coeficientes de variación entre las dos muestras tomadas para cada especie indican que la variabilidad de las muestras fue baja.

Tabla 4.7: Porcentaje de extractivos solubles en alcohol benceno.

Especie	Muestra	R (g)	W (g)	Extractivos (%)	Promedio Extractivos (%)	DE	CV (%)
<i>Guadua trinii</i>	1	0,58	9,42	6,12	6,05	0,10	1,69
	2	0,63	10,45	5,98			
<i>Guadua angustifolia</i>	1	0,51	8,90	5,72	5,72	0,01	0,13
	2	0,53	9,18	5,73			

R: peso del extracto, W: peso seco de la muestra, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación

- Determinación de extractivos en agua caliente:

El porcentaje promedio de extractivos solubles en agua caliente para *Guadua trinii* fue significativamente menor (2,62%) que para *Guadua angustifolia* (3,83%) como lo muestra la Tabla 4.8.

Tabla 4.8: Porcentaje de extractivos solubles en agua caliente.

Especie	Muestra	R (g)	W (g)	Extractivos (%)	Promedio de extractivos (%)	DE	CV (%)
<i>G. trinii</i>	1	0,25	9,42	2,60	2,62	0,02	0,78
	2	0,28	10,45	2,63			
<i>G. angustifolia</i>	1	0,35	9,19	3,83	3,83	0,01	0,07
	2	0,36	9,49	3,83			

R: peso del extracto, W: peso seco de la muestra

- Determinación de extractivos totales:

El porcentaje promedio de extractivos totales para *Guadua trinii* fue de 8,67% y para *Guadua angustifolia* fue de 9,55% como lo muestra la Tabla 4.9. Los valores de desvío estándar indican que los contenidos de extractivos son significativamente diferentes para ambas especies.

Tabla 4.9: Porcentaje de extractivos totales

Especie	Extractivos alcohol benceno (%)	Extractivos agua caliente (%)	Extractivos totales (%)		
			Promedio	DE	% CV
<i>G. trinii</i>	6,05	2,62	8,67	0,08	0,94
<i>G. angustifolia</i>	5,72	3,83	9,55	0,01	0,05

- Determinación de cenizas:

Los materiales lignocelulósicos están constituidos mayormente por celulosa, hemicelulosas y lignina, y contienen además otros componentes como los extractivos y componentes inorgánicos (cenizas), en menores proporciones (117). La composición química del bambú es semejante al de las maderas pero con contenidos más elevados de cenizas y extractivos (118).

El porcentaje promedio de cenizas de las muestras no extraídas para *Guadua trinii* fue de 4,58% y para *Guadua angustifolia* fue de 4,05% (Tabla 4.10). Valores que demuestran que la variabilidad de las muestras es baja, validando así los ensayos realizados.

Tabla 4.10: Porcentaje de cenizas de las muestras no extraídas.

Peso (g)	<i>Guadua trinii</i>		<i>Guadua angustifolia</i>	
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2
Crisol	25,97	24,33	23,56	23,79
Crisol+MH	29,67	27,72	27,41	27,38
Crisol+Ceniza	26,12	24,47	23,69	23,92
R	0,15	0,14	0,14	0,13
MH	3,70	3,38	3,86	3,59
W	3,32	3,03	3,34	3,11
% Ceniza	4,59	4,58	4,05	4,06
% Prom. Ceniza	4,58		4,05	
DE	0,01		0,01	
%CV	0,09		0,23	

R: peso del extracto, W: peso seco de la muestra, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación.

Gutiérrez presenta para *Guadua angustifolia* un porcentaje de extractivos (etanol) de 7,54% y de cenizas de 4,94%, mientras que en nuestro análisis tenemos para la misma especie valores de 9,5519% y 4,0539%, respectivamente. El autor nombrado presenta valores para la misma especie obtenidos por diversos autores como Azini y Salgado (1992) para los extractivos (totales) de 19%, Cuellar (2009) con 6,47% para extractivos (etanol) y 3,80% para cenizas, Chuluiza (2009) con 5,16% de cenizas, Gonzales (2002) con 0,89% de extractivos (alcohol benceno) y 5,85% de cenizas y Otavio (1987) con 19% de extractivos (totales).

Otavio expresa también que en general un bambú tiene 15,20% de extractivos totales, valor que se encuentra por encima de las mediciones obtenidas en este estudio, para ambas especies. (36)

Según datos de bibliografía, el bambú tiene un contenido de extractivos de 15% y de cenizas entre 0,5 a 1,5%. Las especies estudiadas presentan contenidos de extractivos inferiores a estos valores en ambas especies, mientras que las mediciones de cenizas resultaron superiores (65,117). Haun *et al.* (42) han informado valores promedio de ceniza de 6,2% para las *Bambusas* y 1,45% para las *Phyllostachys*.

- Determinación del contenido de humedad de la muestra sin extractivos:
Las muestras de *Guadua trinii* presentaron un porcentaje de sequedad de 91,86%, mientras que *Guadua angustifolia* reveló un porcentaje de sequedad de 96,97% (Tabla 4.11). Con estos datos se puede obtener el peso seco de cada muestra para los siguientes análisis con muestras sin presencia de extractivos.

Tabla 4.11: Porcentaje de sequedad de las muestras sin extractivos.

Peso (g)	<i>Guadua trinii</i>	<i>Guadua angustifolia</i>
Pesafiltro	32,75	33,14
PF + MH	33,81	36,20
PF + MS	33,72	36,11
MH	1,06	3,06
MS	0,98	2,97
% Sequedad	91,86	96,97

PF: pesafiltro, MH: muestra húmeda, MS: muestra seca

- Determinación del contenido de lignina total:
El porcentaje promedio de lignina insoluble para *Guadua trinii* fue de 24,41% y para *Guadua angustifolia* fue de 24,66% como lo muestra la Tabla 4.12.

Tabla 4.12: Porcentaje de lignina insoluble en las muestras sin extractivos.

Especie	Muestra	R (g)	W (g)	Lignina Ins. (%)	Lignina Ins. Prom. (%)	DE	CV(%)
<i>Guadua trinii</i>	1	0,33	1,39	24,01	24,41	0,57	2,31
	2	0,32	1,30	24,81			
<i>Guadua angustifolia</i>	1	0,35	1,40	24,66	24,66	0,00	0,01
	2	0,34	1,36	24,66			

R: peso del residuo, W: peso seco de la muestra

La lignina soluble fue hallada mediante la siguiente ecuación:

$$Lignina\ soluble\ \left(\frac{g}{L}\right) = \frac{Absorbancia}{Camino\ \acute{o}ptico\ (cm) * Absortividad\ \left(\frac{L}{g} * cm\right)} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Dónde: Camino óptico: 1 cm, Absortividad a 205 nm: 110 L/g*cm, dilución: 10%.

El porcentaje promedio de lignina insoluble para *Guadua trinii* fue de 1,39% y para *Guadua angustifolia* fue de 1,10% como lo muestra la Tabla 4.13.

Tabla 4.13: Porcentaje de lignina soluble en las muestras sin extractivos.

Especie	Muestra	W (g)	Frasco y dilución (mL)	Densidad ácido 3%	Absorv. 205 nm	% Lig. Sol.	% Prom. Lig. Sol.	DE	%CV
<i>Guadua trinii</i>	1	1,39	393	1,02	0,60	1,51	1,39	0,17	12,18
	2	1,30	394		0,47	1,27			
<i>Guadua angustifolia</i>	1	1,40	392	1,02	0,43	1,06	1,10	0,05	4,62
	2	1,36	394		0,44	1,14			

W: peso seco de la muestra

El contenido de lignina se corrigió por el porcentaje de ceniza presente en la muestra de lignina mediante un factor de corrección que afectó el porcentaje de la lignina total.

Tabla 4.14: Factor de corrección de la lignina a partir de la ceniza.

Peso (g)	<i>Guadua trinii</i>	<i>Guadua angustifolia</i>
Crisol	24,34	25,97
Crisol+MH	24,96	26,61
Crisol+Ceniza	24,37	25,98
R	0,034	0,01
W	0,62	0,64
% Ceniza	5,48	0,71
CC	0,95	0,99

CC: factor de corrección por ceniza, W: peso seco de la muestra, R: peso del residuo, MH: material húmedo

De la misma manera, se realizó la corrección por extractivos, ya que los análisis realizados para la obtención de lignina soluble e insoluble se hacen sobre material sin extractivos.

Tabla 4.15: factor de corrección de la lignina a partir de los extractivos.

Especie	Extractivos totales	CE
<i>Guadua trinii</i>	8,67	0,91
<i>Guadua angustifolia</i>	9,55	0,90

CE: factor de corrección por extractivos

El factor de corrección por ceniza y por extractivos en la lignina para *Guadua trinii* fue de 0,95 y 0,91, respectivamente y para *Guadua angustifolia* fue de 0,99 y 0,90 como lo muestran las Tablas 4.14 y 4.15. Podemos observar también dentro de la Tabla 4.10 que el valor del porcentaje de ceniza dentro de la lignina en *Guadua trinii* es bastante elevado con respecto al *Guadua angustifolia*, por lo que inferimos que tiene mayor cantidad de compuestos inorgánicos, lo que dificulta la cocción en el pulpado.

Tabla 4.16: Porcentaje de lignina total en las muestras sin extractivos.

Especie	Lignina insoluble (%)	Lignina soluble (%)	Lignina total (%)*	CC	CE	Lignina total corregida (%)**
<i>Guadua trinii</i>	24,0	1,51	25,5			
	24,8	1,27	26,1			
Promedio	24,4	1,39	25,8	0,95	0,91	23,9
DS	0,56	0,17	0,40			
CV (%)	2,31	12,2	1,62			
<i>Guadua angustifolia</i>	24,7	1,06	25,7			
	24,7	1,14	25,8			
Promedio	24,7	1,10	25,8	0,99	0,91	25,2
DS	0,00	0,05	0,05			
CV (%)	0,00	4,62	0,20			

CC: factor de corrección a partir de ceniza, CE: factor de corrección a partir de extractivos. (*)

% expresado en base al peso seco de la muestra extraída. (**) % expresado sobre peso seco de la muestra sin extraer.

El porcentaje promedio de lignina total corregido con el factor de corrección por ceniza y extractivos, para *Guadua trinii* fue 22,27% y para *Guadua angustifolia* fue 23,13%, como lo muestra la Tabla 4.16

- Determinación del contenido de carbohidratos estructurales:

Dentro de los azúcares hay un porcentaje de ceniza el cual es hallado mediante un factor de corrección y va a afectar al porcentaje total de azúcares. El factor de corrección de ceniza en los azúcares para *Guadua trinii* fue de 0,99 y para *Guadua angustifolia* fue de 0,99 como lo muestra la Tabla 4.17.

Tabla 4.17: Factor de corrección de los azúcares a partir de la ceniza.

Peso (g)	<i>Guadua trinii</i>	<i>Guadua angustifolia</i>
Crisol	23,56	23,80
Crisol+MH	26,10	26,33
Crisol+Ceniza	23,59	23,81
R	0,03	0,01
MH	2,54	2,54
W	2,33	2,46
% Ceniza	1,42	0,50
CC	0,99	0,99

CC: factor de corrección por ceniza, W: peso seco de la muestra, R: peso del residuo, MS: material seco, MH: material húmedo

De la misma manera, existe un factor de corrección por extractivos, ya que los análisis realizados para la obtención de lignina soluble e insoluble se hacen sobre material sin extractivos. El factor de corrección de extractivos en los azúcares para *Guadua trinii* fue de 0,91 y para *Guadua angustifolia* fue de 0,90 como lo muestra la Tabla 4.18.

Tabla 4.18: Factor de corrección de los azúcares a partir de los extractivos.

Especie	Extractivos totales	CE
<i>Guadua trinii</i>	8,67	0,91
<i>Guadua angustifolia</i>	9,55	0,90

CE: factor de corrección por extractivos

El porcentaje promedio de los azúcares, corregido por FCE y FCC, fue para *Guadua trinii* de 65,6% y para *Guadua angustifolia* de 63,8% como lo muestran las Tablas 4.19 y 4.20, respectivamente.

Tabla 4.19: Composición de carbohidratos estructurales de *Guadua trinii* (% sobre muestra sin extraer, corregido por cenizas y extractivos).

<i>Guadua trinii</i>								
Compuestos	Muestra 1		Muestra 2		Datos estadísticos			CE*
	% sps	CC	% sps	CC	Prom. (%)	DS	CV (%)	
Glucanos	44,7	45,3	43,7	44,3	44,8	0,736	1,642	40,9
Xilanos	23,2	23,5	22,3	22,7	23,1	0,582	2,523	21,1
Arabinanos	0,69	0,70	0,70	0,70	0,67	0,039	5,788	0,62
Acetilos	3,27	3,31	3,28	3,31	3,32	0,008	0,242	3,03
Total	72,8	72,8	70,0	70,9	71,9			65,6

% spf: porcentaje sobre muestra seca extraída, CC: porcentaje corregido por ceniza, CE: porcentaje sobre muestra sin extraer (corregido por cenizas y extractivos), DE: desvío estándar, CV (%): coeficiente de variación.

Tabla 4.20: Composición de carbohidratos estructurales en *Guadua angustifolia* (% sobre muestra sin extraer, corregido por cenizas y extractivos).

<i>Guadua angustifolia</i>								
Compuestos	Muestra 1		Muestra 2		Datos estadísticos			CE*
	% spf	CC	% spf	CC	Prom. (%)	DE	CV (%)	
Glucanos	45,3	45,5	45,8	46,0	45,8	0,348	0,760	41,3
Xilanos	21,4	21,6	21,5	22,0	21,7	0,324	1,489	19,6
Arabinanos	0,85	0,85	0,87	0,79	0,82	0,042	5,150	0,74
Acetilos	2,32	2,33	2,38	2,40	2,37	0,043	1,817	2,14
Total	69,9	70,2	70,9	71,2	70,7			63,8

% spf: porcentaje sobre muestra seca extraída, CC: porcentaje corregido por ceniza, CE: porcentaje sobre muestra sin extraer (corregido por cenizas y extractivos), DE: desvío estándar, CV (%): coeficiente de variación.

- Caracterización de la composición química total:

En la Tabla 4.21 observamos que el análisis sumario de la caracterización química total de *Guadua trinii* y de *Guadua angustifolia* es de 102,8%, para ambas especies.

Tabla 4.21: Caracterización de la composición química (% sobre muestra sin extraer, corregido por cenizas y extractivos).

%, sms	<i>Guadua trinii</i>	<i>Guadua angustifolia</i>
Carbohidratos	65,6	63,8
Lignina total	23,9	25,2
Extractivos totales	8,67	9,68
Cenizas	4,58	4,05
Total	102,8	102,8

Gutiérrez presenta para *Guadua angustifolia* un porcentaje de lignina de 24,07% y de holocelulosa de 68,30%, mientras que en nuestro análisis tenemos para la misma especie valores de 23,9% y 63,8%, respectivamente. El autor antes nombrado presenta valores de la misma especie publicados por autores como Azini y Salgado (1992) para la lignina de 20,60% y de holocelulosa de 60.,40%, Cuellar (2009) con lignina de 21,88% y de holocelulosa de 58,80%, Chuluiza (2009) con lignina de 19,72% y de holocelulosa de 71,42%, Gonzales (2002) con 22,70% de lignina y 71,16% de holocelulosa y Otavio (1987) con 20,60% de lignina y 64,60% de holocelulosa. Otavio también expresa que en general un bambú tiene 20,10% de lignina, valor que se encuentra por debajo de los obtenidos en esta investigación, para ambas especies. El mismo autor presenta un porcentaje de 64,60% de holocelulosa, valor que se encuentra por debajo del obtenido para *Guadua trinii* y por encima del obtenido en *Guadua angustifolia*. (36)

Algunos antecedentes de la bibliografía indican que el bambú tiene en promedio una composición química de 45% de celulosa, 23% de hemicelulosa y 22% de lignina. El porcentaje de carbohidratos es levemente superior que el obtenido en *Guadua angustifolia*, pero cercano al obtenido para *Guadua trinii*; y en el caso de la lignina, es un valor cercano al obtenido en ambas especies (119) (117). Otra referencia indica que los valores promedio de pentosanos fueron 18,5% para las *Bambusas* y 20,17% para las *Phylostachys*, y 19,5% de lignina para las *Bambusas* y 22,95% para las *Phylostachys* (42).

2. Caracterización morfológica

Para la caracterización morfológica de las muestras se determinaron los datos biométricos: largo y ancho promedios de fibra, ancho de lumen y espesor de pared, así como los cortes histológicos en cada corte para ambas especies (Figura 4.3).

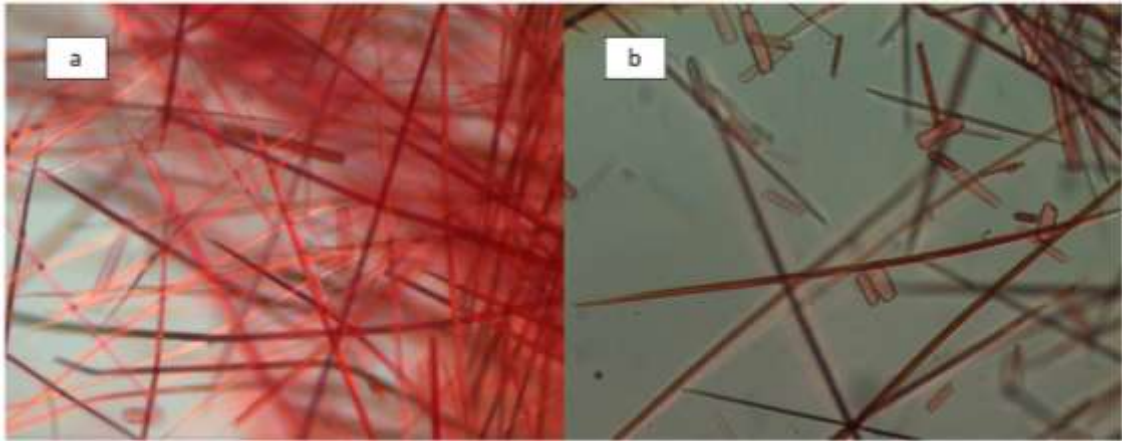


Figura 4.3: Análisis de microscopía óptica de disgregados: (a) *Guadua trinii*, (b) *Guadua angustifolia*.

- Análisis de los cortes histológicos:

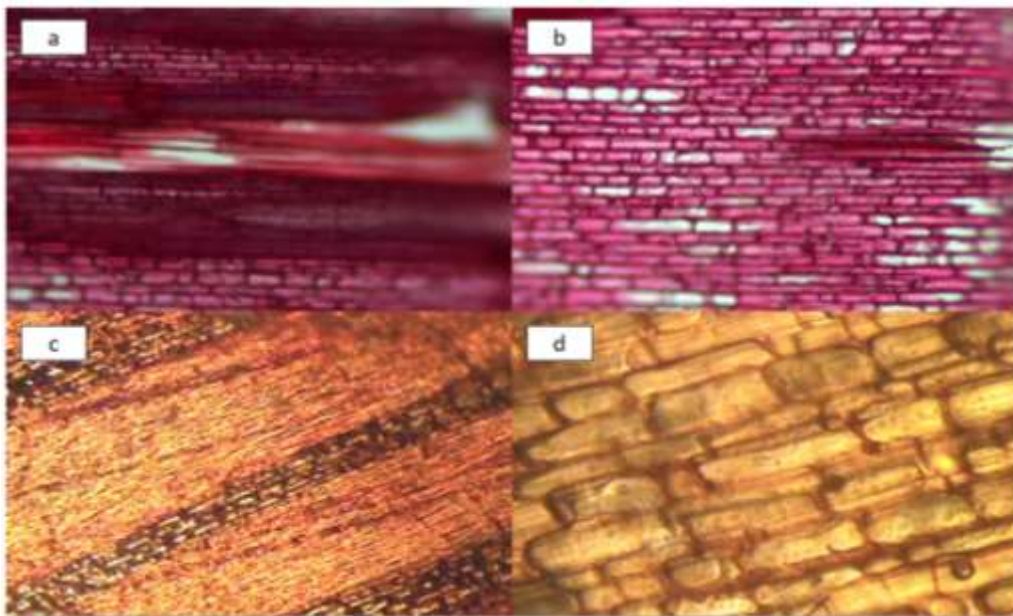


Figura 4.4: a. Corte radial 10X de *Guadua trinii*, b. Corte radial 40X de *Guadua trinii*, c. Corte radial 10X de *Guadua angustifolia*, d. Corte radial 40X de *Guadua angustifolia*.

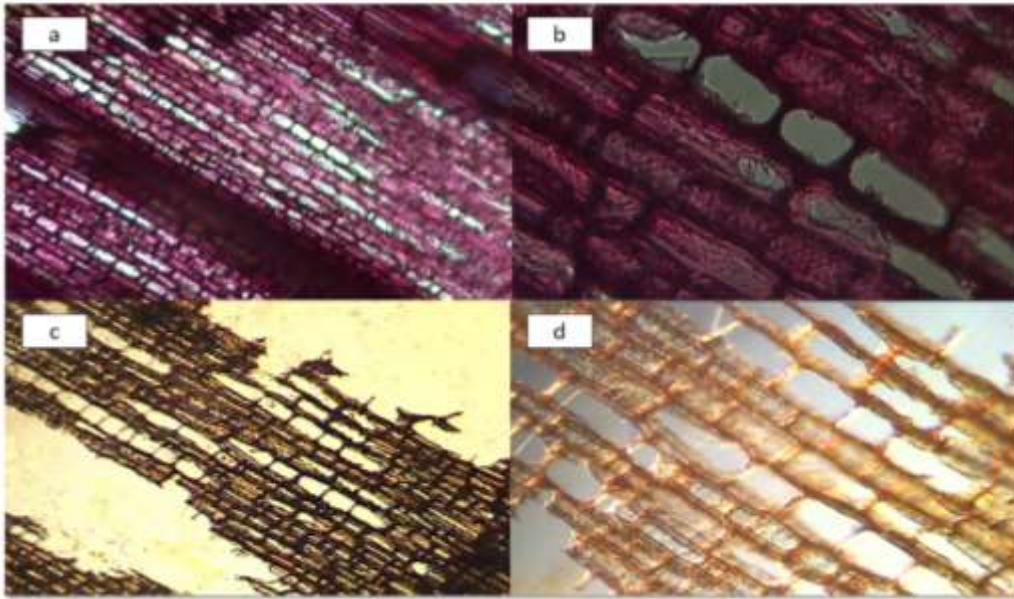


Figura 4.5: a.Corte longitudinal 10X de *Guadua trinii*, b. Corte longitudinal 40X de *Guadua trinii*, c. Corte longitudinal 10X de *Guadua angustifolia*, d. Corte longitudinal 40X de *Guadua angustifolia*.

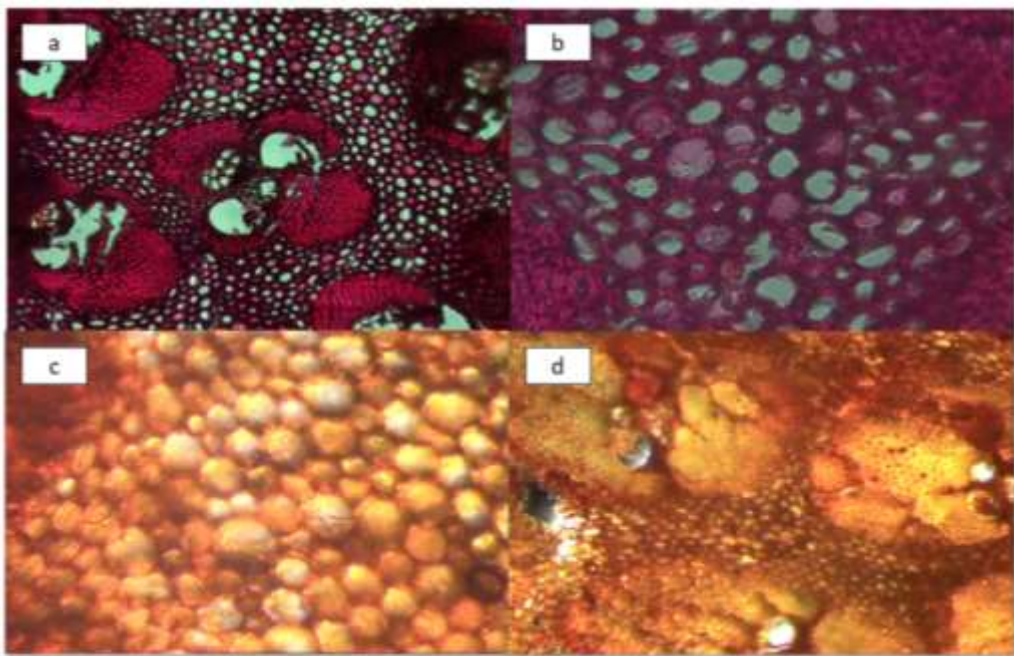


Figura 4.6: a.Corte transversal 10X de *Guadua trinii*, b. Corte transversal 40X de *Guadua trinii*, c. Corte transversal 10X de *Guadua angustifolia*, d. Corte transversal 40X de *Guadua angustifolia*.

En la Figura 4.4 observamos los cortes radiales de las especies *Guadua trinii* y *Guadua angustifolia* a lentes de 10X, donde se visualizan los haces vasculares y radios; y 40X, donde vemos los radios.

En la Figura 4.5 observamos los cortes longitudinales de la especie *Guadua trinii* y *Guadua angustifolia* a lentes de 10X y 40X donde se visualizan vasos, fibras y parénquima.

En la Figura 4.6 observamos los cortes transversales de la especie *Guadua trinii* y *Guadua angustifolia* a lentes de 10X y 40X donde se visualizan haces vasculares, fibras, parénquima y cambium.

Las propiedades de los culmos de bambú están determinadas por su estructura anatómica, ya que ella define las propiedades mecánicas y por tanto el uso final del material. La sección transversal de la pared del culmo de los bambúes está compuesta por un 52% de tejido de parénquima, un 40% de fibras y un 8% de tejido conductivo (119).

A través de la pared del culmo en otros bambúes, el porcentaje de fibra decrece de la zona externa a la interna, mientras que el porcentaje de parénquima es mayor en la zona interna que en la externa, a diferencia de *Guadua angustifolia* donde el porcentaje de tejido conductivo crece de la zona externa a la interna (120)

La estructura interna de los bambúes se encuentra conformada por una matriz de parénquima, y haces vasculares, los cuales se componen a su vez de tejido conductivo, células de parénquima y de fibras (121). La apariencia de la sección transversal del bambú está determinada por la forma, el tamaño, el número y la concentración de haces vasculares que varían desde la periferia hacia la parte interna, y desde la base del culmo hacia el ápice del mismo. Cerca de la periferia, los haces vasculares son pequeños, numerosos y concentrados, mientras que en la parte media del culmo son más grandes y con una distribución más amplia (122). El tejido conductivo del culmo según Londoño (123), está compuesto por células de esclerénquima, vasos (metaxilema, floema, protoxilema) y por tubos criboso con células acompañante.

Londoño et al. (123) encontraron que *Guadua angustifolia* se encuentra compuesta por un 51% de tejido de parénquima, un 40% de fibras y un 9% de

tejido conductivo. También encontraron que en un corte transversal del culmo, se diferencian cuatro zonas, cuyas diferencias se deben a la forma y tamaño de los haces vasculares en cada una de ellas: a) periferia, que corresponde al 4,5% del espesor de la pared del culmo; b) transición, que corresponde al 10,7%; c) media, que corresponde al 73,9% y d) interna, que corresponde al 10,8% del espesor de la pared del culmo.

- Datos biométricos:

- ✓ **Largo y ancho de fibra:**

Se halló el largo y ancho promedio de fibra por medio del Analizador de Calidad de fibra FQA 360. El analizador tomó para *Guadua trinii* la medición total de 31432 fibras, sin embargo, por la norma ISO ya mencionada, solo mantuvo en el promedio la medición de 4698 fibras, dándonos un promedio de 1,044 milímetros de longitud de fibra para la especie *Guadua trinii* (Tabla 4.22).

Tabla 4.22: Longitud de fibra promedio (Analizador de fibras FQA 360).

Longitud promedio (0,2 a 20 mm)		
Medidas	<i>Guadua trinii</i>	<i>Guadua angustifolia</i>
Tiempo transcurrido (s)	703	166
Conteo total de fibras	31432	15389
Conteo real de fibras	4968	5007
Longitud promedio (mm)	1,044	1,441

En las Figuras 4.7 y 4.8 podemos observar un gráfico de frecuencia para el largo de fibra de la especie *Guadua trinii* y *Guadua angustifolia*, respectivamente; también observamos que la mayor cantidad de fibras se encuentran en el rango mencionado por norma.

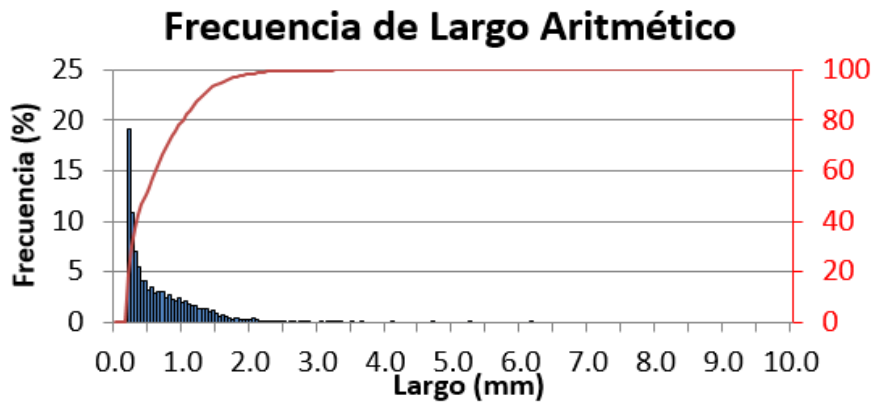


Figura 4.7: Frecuencia de largo aritmético de *Guadua trinii*

En el caso del *Guadua angustifolia* podemos observar que el analizador tomó la medición total de 15389 fibras, manteniendo solo la medición de 5007 fibras, dando un promedio de 1,441 milímetros de longitud de fibra para esta especie.

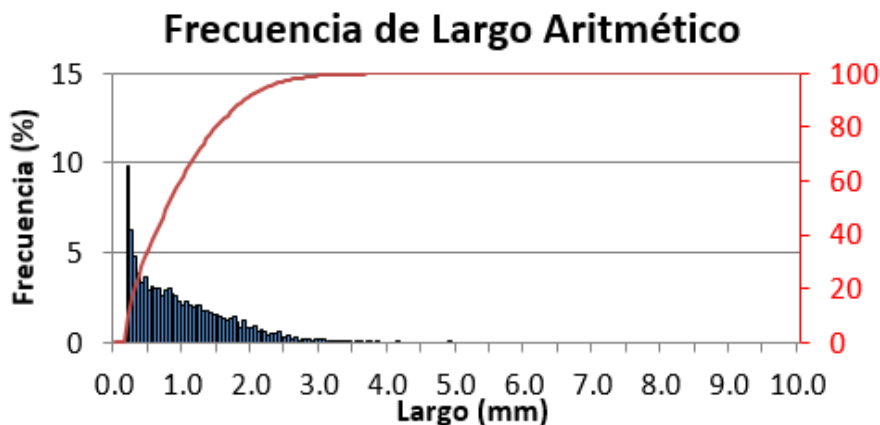


Figura 4.8: Frecuencia de largo aritmético de *Guadua angustifolia*.

En la Tabla 4.23 podemos observar que el analizador tomó la medición total de 4968 fibras, sin embargo, por la norma ISO ya mencionada, solo mantuvo en el promedio la medición de 1310 fibras, dando un promedio de 24,4 micras de ancho de fibra para la especie *Guadua trinii*. En el caso del *Guadua angustifolia* podemos observar que el analizador tomó la medición total de 5007 fibras, pero solo mantuvo en el promedio la medición de 3240 fibras, dando un promedio de 22,0 micras de ancho de fibra para esta especie.

Tabla 4.23: Ancho de fibra promedio (Analizador de fibras FQA 360).

Largo promedio (0,5 a 20 mm)		
Medidas	<i>Guadua trinii</i>	<i>Guadua angustifolia</i>
Tiempo transcurrido (s)	703	166
Conteo total de fibras	4968	5007
Conteo real de fibras	1310	3240
Promedio aritmético (μm)	24,4	22,0

En las Figuras 4.9 y 4.10 podemos observar un gráfico de frecuencia para el ancho de fibra de las especies *Guadua trinii* y *Guadua angustifolia*, respectivamente. También observamos las fibras totales medidas, de las cuales solo 1310 y 3240 se tomaron en cuenta para el promedio del ancho.

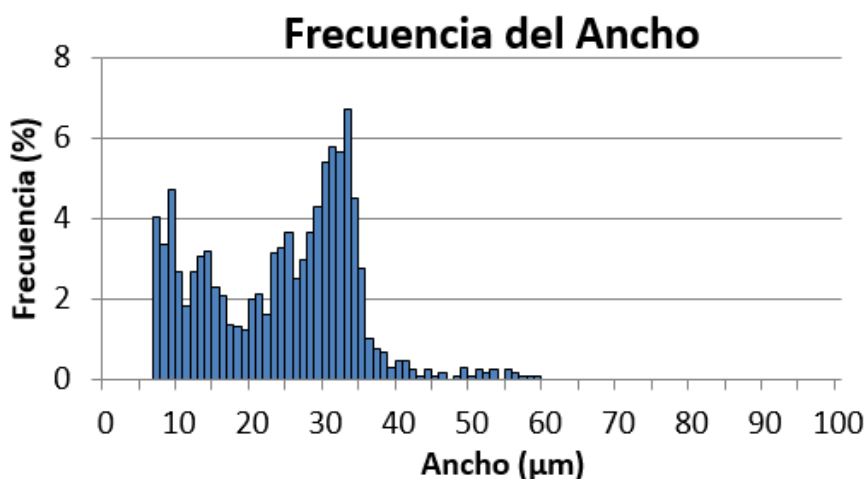


Figura 4.9: Frecuencia del ancho de *Guadua trinii*

Los datos obtenidos utilizando el Analizador de calidad FQA 360 dieron una longitud de fibra de *Guadua angustifolia* que resultó de 1,441 mm, el cual es bastante cercano al 1,491 mm presentado por Clark y White (37) y a los 1,60 mm presentados por LÍESE (120), pero lejano del valor 2,70 presentado por Rubio (36); mientras que *Guadua trinii* mostró un largo de fibra de 1,044 mm.

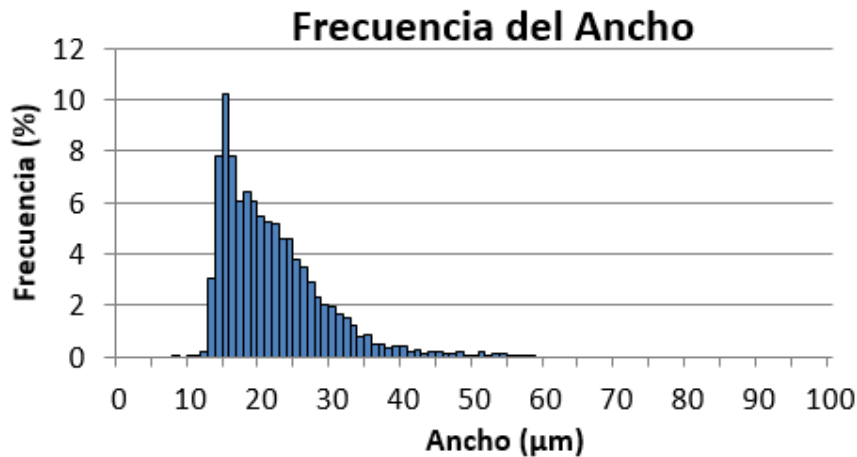


Figura 4.10: Frecuencia del ancho de *Guadua angustifolia*

El ancho de fibra de *Guadua angustifolia* fue de 22 μm a diferencia de los 11,1 μm presentadas por Clark y White (37), a los 12,95 μm obtenidas por Rubio (36), y a las 11 μm presentadas por LÍesse (120); *Guadua trinii* presentó un largo de fibra de 24,4 μm.

Haun et al. (42) menciona que el bambú tiene una longitud de fibra parecida a la de las latifoliadas (0,8 a 1,5 mm) y menor a la de las coníferas (2,5 a 7 mm); ambas especies se encuentran dentro de este rango. De igual forma, Kleine y Foelke (119) y Nigoski (124) mencionan que la longitud de fibra del bambú es de 2,55 mm, valor bastante mayor a los obtenidos; y un ancho de fibra promedio de 17,5 μm, valor también lejano a los obtenidos en ambas especies.

Al ser comparadas con otras especies de bambú, las Bambusas muestran valores mayores a los obtenidos en cuanto a la longitud promedio de fibra, a diferencia del ancho promedio de fibras cuyos valores son menores a los obtenidos (37,42). Por el contrario, Rodríguez y Cáceres (51) presentan cuatro especies de Bambusas cuyo promedio de longitud de fibra es de 1,2 mm y 10 μm de ancho promedio de fibra. En el caso de las *Phyllostachys*, Clark y White (37), presentan una longitud de fibra promedio de 1,6 mm, superior a las Guaduas estudiadas; y 9,753 μm de ancho promedio de fibra, que es la mitad del ancho obtenido.

✓ **Espesor de fibra determinados por microscopía óptica:**

Se halló el ancho y espesor de pared de la fibra, y el diámetro del lumen de la fibra, por medio del microscopio óptico Leika 360. Se realizaron 200 lecturas para cada especie.

Tabla 4.24: Espesor promedio de pared de fibra

Medidas	<i>Guadua trinii</i>	<i>Guadua angustifolia</i>
Ancho de fibra (μm)	10,55	12,28
Diámetro de lumen (μm)	3,00	8,26
Espesor de pared (μm)	3,78	2,01

En la Tabla 4.24 podemos observar que para *Guadua trinii* el ancho promedio de la fibra fue de 10,55 μm y el lumen tiene un diámetro promedio de 3,00 μm , la diferencia entre ambos dividido entre dos (la pared rodea el lumen) fue de 3,78 μm , el cual fue el espesor de pared promedio. Para *Guadua angustifolia* observamos que el ancho promedio de la fibra es de 12,28 μm y el lumen tiene un ancho promedio de 8,26 μm , y el espesor de pared promedio fue de 2,01 μm . En las Figuras 4.11 y 4.12 observamos un gráfico de frecuencia para el espesor de pared de fibra para *Guadua trinii* y *Guadua angustifolia*, respectivamente, los cuales nos muestran que la mayor cantidad de fibras se encuentran entre 3 y 3,9 micras de espesor de pared en el primer caso, y 1 μm y 1,9 μm en el segundo caso.

Los datos obtenidos utilizando el microscopio Leika 360 con respecto al ancho de fibra de *Guadua angustifolia* fue de 12,28 μm y del *Guadua trinii* es de 10,55 μm , los cuales son inferiores a los obtenidos mediante el Analizador de Calidad de Fibra FQA 360, presentando en este último método un valor cercano a la mitad respecto del primer método. Estos últimos valores sí son comparables con los presentados por Clark y White (37), Rubio (36) y Liese (120). La diferencia de estos datos con los obtenidos con el Analizador de Calidad de Fibra FQA 360, se debe principalmente a que este último no solo puede medir fibras, sino que también diversos componentes dentro del disgregado, como elementos basales no fibrosos, dando valores promedio de ancho muy superiores respecto a los obtenidos por microscopía óptica.

En cuanto al ancho del lumen se obtuvo 3,00 μm para *Guadua trinii* y 8,26 μm para *Guadua angustifolia*. Esta última especie también fue observada por Rubio (34) en la cual presenta 7,63 μm y por Clark y White (37) presentando 11,1 μm .

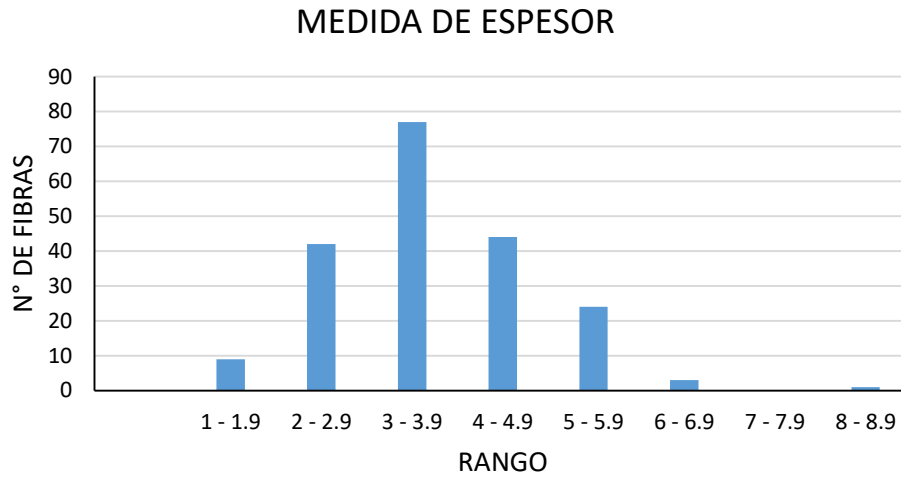


Figura 4.11: Frecuencia del espesor de pared de *Guadua trinii*

En el caso del espesor de pared *Guadua trinii* presenta 3,78 μm y *Guadua angustifolia* 2,01 μm , valores distintos a los 5,32 μm presentados por Rubio. (36)

En términos generales, Kleine y Foelkel (119) y Nigoski (124) que el espesor de la pared celular del bambú es de 6,00 μm .

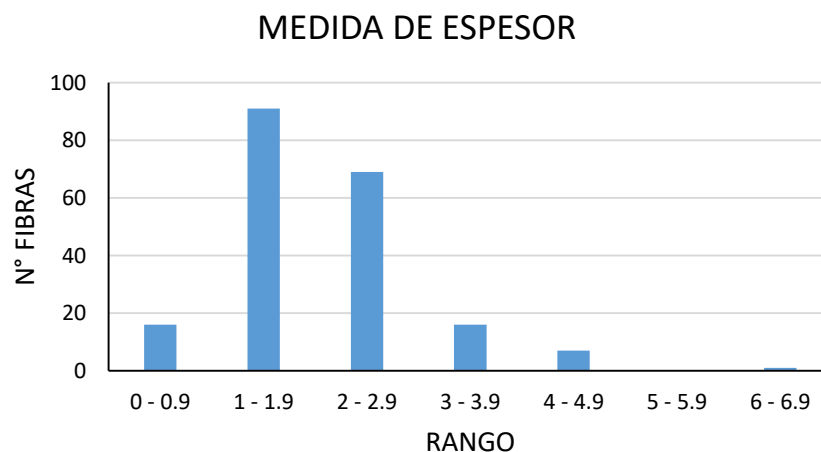


Figura 4.12: Frecuencia del espesor de pared de *Guadua angustifolia*

La diferencia de los resultados de la medición del ancho con el microscopio Leika 360, con los obtenidos con el Analizador de Calidad de Fibra FQA 360, se debe principalmente a que este último no solo puede medir fibras, si no también diversos componentes dentro del disgregado, elementos basales no fibrosos, dando valores promedio de ancho muy superiores respecto a los obtenidos por microscopía óptica. Por esta razón, se realizó una clasificación de las fibras de las pulpas a la soda-AQ de ambas especies mediante: (i) microscopía óptica y (ii) el método de clasificación de fibras Bauer-McNett midiendo la longitud y ancho de fibras de lo retenido en cada malla. Además, se realizó una nueva medición de las fibras en el analizador de Calidad FQA de las pulpas soda – AQ de ambas especies.

Tabla 4.25: Medición promedio en el analizador FQA, de largo y ancho de fibra luego de pulpado a la soda-AQ con y sin tratamiento hidrotérmico.

Espece	Conteo de fibras	Tiempo transcurrido (s)	Largo ponderado (mm)	Ancho promedio (μm)
<i>Guadua angustifolia</i> s/ HT	3002	168	0,9089	31,2147
<i>Guadua angustifolia</i> c/ HT	3002	181	0,8737	30,2242
<i>Guadua trinitii</i> s/ HT	3001	134	0,8991	30,4082
<i>Guadua trinitii</i> c/ HT	3002	179	0,7977	29,4937

Dónde: s/: sin, c/: con, HT: tratamiento hidro-térmico

En la Tabla 4.25 observamos los promedios de largo y ancho obtenidos mediante el analizador de calidad FQA 360, bajo las mismas condiciones mencionadas en la medición anterior con el mismo equipo, para ambas especies luego de ser pulpeadas a la soda-AQ, cuyos datos se mostrarán más adelante, con y sin tratamiento hidro-térmico, respectivamente. Comparando los datos anteriores de largo y ancho de fibra obtenidos con el FQA (Tablas 4.22 y 4.23), la longitud de fibra promedio fue inferior para cada una de las especies; mientras que el ancho promedio de fibra fue superior para ambas especies. Estas diferencias podrían deberse a que la primera determinación con el FQA se realizó sobre disgregados de fibras mientras que este segundo análisis se realizó sobre fibras de pulpas soda-AQ.

Estos datos también fueron comparados con las nuevas mediciones de ancho, largo y espesor de pared obtenidos con el microscopio Leika a partir de las fracciones retenidas en la clasificación de fibras mediante el método de Bauer-McNett (Tablas 4.26, 4.27 y 4.28).

La medición de los largos en microscopio se realizó para cada fracción retenida de 30, 50, 100 y 200 mesh para cada especie con y sin tratamiento hidro-térmico, se midieron 200 fibras retenidas por el mesh 30 y 100 fibras por los otros mesh. Los resultados son presentados en la Tabla 4.26.

Tabla N° 4.26: Medición promedio en microscopio Leika de longitud de fibra luego de pulpado a la soda-AQ.

Especie	Mesh	Longitud (mm)	DS	Mediana	CV %	Promedio general (mm)
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT	30	1,57	0,518	1,52219	32,92	0,98
	50	0,91	0,336	0,84028	36,95	
	100	0,88	0,239	0,85088	27,28	
	200	0,58	0,138	0,56668	24,00	
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT	30	1,81	0,441	1,82238	24,43	1,07
	50	1,17	0,355	1,16701	30,24	
	100	0,78	0,192	0,76751	24,53	
	200	0,53	0,176	0,50512	33,10	
<i>Guadua trinii</i> S/HT	30	1,50	0,362	1,46906	24,17	0,96
	50	1,21	0,297	1,15426	24,63	
	100	0,65	0,194	0,64347	29,81	
	200	0,50	0,181	0,48816	36,24	
<i>Guadua trinii</i> C/HT	30	1,59	0,436	1,54228	27,41	1,02
	50	1,36	0,341	1,36891	25,03	
	100	0,70	0,181	0,68816	25,89	
	200	0,43	0,115	0,43132	27,01	

Dónde: S/HT: sin tratamiento hidro-térmico, C/HT: con tratamiento hidro-térmico, DS: desviación estándar, CV%: % coeficiente de variación

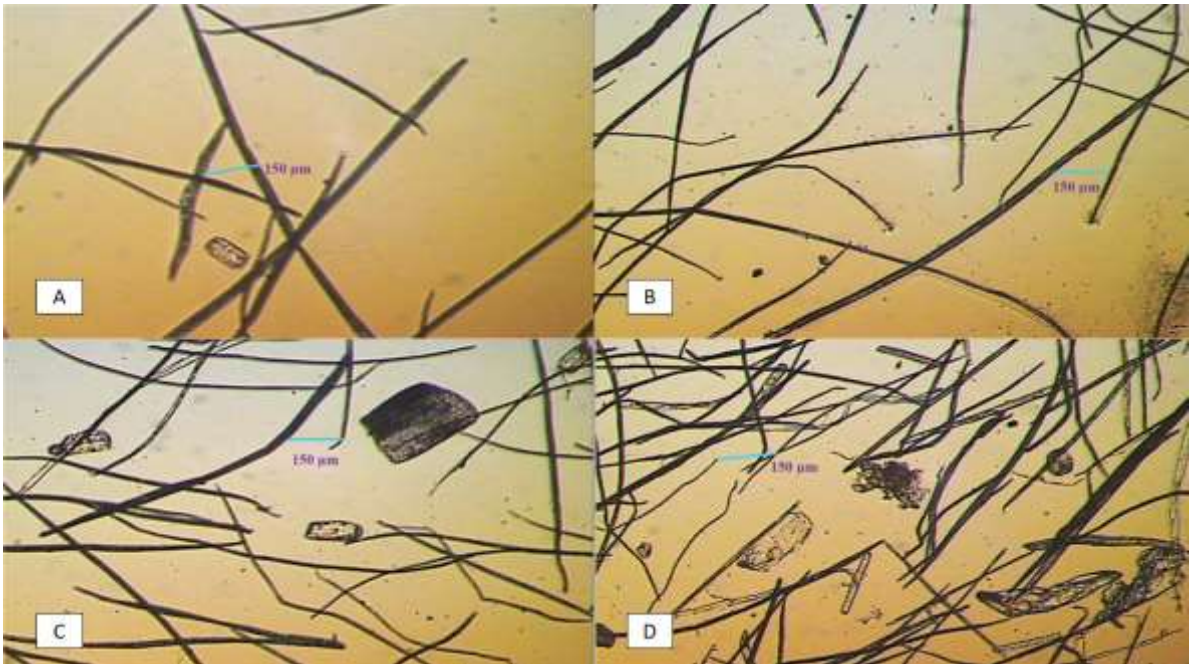


Figura 4.13: Imágenes de microscopía óptica de la medición de longitud de fibra de *Guadua angustifolia* S/HT. A: R-30, B: R-50, C: R-100, D: R-200
Magnificación 10X

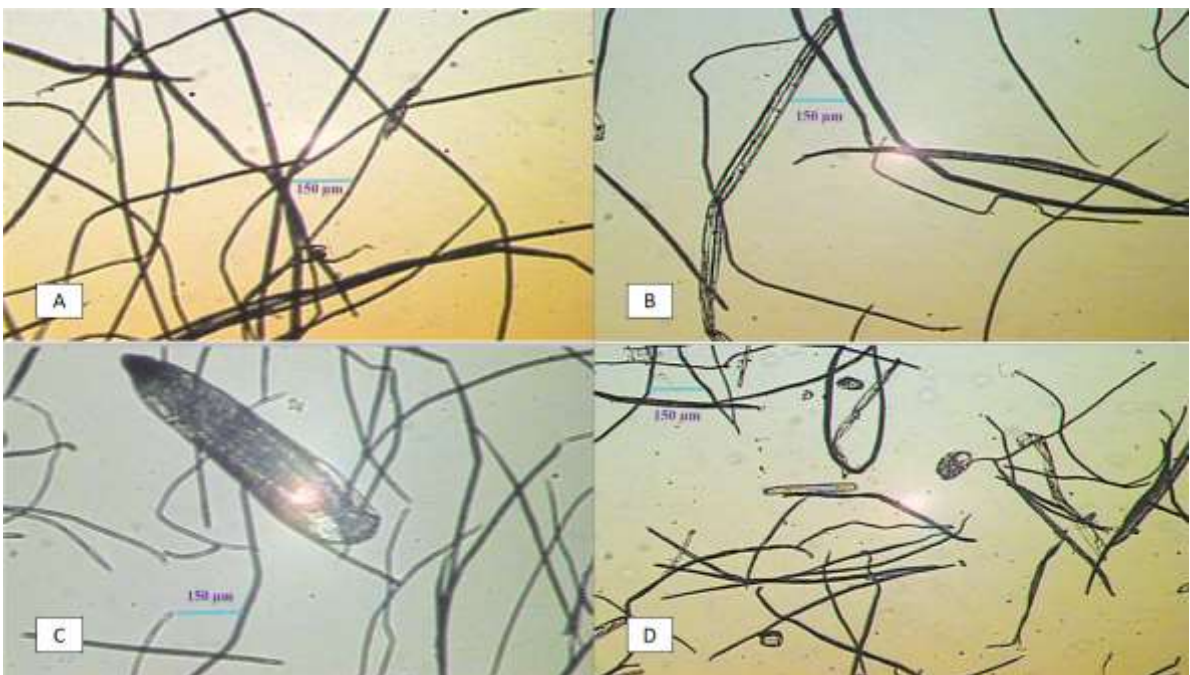


Figura 4.14: Imágenes de microscopía óptica de la medición de longitud de fibra de *Guadua angustifolia* C/HT. A: R-30, B: R-50, C: R-100, D: R-200.
Magnificación 10X

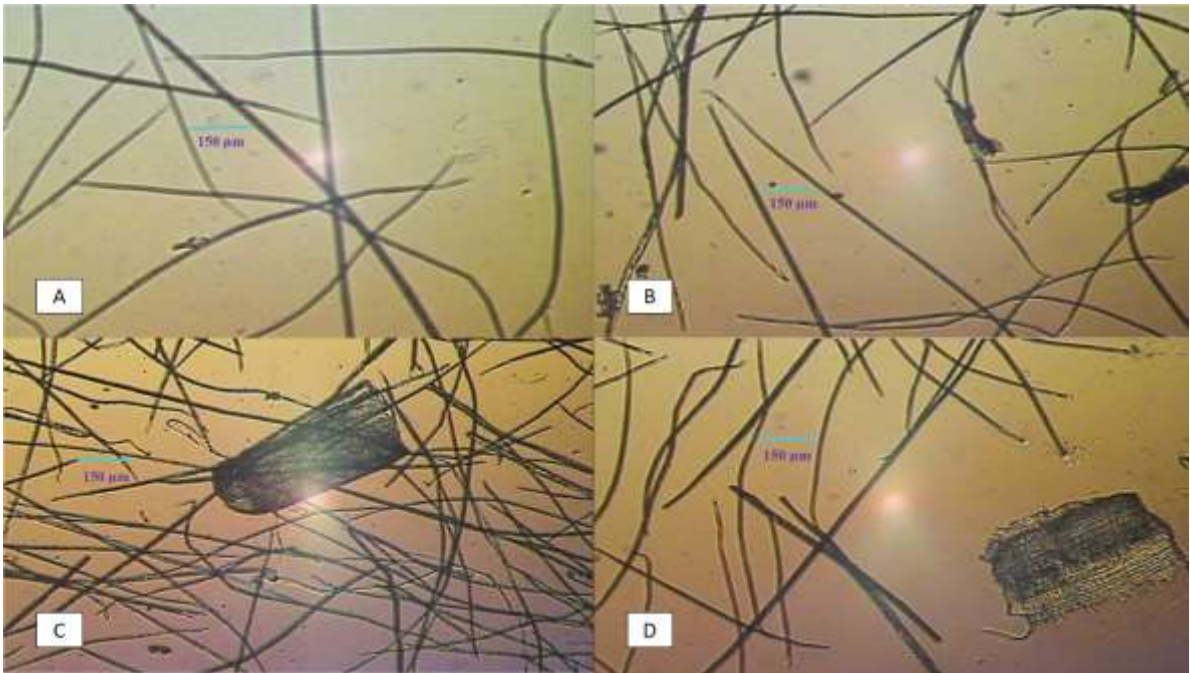


Figura 4.15: Imágenes de microscopía óptica de la medición de longitud de fibra de *Guadua trinii* S/HT. A: R-30, B: R-50, C: R-100, D: R-200.

Magnificación 10X

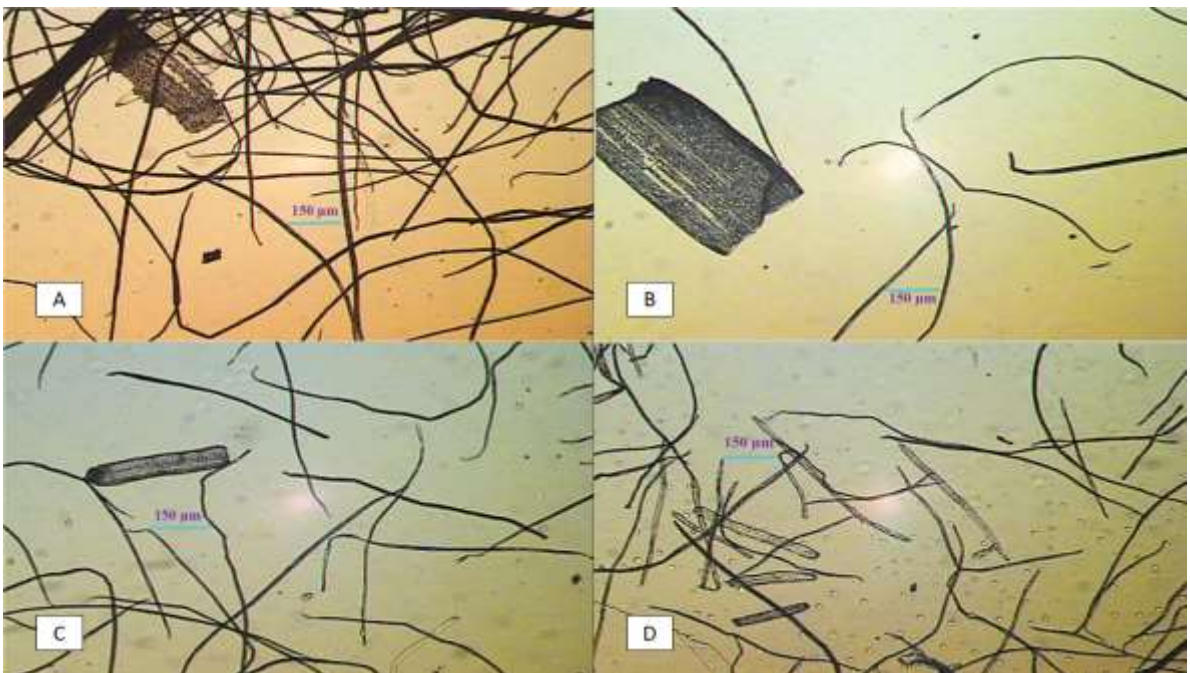


Figura 4.16: Imágenes de microscopía óptica de la medición de longitud de fibra de *Guadua trinii* S/HT. A A: R-30, B: R-50, C: R-100, D: R-200.

Magnificación 10X

Analizando los datos de largo obtenidos en la Tabla 4.25 y 4.26, para ambas pulpas soda-AQ sin tratamiento hidro-térmico, el valor de longitud promedio es muy cercano en los dos métodos utilizados; a diferencia de las pulpas a la soda-AQ de ambas especies pulpadas con pretratamiento hidro-térmico cuya medida de longitud mediante el microscopio Leika fue mayor.

La medición de los anchos y espesores de pared y lumen de las fibras, se realizó para cada fracción retenida por 30, 50, 100 y 200 mesh para cada especie con y sin tratamiento hidro-térmico, se midieron 25 fibras retenidas por cada malla. Los resultados son presentados en las Tablas 4.27, 4.28 y 4.29, respectivamente.

Tabla 4.27: Medición promedio en microscopio Leika de ancho de las fibras luego de pulpado a la soda AQ con y sin tratamiento hidro-térmico por fracciones.

Especie	Mesh	Ancho			Promedio general (μm)
		Promedio (μm)	DS	%CV	
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT	30	16,759	7,098	42,352	14,731
	50	13,013	3,691	28,362	
	100	14,294	4,399	30,778	
	200	14,860	4,039	27,181	
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT	30	18,104	4,735	26,157	13,890
	50	14,283	4,367	30,572	
	100	13,575	5,362	39,498	
	200	9,600	3,853	40,133	
<i>Guadua trinitii</i> C/HT	30	12,236	3,741	30,574	9,806
	50	10,327	3,765	36,454	
	100	8,978	3,028	33,729	
	200	7,685	2,514	32,715	
<i>Guadua trinitii</i> S/HT	30	16,890	3,780	22,381	16,238
	50	17,365	3,342	19,244	
	100	18,364	3,828	20,843	
	200	12,332	4,654	37,738	

Dónde: S/HT: sin tratamiento hidro-térmico, C/HT: con tratamiento hidro-térmico, DS: desviación estándar, CV%: % coeficiente de variación.

Tabla 4.28: Medición promedio en microscopio Leika de lumen de las fibras luego de pulpado a la soda AQ con y sin tratamiento hidro-térmico por fracciones.

Especie	Mesh	Lumen			Promedio general (mm)
		Promedio (mm)	DS	%CV	
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT	30	10,533	6,360	60,383	8,885
	50	7,227	3,343	46,256	
	100	8,947	3,436	38,403	
	200	8,835	3,760	42,559	
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT	30	12,064	4,201	34,822	8,591
	50	9,038	3,107	34,379	
	100	8,042	3,605	44,830	
	200	5,220	2,927	56,078	
<i>Guadua trinii</i> C/HT	30	7,308	2,823	38,624	5,326
	50	5,546	2,644	47,673	
	100	4,436	2,079	46,863	
	200	4,014	1,603	39,927	
<i>Guadua trinii</i> S/HT	30	10,629	3,110	29,259	8,926
	50	9,441	3,265	34,580	
	100	9,864	3,632	36,823	
	200	5,769	3,518	60,975	

Dónde: S/HT: sin tratamiento hidro-térmico, C/HT: con tratamiento hidro-térmico, DS: desviación estándar, CV%: % coeficiente de variación.

Tabla 4.29: Medición promedio en microscopio Leika de espesor de pared de las fibras luego de pulpado a la soda AQ con y sin tratamiento hidro-térmico por fracciones.

Especie	Mesh	Espesor			Promedio general (μm)
		Promedio (μm)	DS	%CV	
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT	30	3,113	0,874	28,064	2,923
	50	2,893	0,904	31,263	
	100	2,674	0,859	32,116	
	200	3,013	1,026	34,069	
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT	30	3,020	0,824	27,279	2,650
	50	2,622	1,144	43,642	
	100	2,766	1,121	40,520	
	200	2,190	0,674	30,777	
<i>Guadua trinii</i> C/HT	30	2,464	0,663	26,900	2,240
	50	2,390	0,922	38,564	
	100	2,271	1,000	44,034	
	200	1,835	0,717	39,093	
<i>Guadua trinii</i> S/HT	30	3,131	0,816	26,059	3,656
	50	3,962	1,075	27,130	
	100	4,250	1,029	24,222	
	200	3,281	0,951	28,994	

Dónde: S/HT: sin tratamiento hidro-térmico, C/HT: con tratamiento hidro-térmico, DS: desviación estándar, CV%: % coeficiente de variación.

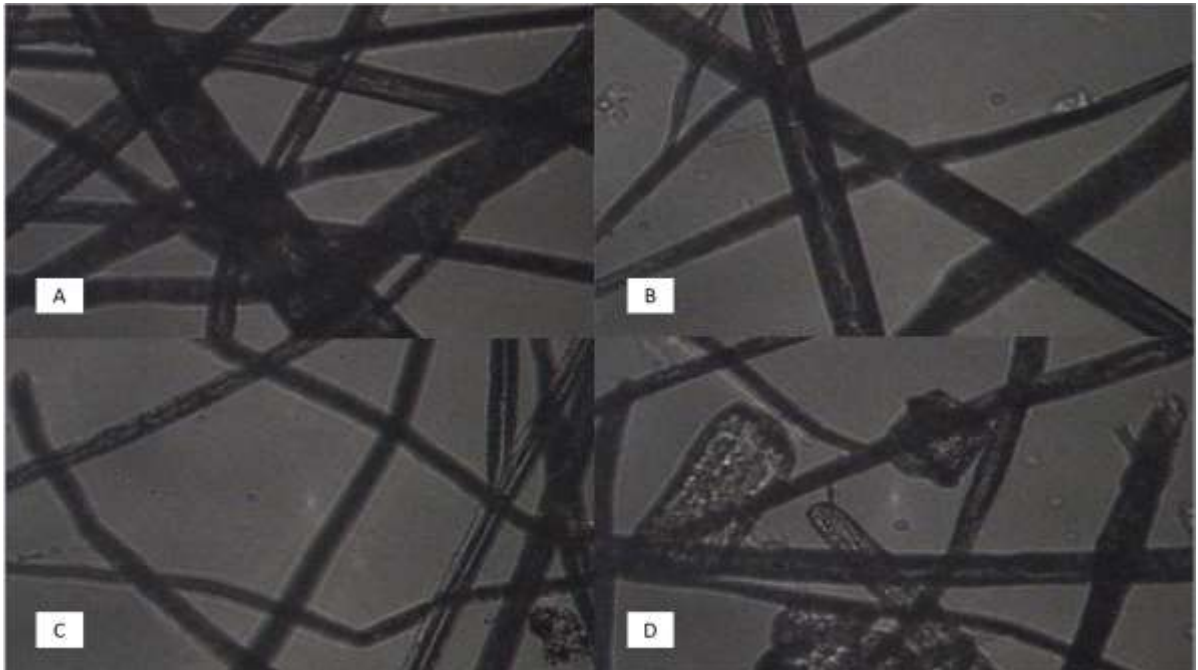


Figura 4.17: Imágenes de la medición de ancho de fibra de *Guadua angustifolia* S/HT. A: R-30, B: R-50, C: R-100, D: R-200. Magnificación 20X

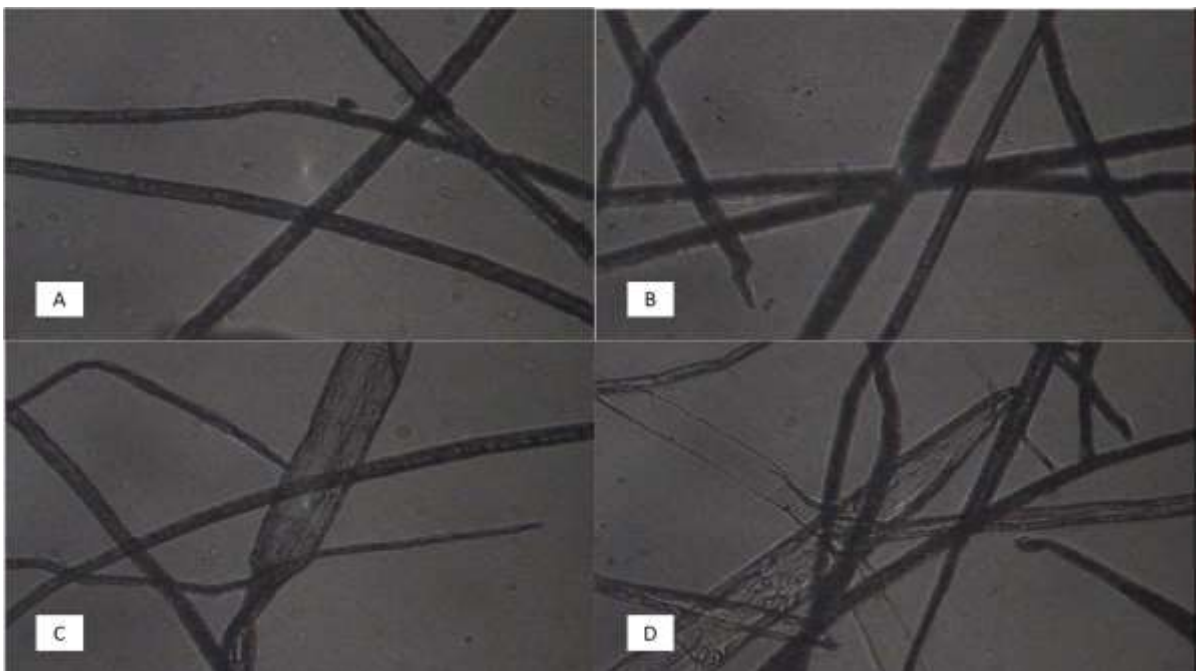


Figura 4.18: Imágenes de la medición de ancho de fibra de *Guadua angustifolia* C/HT. A: R-30, B: R-50, C: R-100, D: R-200. Magnificación 20X



Figura 4.19: Imágenes de la medición de ancho de fibra de *Guadua trinitii*
S/HT. A A: R-30, B: R-50, C: R-100, D: R-200. Magnificación 20X

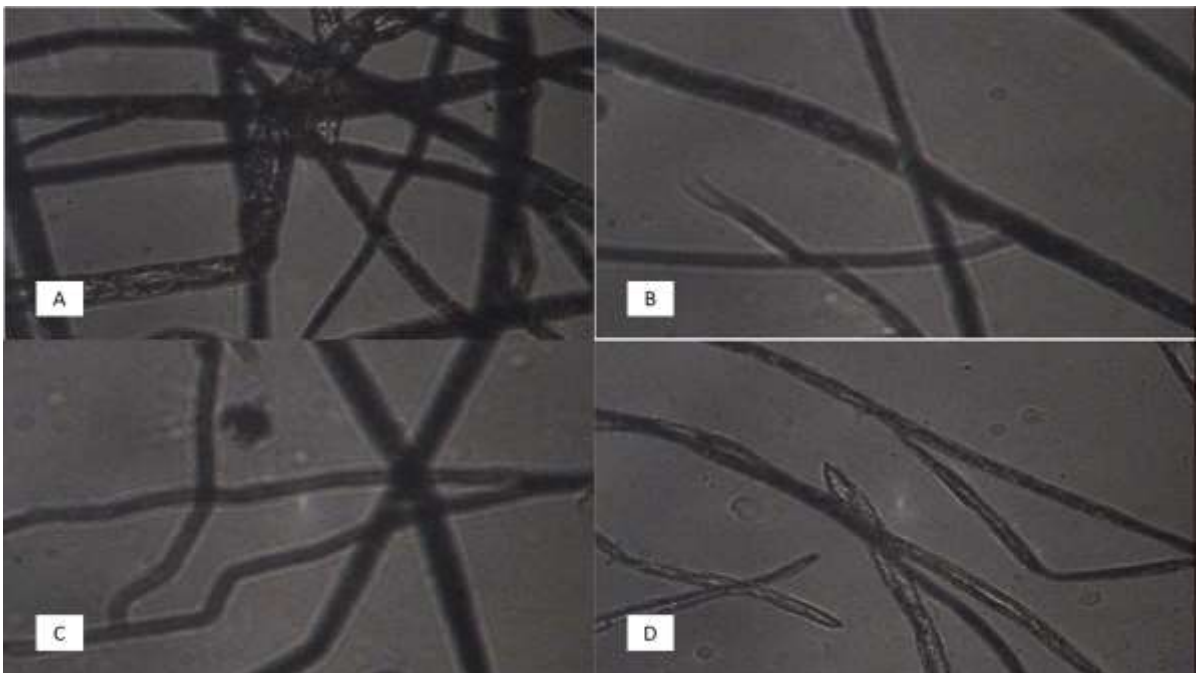


Figura 4.20: Imágenes de la medición de ancho de fibra de *Guadua trinitii*
C/HT. A: R-30, B: R-50, C: R-100, D: R-200. Magnificación 20X

En todos los casos, la medición hecha con el microscopio Leika (Tabla 4.27), nos muestra un ancho menor en aproximadamente 50% a los anchos obtenidos con la medición utilizando el analizador de calidad FQA (Tabla 4.25).

Se realizó un análisis ANOVA mediante el programa estadístico Statgraphics, descomponiendo la varianza de los largos de fibra, para cada fracción retenida en cada malla (Bauer McNett), en dos componentes: un componente entre grupos (30, 50, 100 y 200 mesh) y un componente dentro de cada grupo. Lo mismo para las mediciones obtenidas de ancho, espesor de pared y lumen. Esto se realizó para cada especie con y sin tratamiento hidro-térmico.

Tabla 4.30: ANOVA para las longitudes promedio de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	81,0445	3	27,0148	185,62	0,0000
Intra grupos	72,1888	496	0,1455		
Total (Corr.)	153,2330	499			

Según la tabla 4.30, el valor-*P* de la prueba-F es menor que 0,05, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la longitud de las fibras retenidas en los diferentes tamices.

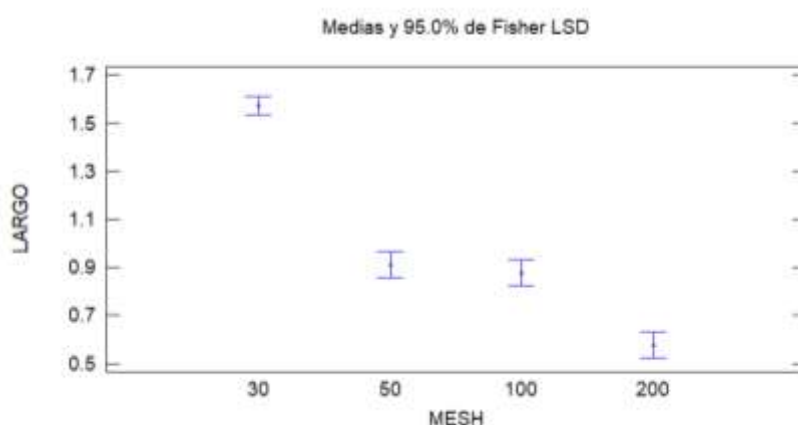


Figura 4.21: Gráfico de medias para los largos de fibra de la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.

En el gráfico 4.21 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que los largos de fibra para las mallas de 30 y 200 mesh, muestran una media por encima y debajo de las otras, lo que indica que existe una diferencia significativa entre ellos. Mientras que los largos para las retenciones en las mallas con 50 y 100 mesh, se encuentran en un mismo grupo homogéneo, lo que sugiere que entre estas dos retenciones, los largos de fibra no presentan diferencia estadísticamente significativa.

Tabla 4.31: ANOVA para los largos de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	135,528	3	45,176	386,57	0,0000
Intra grupos	57,964	496	0,117		
Total (Corr.)	193,492	499			

Según la Tabla 4.31, el valor-*P* de la prueba-F es menor que 0,05, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la longitud de las fibras retenidas en los diferentes tamices.

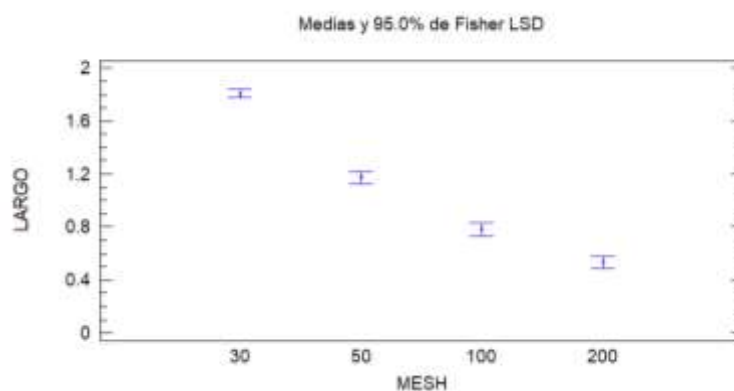


Figura 4.22: Gráfico de medias para los largos de fibra de la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.

En la Figura 4.22 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que la longitud de fibra para todas las mallas muestra una media por encima y debajo de las otras, lo que indica que existe una diferencia significativa entre los mismos.

Tabla 4.32: ANOVA para los largos de cada fracción (Bauer Mcnett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua trinii* pulpada a la soda-AQ sin tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	88.3233	3	29.4411	349.20	0.0000
Intra grupos	41.8182	496	0.0843109		
Total (Corr.)	130.142	499			

Según la Tabla 4.32 el valor-*P* de la prueba-F es menor que 0,05, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la longitud de las fibras retenidas en los diferentes tamices.

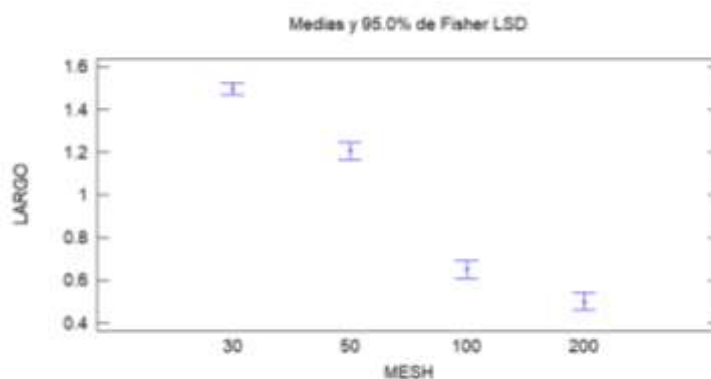


Figura 4.23: Gráfico de medias para los largos de fibra de la especie *Guadua trinii* pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.

En el Figura 4.23 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que los largos de fibra para todas las mallas muestran una media por encima y debajo de las otras, lo que indica que existe una diferencia significativa entre ellos.

Tabla 4.33: ANOVA para los largos de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua trinii* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	115,828	3	38,610	355,11	0,0000
Intra grupos	53,928	496	0,109		
Total (Corr.)	169,756	499			

Según la Tabla 4.33, el valor-*P* de la prueba-F es menor que 0,05, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la longitud de las fibras retenidas en los diferentes tamices.

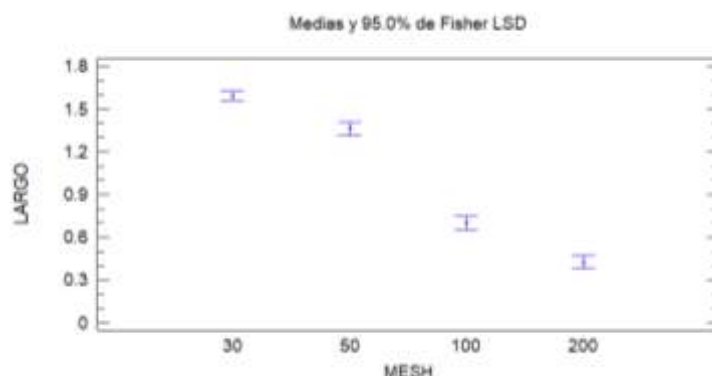


Figura 4.24: Gráfico de medias para los largos de fibra de la especie *Guadua trinii* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.

En la Figura 4.24 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que los largos de fibra para todas las mallas muestran una media por encima y debajo de las otras, lo que indica que existe una diferencia significativa entre los mismos.

También se realizó un ANOVA multifactorial para comparar los largos de fibra entre ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico; para corroborar si existe un efecto significativo entre las longitudes de fibras retenidas en cada tamiz y entre las especies.

Tabla 4.34: ANOVA multifactorial de las longitudes promedio de fibra para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Especie	6,221	3	2,074	16,88	0,0000
B:Mesh de malla	401,788	3	133,929	1090,21	0,0000
Residuos	244,835	1993	0,123		
Total (corregido)	652,844	1999			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores (especie y mesh de malla). Puesto que 2 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la longitud de fibra. El análisis también demuestra que no existe interacciones entre los grupos de factores.

A su vez se realizó un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, por el cual observamos no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que comparten una misma columna de X's. Estos resultados se muestran en la Tabla 4.35.

Tabla 4.35: Prueba de múltiples rangos de longitudes promedio de fibra en ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.

Método: 95.0 porcentaje LSD

Especie	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
<i>Guadua trinitii</i> S/HT	500	0.949589	0.0158573	X
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT	500	0.980867	0.0158573	XX
<i>Guadua trinitii</i> C/HT	500	1.01277	0.0158573	X
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT	500	1.09909	0.0158573	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT - <i>Guadua angustifolia</i> S/HT	*	0.118	0.043
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT - <i>Guadua trinitii</i> C/HT	*	0.086	0.043
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT - <i>Guadua trinitii</i> S/HT	*	0.150	0.043
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua trinitii</i> C/HT		-0.032	0.043
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua trinitii</i> S/HT		0.032	0.043
<i>Guadua trinitii</i> C/HT - <i>Guadua trinitii</i> S/HT	*	0.063	0.043

* indica una diferencia significativa.

Tabla 4.36: ANOVA para los anchos de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	181,84	3	60,613	2,43	0,0697
Intra grupos	2392,06	96	24,917		
Total (Corr.)	2573,90	99			

Según la Tabla 4.36, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de los anchos de fibra entre las fibras retenida en los diferentes tamices.

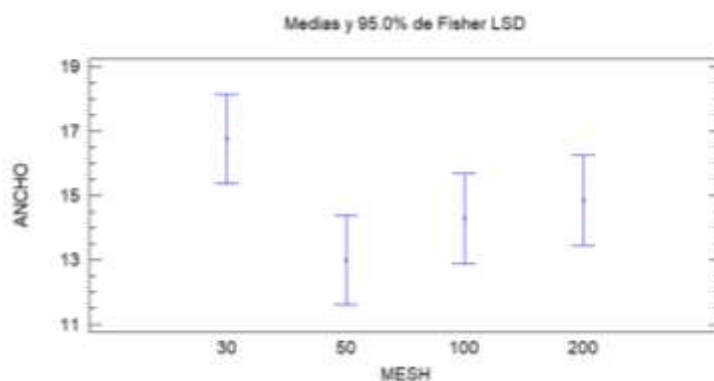


Figura 4.25: Gráfico de medias para los anchos de fibra de la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.

En la Figura 4.25 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que los anchos de fibra para las mallas de 50, 100 y 200 mesh, se encuentran en un mismo grupo homogéneo, lo que sugiere que entre estas dos retenciones, los anchos de fibra no presentan diferencia estadísticamente significativa. Mientras que el ancho de fibra de la retención de la malla con mesh 30, solo presenta una media estadísticamente homogénea con los anchos de la retención de malla de 200 mesh, con las otras mallas (50 y 100 mesh) tiene una media mayor, lo que indica que existe una diferencia significativa entre los anchos.

Tabla 4.37: ANOVA para los anchos de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	910,47	3	303,492	14,27	0,0000
Intra grupos	2042,02	96	21,271		
Total (Corr.)	2952,50	99			

Según la Tabla 4.37 el valor-P es menor que 0.05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de ANCHO DE FIBRA entre un nivel de MESH y otro.

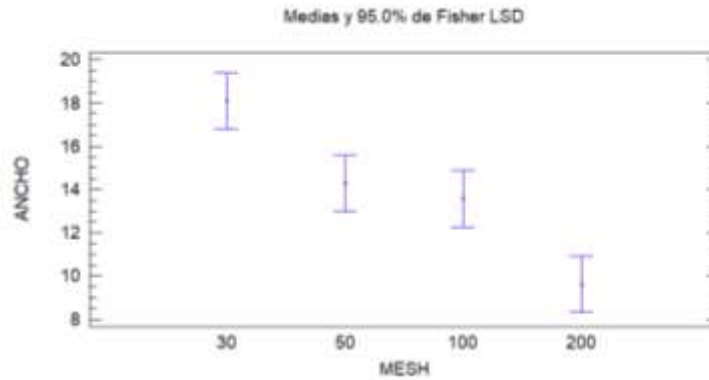


Figura 4.26: Gráfico de medias para los anchos de fibra de la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.

En la Figura 4.26 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que los anchos de fibra para las mallas de 50 y 100 mesh, se encuentran en un mismo grupo homogéneo, lo que sugiere que, entre estas dos retenciones, los anchos de fibra no presentan diferencia estadísticamente significativa. Mientras que el ancho de fibra de la retención de las mallas con mesh 30 y 200 presentan una media por encima y debajo de las otras, lo que indica que existe una diferencia significativa entre estos anchos.

Tabla 4.38: ANOVA para los anchos de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua trinii* pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	283,995	3	94,665	8,67	0,0000
Intra grupos	1047,75	96	10,914		
Total (Corr.)	1331,75	99			

Según la Tabla 4.38 el valor-P es menor que 0.05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de ANCHO DE FIBRA entre un nivel de MESH y otro.

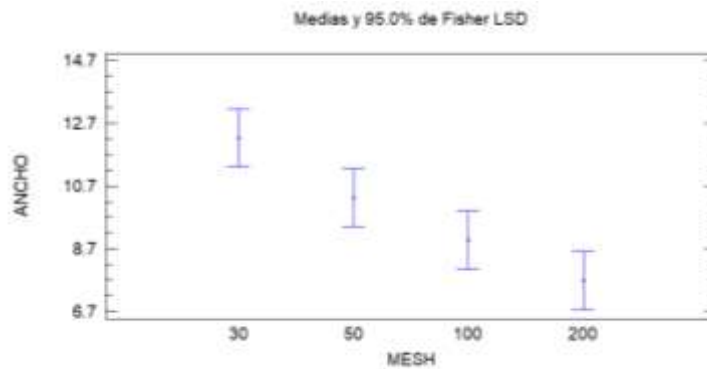


Figura 4.27: Gráfico de medias para los anchos de fibra de la especie *Guadua trinitii* pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.

En la Figura 4.27 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que los anchos de fibra para las mallas de 50 y 100 mesh, se encuentran en un mismo grupo homogéneo, lo que sugiere que, entre estas dos retenciones, los anchos de fibra no presentan diferencia estadísticamente significativa; lo mismo para los anchos de fibra de las retenciones de 100 y 200 mesh. Mientras que el ancho de fibra de la retención de malla con mesh 30 presentan una media por encima de las otras, lo que indica que existe una diferencia significativa entre ellos.

Tabla 4.39: ANOVA para los anchos de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua trinitii* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	536,836	3	178,945	11,59	0,0000
Intra grupos	1482,37	96	15,441		
Total (Corr.)	2019,2	99			

Según la Tabla 4.39 existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de ANCHO DE FIBRA entre un nivel de MESH y otro, con un nivel del 95.0% de confianza (valor-P menor a 0.05)

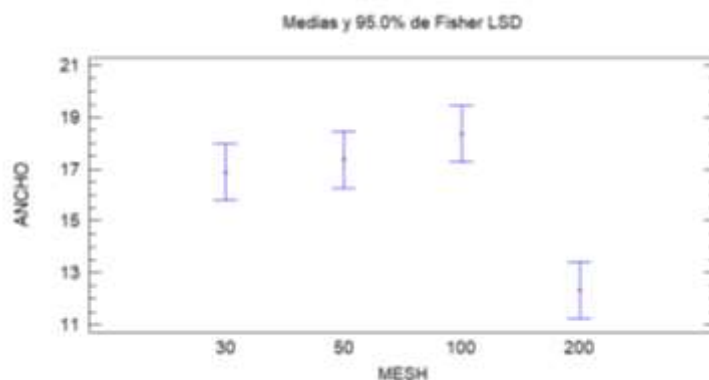


Figura 4.28: Gráfico de medias para los anchos de fibra de la especie *Guadua trinii* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.

En la Figura 4.28 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que los anchos de fibra para las mallas de 30, 50 y 100 mesh, se encuentran en un mismo grupo homogéneo, lo que sugiere que, entre estas tres retenciones, los anchos de fibra no presentan diferencia estadísticamente significativa. Mientras que el ancho de fibra de la retención de malla con mesh 200 presentan una media por debajo de las otras, lo que indica que existe una diferencia significativa entre ellos.

También se realizó un ANOVA multifactorial para comparar los anchos de fibra entre ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico; para corroborar si existe un efecto significativo de los factores mesh de malla (retenido) y especie, sobre el ancho de fibra.

Tabla 4.40: ANOVA multifactorial de los anchos de fibra para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Especie	2587,97	4	646,993	34,44	0,0000
B:Mesh	1512,36	3	504,119	26,83	0,0000
Residuos	7364,44	392	18,787		
Total (corregido)	11147,10	399			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Según la Tabla 4.40, 2 valores-P son menores que 0,05 por lo que estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el ancho de fibra.

El análisis también demuestra que no existe interacciones entre los grupos de factores.

A su vez se realizó un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, el cual demuestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. Estos resultados se muestran en la Tabla 4.41.

Tabla 4.41: Prueba de múltiples rangos de ancho promedio de fibra para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.

Método: 95.0 porcentaje LSD

ESPECIE	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
<i>Guadua trinii</i> S/HT	100	9,806	0,433	X
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT	75	13,542	0,521	X
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT	100	13,891	0,433	X
<i>Guadua trinii</i> C/HT	100	16,238	0,433	X
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT	25	18,299	0,969	X

Contraste	Sig.	Diferencia +/-	Límites
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT - <i>Guadua angustifolia</i> S/HT		0,348	1,332
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT - <i>Guadua angustifolia</i> S/HT	*	-4,409	2,087
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT - <i>Guadua trinii</i> C/HT	*	-2,347	1,205
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT - <i>Guadua trinii</i> S/HT	*	4,084	1,205
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua angustifolia</i> S/HT	*	-4,757	2,272
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua trinii</i> C/HT	*	-2,696	1,332
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua trinii</i> S/HT	*	3,736	1,332
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua trinii</i> C/HT		2,062	2,087
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua trinii</i> S/HT	*	8,493	2,087
<i>Guadua trinii</i> C/HT - <i>Guadua trinii</i> S/HT	*	6,432	1,205

* indica una diferencia significativa.

Tabla 4.42: ANOVA para espesor de lumen de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	136,797	3	45,599	2,35	0,077
Intra grupos	1861,700	96	19,393		
Total (Corr.)	1998,490	99			

Según la Tabla 4.42, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de lumen de fibra entre un nivel de mesh y otro (valor-P mayor a 0.05)

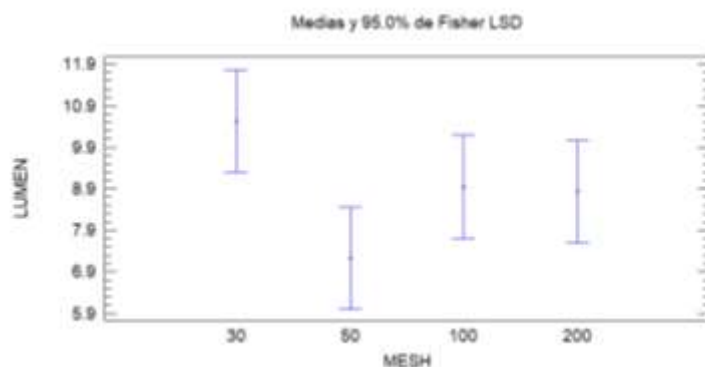


Figura 4.29: Gráfico de medias para el lumen de fibra de la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.

En la Figura 4.29 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que el lumen de fibra para las mallas de 30,100 y 200 se encuentran en un mismo grupo homogéneo, lo que sugiere que, entre estas tres retenciones, el lumen de fibra no presenta diferencia estadísticamente significativa; lo mismo para las mallas con 50, 100 y 200 mesh. Mientras que el lumen de fibra de las retenciones de malla con mesh 30 y 50 no presentan un grupo homogéneo, lo que indica que existe una diferencia significativa entre los lúmenes.

Tabla 4.43: ANOVA para espesor de lumen de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	598,199	3	199,40	16,32	0,000
Intra grupos	1172,910	96	12,22		
Total (Corr.)	1771,110	99			

Según la Tabla 4.43, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de LUMEN DE FIBRA entre un nivel de MESH y otro (valor-P menor a 0,05)

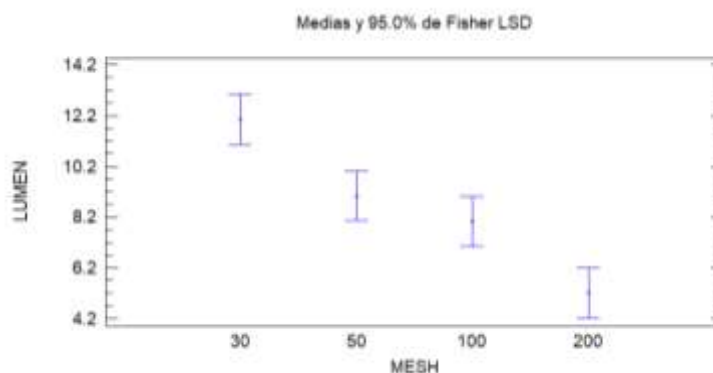


Figura 4.30: Gráfico de medias para el lumen de fibra de la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.

En la Figura 4.30 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que el lumen de la fracción retenida en las mallas de 50 y 100 se encuentran en un mismo grupo homogéneo, lo que sugiere que, entre estas dos retenciones, los valores de lumen de fibra no presenta diferencia estadísticamente significativa. Mientras que el lumen de las fibras retenidas en las mallas con mesh 30 y 200 no presentan un grupo homogéneo con ninguna de las otras, lo que indica que existe una diferencia significativa entre ellos.

Tabla 4.44: ANOVA para espesor de lumen de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua trini* pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	162,215	3	54,071	9,90	0,000
Intra grupos	524,404	96	5,463		
Total (Corr.)	686,619	99			

Según la Tabla 4.44, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de lumen de fibra entre un nivel de mesh y otro (valor-P menor a 0.05)

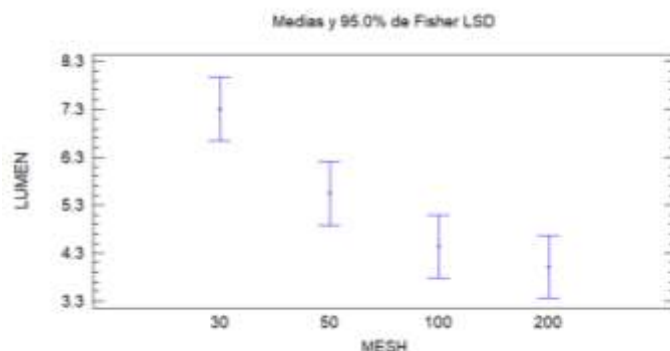


Figura 4.31: Gráfico de medias para el lumen de fibra de la especie *Guadua trinii* pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.

En la Figura 4.31 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que el lumen de las fibras retenidas en las mallas de 100 y 200 mesh se encuentran en un mismo grupo homogéneo, lo que sugiere que, entre estas dos retenciones, el lumen de fibra no presenta diferencia estadísticamente significativa; lo mismo para las mediciones de lumen de las retenciones de malla de 50 y 100 mesh. Mientras que el lumen de fibra de la retención de malla con mesh 30 no presenta un grupo homogéneo con ninguna de las otras, lo que indica que existe una diferencia significativa entre ellos.

Tabla 4.45: ANOVA para espesor de lumen de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua trini* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	350,24	3	116,746	10,17	0,000
Intra grupos	1101,59	96	11,475		
Total (Corr.)	1451,83	99			

Según la Tabla 4.45, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de lumen de fibra entre un nivel de mesh y otro (valor-P menor a 0.05)

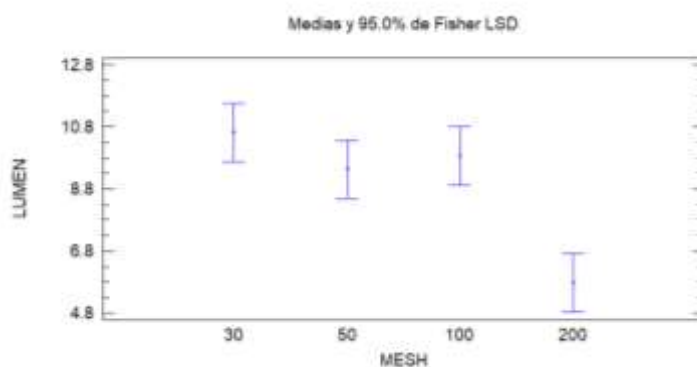


Figura 4.32: Gráfico de medias para el lumen de fibra de la especie *Guadua trinii* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.

En la Figura 4.32 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que el lumen de fibra para las mallas de 30, 50 y 100 mesh se encuentran en un mismo grupo homogéneo, lo que sugiere que, entre estas tres retenciones, el lumen de fibra no presenta diferencia estadísticamente significativa. Mientras que el lumen de fibra de la retención de malla con mesh 200 no presenta un grupo homogéneo con ninguna de las otras, lo que indica que existe una diferencia significativa entre ellos.

También se realizó un ANOVA multifactorial para comparar el espesor de lumen de fibra entre ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico; para corroborar si existe un efecto significativo de los factores mesh de malla (retenido) y especie, sobre el largo de fibra.

Tabla 4.46: ANOVA multifactorial de espesor de lumen de fibra para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Especie	3322,94	4	830,736	34,72	0,0000
B:Mesh	2817,25	4	939,085	39,25	0,0000
Residuos	18207,40	761	23,926		
Total (corregido)	23843,80	768			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

En la Tabla 4.46, puesto que 2 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el lumen de fibra. El análisis también demuestra que no existe interacciones entre los grupos de factores.

A su vez se realizó un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. Estos resultados se muestran en la Tabla 4.47.

Tabla 4.47: Prueba de múltiples rangos de espesor de lumen de fibra para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.

Método: 95.0 porcentaje LSD

ESPECIE	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
<i>Guadua trinii</i> S/HT	194	7,479	0,351	X
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT	150	10,599	0,419	X
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT	200	11,241	0,346	XX
<i>Guadua trinii</i> C/HT	175	12,105	0,374	X
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT	50	15,438	0,790	X

Contraste	Sig.	Diferencia +/-	Límites
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT - <i>Guadua angustifolia</i> S/HT		0,642	1,065
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT - <i>Guadua angustifolia</i> S/HT	*	-4,197	1,689
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT - <i>Guadua trinii</i> C/HT		-0,864	0,998
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT - <i>Guadua trinii</i> S/HT	*	3,762	0,966
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua angustifolia</i> S/HT	*	-4,840	1,855
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua trinii</i> C/HT	*	-1,506	1,076
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua trinii</i> S/HT	*	3,120	1,067
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua trinii</i> C/HT	*	3,334	1,758
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua trinii</i> S/HT	*	7,959	1,704
<i>Guadua trinii</i> C/HT - <i>Guadua trinii</i> S/HT	*	4,626	1,003

* indica una diferencia significativa.

Tabla 4.48: ANOVA para espesor de pared de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2,682	3	0,894	1,06	0,3696
Intra grupos	80,923	96	0,843		
Total (Corr.)	83,605	99			

Según la Tabla 4.48 la razón-F, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de espesor de pared de fibra entre un nivel de mesh y otro. (valor-P mayor a 0.05)

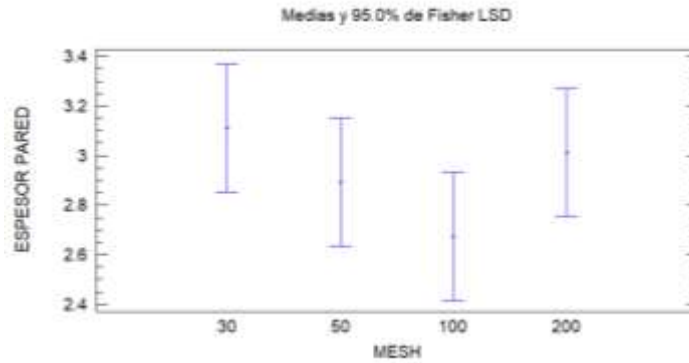


Figura 4.33: Gráfico de medias para el espesor de pared de fibra de la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidrotérmico.

En la Figura 4.33 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que el espesor de pared de fibra para las todas las mallas de (30, 50, 100 y 200 mesh) se encuentran en un mismo grupo homogéneo, lo que sugiere que, entre todas las retenciones, el espesor de pared de fibra no presenta diferencia estadísticamente significativa.

Tabla 4.49: ANOVA para espesor de pared de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidrotérmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	9,070	3	3,024	3,27	0,0246
Intra grupos	88,786	96	0,925		
Total (Corr.)	97,857	99			

Según la Tabla 4.49 la razón-F, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de espesor de pared de fibra entre un nivel de mesh

y otro (valor-P menor a 0.05)

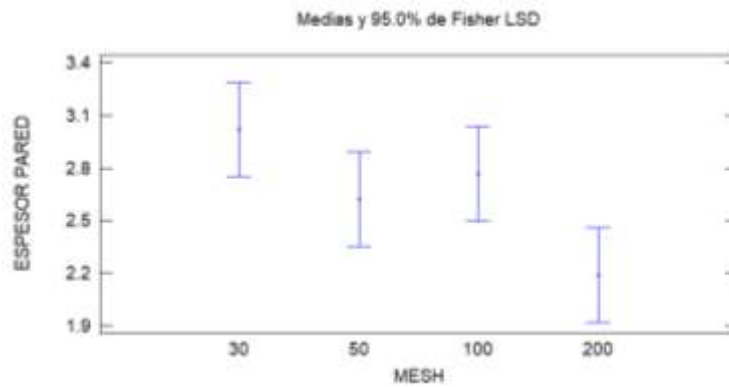


Figura 4.34: Gráfico de medias para el espesor de pared de fibra de la especie *Guadua angustifolia* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidrotérmico.

En la Figura 4.34 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que el espesor de pared de fibra para las mallas de 30, 50, 100 mesh se encuentran en un mismo grupo homogéneo, lo que sugiere que, entre estas tres retenciones, el espesor de pared de fibra no presenta diferencia estadísticamente significativa; lo mismo para las mallas con mesh 50 y 200. Mientras que la malla con 200 mesh, con las otras (30 y 100 mesh) no presenta grupo homogéneo, lo que indicaría presencia de diferencias estadísticamente significativas entre ellas.

Tabla 4.50: ANOVA para espesor de pared de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua trinii* pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidrotérmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	5,937	3	1,979	2,82	0,0428
Intra grupos	67,284	96	0,701		
Total (Corr.)	73,221	99			

Según la Tabla 4.50 la razón-F, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de espesor de pared de fibra entre un nivel de mesh y otro (valor-P menor a 0.05)

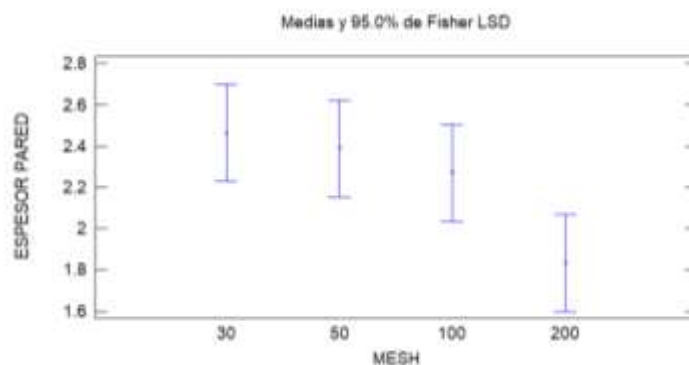


Figura 4.35: Gráfico de medias para el espesor de pared de fibra de la especie *Guadua trinitii* pulpada a la soda AQ sin tratamiento hidro-térmico.

En la Figura 4.35 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que el espesor de pared de fibra para las mallas de 30, 50, 100 mesh se encuentra en un mismo grupo homogéneo, lo que sugiere que, entre estas tres retenciones, el espesor de pared de fibra no presenta diferencia estadísticamente significativa. Mientras que la malla con 200 mesh, tiene una media por debajo de las otras, por lo que no presenta grupo homogéneo, indicando presencia de diferencias estadísticamente significativas con las anteriores.

Tabla 4.51: ANOVA para espesor de pared de cada fracción (Bauer McNett) entre e intra-grupo para la especie *Guadua trinitii* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	21,573	3	7,191	7,60	0,0001
Intra grupos	90,844	96	0,946		
Total (Corr.)	112,416	99			

Según la Tabla 4.51 la razón-F, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de espesor de pared de fibra entre un nivel de mesh y otro (valor-P menor a 0,05)

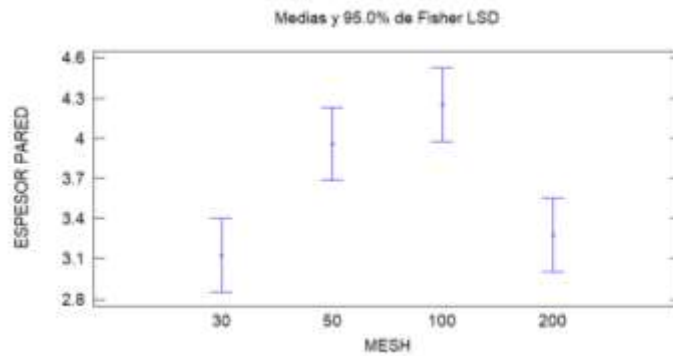


Figura 4.36: Gráfico de medias para el espesor de pared de fibra de la especie *Guadua trinitii* pulpada a la soda AQ con tratamiento hidro-térmico.

En la Figura 4.36 se presenta la gráfica de medias, donde se observa que el espesor de pared de fibra para las mallas de 30, y 200 mesh se encuentran en un mismo grupo homogéneo, lo que sugiere que, entre estas tres retenciones, el espesor de pared de fibra no presenta diferencia estadísticamente significativa, lo mismo para el espesor de pared de fibras retenidas en las mallas con 50 y 100 de mesh. Estas últimas presentan una media por encima de las otras, lo que indicaría presencia de diferencias estadísticamente significativas con las anteriores.

También se realizó un ANOVA multifactorial para comparar el espesor de pared de fibra entre ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico; para corroborar si existe un efecto significativo de los factores mesh de malla (retenido) y especie, sobre el largo de fibra.

Tabla 4.52: ANOVA multifactorial del espesor de pared de fibra para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Especie	882,38	4	220,534	17,69	0,0000
B:Mesh	447,03	3	149,008	11,95	0,0000
Residuos	9487,42	761	12,467		
Total (corregido)	10622,10	768			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Según la Tabla 4.52, los factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el espesor de pared (2 valores-P son menores que 0,05). El análisis también demuestra que no existe interacciones entre los grupos de factores.

A su vez se realizó un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. Estos resultados se muestran en la Tabla 4.53.

Tabla 4.53: Prueba de múltiples rangos de espesor de pared de fibra para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.

Método: 95.0 porcentaje LSD

ESPECIE	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
<i>Guadua trinii</i> S/HT	200	3,783	0,250	X
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT	125	4,527	0,329	X
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT	200	5,505	0,254	X
<i>Guadua trinii</i> C/HT	194	6,291	0,250	X
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT	50	7,398	0,559	X

Contraste	Sig.	Diferencia +/-	Límites
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT - <i>Guadua angustifolia</i> S/HT	*	0,977	0,815
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT - <i>Guadua angustifolia</i> S/HT	*	-1,894	1,200
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT - <i>Guadua trinii</i> C/HT	*	-0,787	0,698
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT - <i>Guadua trinii</i> S/HT	*	1,721	0,698
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua angustifolia</i> S/HT	*	-2,871	1,332
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua trinii</i> C/HT	*	-1,764	0,810
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua trinii</i> S/HT		0,744	0,810
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua trinii</i> C/HT		1,107	1,199
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT - <i>Guadua trinii</i> S/HT	*	3,615	1,199
<i>Guadua trinii</i> C/HT - <i>Guadua trinii</i> S/HT	*	2,508	0,692

* indica una diferencia significativa.

3. Fraccionamiento de ambas especies

En la Tabla 4.52 observamos que el rendimiento del tratamiento hidrotérmico de *Guadua angustifolia* fue 78,22% y para *Guadua trinii* fue 79,25%.

Tabla 4.54: Rendimiento después de tratamiento hidro--térmico para las especies *Guadua trinii* y *Guadua angustifolia*

Condiciones	<i>Guadua angustifolia</i>	<i>Guadua trinii</i>
Peso húmedo (g)	251,00	280,00
Peso seco (g)	223,01	251,88
Agua impregnada (g)	140,00	126,57
Total agua (g) (1:2,42)	539,69	609,56
Peso húmedo después de tratamiento (g)	449,00	482,00
Peso seco después de tratamiento (g)	174.44	198.92
Contenido de sólidos en licor	5,12	5,07
Rendimiento (%)	78.22	79,25

Condiciones: T°: 180°C durante 30 minutos, Relación de material sólido:líquido de 1:2,42.

En la Tabla 4.53 podemos observar que el rendimiento total luego de la cocción soda-AQ del material pretratado fue 37,28% para *Guadua angustifolia* y 36,56% para *Guadua trinii*.

Tabla 4.55: Rendimiento después de la cocción soda-AQ del material pretratado.

Condiciones	<i>Guadua angustifolia</i>	<i>Guadua trinii</i>
Peso húmedo	449,00	467,30
Peso seco	174,44	192,85
Agua impregnada	162,18	245,42
Total agua (1:4)	697,75	771,42
Peso húmedo después de la cocción	233,00	257,00
Peso seco después de la cocción	80,851	88,54
Rendimiento por cocción (%)	46,35	45,91
Incocidos (%)	1,32	0.18
Rendimiento del tratamiento hidrotérmico (%)	78,22	79,25
Rendimiento total (%)	37,28	36,53

Condiciones: NaOH: 18%, antraquinona (AQ): 0.1%, T°: 170°C durante 60 minutos, Relación sólido: líquido 1:4.

Tabla 4.56: Rendimiento después de la cocción soda-AQ (sin pretratamiento).

Condiciones	<i>Guadua angustifolia</i>	<i>Guadua trinii</i>
Peso húmedo	245,43	250,20
Peso seco	218,06	224,73
Agua impregnada	134,98	181,79
Total agua (1:3)	654,19	674,19
Peso húmedo después de la cocción	293,00	306,00
Peso seco después de la cocción	94,49	105,57
Rendimiento por cocción (%)	43,33	46,98
Incocidos (%)	1,49	0,30
Rendimiento total (%)	44,82	47,28

Condiciones: NaOH: 18%, antraquinona (AQ): 0.1%, T°: 170°C durante 60 minutos, Relación sólido: líquido 1:3.

En la Tabla 4.56 observamos que el rendimiento total luego de la cocción soda-AQ del material no pre-tratado fue 44,82% para *Guadua angustifolia* y 47,28% para *Guadua trinii*.

Tabla 4.57: Número de Kappa para las pulpas con y sin tratamiento hidrotérmico.

Especie	Número de Kappa	
	Con tratamiento HT	Sin tratamiento HT
<i>Guadua angustifolia</i>	37,2	29,3
<i>Guadua trinii</i>	19,8	21,8

En la Tabla 4.57 podemos observar el N° kappa obtenido para las pulpas soda-AQ. Este valor fue superior en la pulpa de *Guadua angustifolia* respecto de *Guadua trinii*. La diferencia fue mayor en las pulpas con pretratamiento (17,4 puntos). Bajo las mismas condiciones de pulpado, *Guadua trinii* alcanzó un mayor grado de deslignificación. Estas diferencias podrían atribuirse a su contenido de lignina levemente inferior, aunque también se debería considerar otros factores como la diferencia entre especies y de edades, factores de crecimiento, entre otros.

Clark y White (37) obtuvieron un rendimiento en pulpa de 44%, trabajando con *Guadua angustifolia*, con una concentración de 18 %de NaOH y un tiempo de cocción promedio de 1 hora; mientras que Rubio (36) informa un rendimiento para *Guadua angustifolia* de 47,85%. Estos son datos cercanos a los obtenidos para *Guadua angustifolia* sin pre tratamiento hidrotérmico, pero no para *Guadua angustifolia* pre-tratado, presentando una diferencia de aproximadamente 10% menor en rendimiento.

Teniendo en cuenta otras especies de bambú, en Perú, el Departamento de Investigaciones y Desarrollo S.P.L (125) realizó un estudio de factibilidad de la especie *Bambusa vulgaris* para la producción de pulpa, obteniendo un rendimiento de 60,4 % en pulpa semiquímica y 53% en pulpa química con soda cáustica al 18,2% de NaOH. Por su parte, Da Silva et al. (126) trabajaron con culmos de 1 año de edad de *Bambusa vulgaris* proveniente de Pirassununga, (Sao Paulo, Brasil) bajo un proceso de soda consiguiendo un rendimiento de 50,3%.

Los rendimientos obtenidos para ambas especies sin pre tratamiento, oscilan entre 40 y 50%, lo que coincide con León y Fuentes (127) quienes señalan que los rendimientos de una pasta química están en un rango de 40 a 55%.

4. Caracterización de la fracción sólida

- Clasificación de las fibras (Bauer McNett):

En la Tabla 4.58 observamos la distribución de fibras (% en peso) de todas pulpas analizadas. En todos los casos, el mayor porcentaje de retención de fibras se produjo en la malla de 30 mesh, mientras que en la malla de 200 mesh, los porcentajes de retención fueron los más bajos. Como podemos observar también, la especie *Guadua trinii* sin pretratamiento hidrotérmico es la que presenta mayor porcentaje de finos, ya que tiene mayor porcentaje en peso que atravesó la malla de 200 mesh, mientras que la especie *Guadua angustifolia* con pretratamiento hidrotérmico es la que presenta menor porcentaje de finos. El incremento de la fracción retenida en la malla de 30 mesh de las pulpas con tratamiento hidrotérmico se puede atribuir la pérdida de las fracciones con menor longitud de fibra durante las etapas de lavado y filtrado del material fibroso.

La medición de largo, ancho, diámetro de lumen y espesor de pared de las fibras mediante un microscopio Leika 360, para cada una de las fracciones obtenidas para cada especie con y sin pretratamiento se encuentran en las Tablas 4.26, 4.27, 4.28 y 4.29.

Tabla 4.58: Clasificación de fibras por Bauer Macnett de *Guadua trinii* y *Guadua angustifolia* con y sin tratamiento hidro-térmico

Especie	R30 (%)	R50(%)	R100(%)	R200(%)	P200 (% finos)
<i>Guadua angustifolia</i> s/HT	36,53	30,50	8,75	2,76	21,45
<i>Guadua angustifolia</i> c/HT	50,65	19,80	8,24	3,22	18,09
<i>Guadua trinii</i> s/HT	48,59	19,05	5,19	2,26	24,91
<i>Guadua trinii</i> c/HT	51,49	16,29	5,05	2,41	24,76

Dónde: R30: % en peso de lo retenido en malla de 30 mesh, R50: % en peso de lo retenido en malla de 50 mesh, R100% en peso de lo retenido en malla de 100 mesh, R200: % en peso de lo retenido en malla de 200 mesh y P200: % en peso de lo pasado en malla de 200 mesh.

- α , β y γ celulosa en la pulpa:

El contenido de α -celulosa de las pulpas está asociado con la fracción de mayor peso molecular, es la fracción no degradada. Las pulpas soda-AQ sin tratamiento hidrotérmico de ambas especies presentaron contenidos similares de α -celulosa. Los contenidos de α -celulosa fueron mayores en las pulpas con tratamiento hidrotérmico, también similares en ambas especies.

Los contenidos de β -celulosa, la fracción degradada de la celulosa, fue relativamente alta respecto a las pulpas sin tratamiento hidrotérmico, mientras que las pulpas con tratamiento hidrotérmico presentaron contenidos significativamente inferiores. El contenido de β -celulosa fueron similares en las pulpas sin tratamiento hidrotérmico de ambas especies, y también en las pulpas con tratamiento hidrotérmico.

El contenido de γ -celulosa, fracción compuesta principalmente de hemicelulosas, fue bajo y similar para todas las pulpas variando entre 1,12% y 1,66%.

Tabla 4.59: α , β y γ celulosa en las pulpas con y sin tratamiento hidro-térmico

Especie	α -celulosa (%)	β -celulosa (%)	γ -celulosa (%)
<i>G. angustifolia</i> S/HT	91,61	6,72	1,66
<i>G. angustifolia</i> C/HT	96,75	1,64	1,61
<i>G. trinii</i> S/HT	91,87	6,68	1,44
<i>G. trinii</i> C/HT	97,72	1,16	1,12
Eucalyptus Kraft ECF comercial	91,71	6,89	1,40

Los contenidos de alfa, beta y gama celulosa de las pulpas soda-AQ sin pretratamiento de ambas especies fue similar a las pulpas comercial kraft ECF de *Eucalyptus* (Tabla 4.59), Las pulpas soda-AQ con pretratamiento presentaron mayores proporciones de alfa y beta celulosa que estaría entre los requerimientos para las pulpas para disolver (128), sin embargo los contenidos de lignina son elevados por lo cual se necesitaría un tratamiento de purificación de estas pulpas para remover la lignina residual a fin de alcanzar las especificaciones de calidad para estas pulpas.

- Grado de polimerización:

El grado de polimerización se determinó a través de las viscosidades intrínsecas de las pulpas. (129)

Tabla 4.60: Grado de polimerización de *Guadua trinii* y *Guadua angustifolia* con y sin tratamiento hidro-térmico

Especie	Viscosidad dinámica (cp)	Viscosidad intrínseca (mL/g)	DP	Glucanos	Glucanos Calculados
<i>G. trinii</i> S/HT	39,8	1085	3334	66,54	76,02
<i>G. trinii</i> C/HT	61,1	1260	4059	84,56	92,95
<i>G. angustifolia</i> S/HT	31,1	1006	3019	73,16	76,56
<i>G. angustifolia</i> C/HT	41,6	1116	3460	83,18	89,34

El grado de polimerización (DP) de *Guadua trinii* sin y con tratamiento hidrotérmico fueron 3334 y 4059, respectivamente (Tabla 4.60). Los valores de DP para *Guadua angustifolia* sin y con tratamiento hidrotérmico fueron 3019 y 3460. Los mayores valores de DP para las pulpas con tratamiento hidrotérmico se pueden atribuir al bajo contenido de hemicelulosas (cadenas poliméricas

relativamente cortas). Estos resultados indican que las pulpas de *Guadua trinii* sin y con tratamiento contienen cadenas celulósicas con mayor número de monómeros en comparación con *Guadua angustifolia*, es decir, que se podrían obtener pulpas de mayor calidad a partir de *Guadua trinii*.

- Valor de retención de agua (WRV):

Los valores de retención de agua (WRV) para *Guadua trinii* sin tratamiento hidrotérmico fue de 1,863 y con tratamiento hidrotérmico fue de 1,852, mientras que *Guadua angustifolia* sin y con tratamiento hidrotérmico estos valores fueron de 1,895 y 1,855, respectivamente. Las diferencias en los valores de WRV de las pulpas de ambas especies con y sin tratamiento no fueron significativas, aunque los valores de WRV promedio muestran que las pulpas con tratamiento hidrotérmico tienden a retener menos agua como consecuencia de la remoción de las hemicelulosas (hidrofílicas), (Tabla 4.61).

Tabla 4.61: Valor de retención de agua de las pulpas con y sin tratamiento hidrotérmico.

Especie	Peso muestra centrifugada	Peso muestra seca	WRV (g/g)	WRV Promedio	DE	%CV
<i>G. angustifolia</i> S/HT	0,776	0,266	1,918	1,895	0,031	1,657
	0,750	0,261	1,873			
<i>G. angustifolia</i> C/HT	0,588	0,211	1,790	1,855	0,093	4,999
	0,557	0,191	1,921			
<i>G. trinii</i> S/HT	0,667	0,227	1,939	1,863	0,108	5,813
	0,626	0,225	1,786			
<i>G. trinii</i> C/HT	0,546	0,193	1,834	1,852	0,025	1,365
	0,581	0,203	1,870			

Dónde: WRV: valor de retención de agua, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación.

- Cristalinidad de la pulpa:

Los valores de índice de cristalinidad de las pulpas de ambas especies con y sin tratamiento hidrotérmico fueron elevados (> 80%, Tabla 4.62). La cristalinidad de la pulpa de *Guadua trinii* sin tratamiento hidrotérmico fue 81,41% y con tratamiento hidrotérmico fue 84,07%; mientras que para la pulpa

de *Guadua angustifolia* sin tratamiento hidrotérmico fue de 80,82% y con tratamiento hidrotérmico fue 85,71%. El mayor Índice de cristalinidad de las pulpas con tratamiento hidrotérmico se atribuye a que estas pulpas tienen un bajo contenido de hemicelulosas (estructura amorfa) por lo tanto la contribución de la celulosa en el índice de cristalinidad es mayor. en comparación con el de *Guadua angustifolia*.

Tabla 4.62: Cristalinidad para las pulpas con y sin tratamiento hidro-térmico.

Especie	Cristalinidad (%)	
	Sin tratamiento HT	Con tratamiento HT
<i>G. angustifolia</i>	80,82	85,71
<i>G. trinii</i>	81,41	84,07

En las Figuras 4.37 a 4.40 observamos los difractogramas característicos para las pulpas de ambas especies con y sin tratamiento hidrotérmico, respectivamente. Estos representan típicamente a los difractogramas de materiales semicristalinos. Los picos se ubicaron en casi la misma posición en todas las muestras analizadas (22,65° - 23,15°).

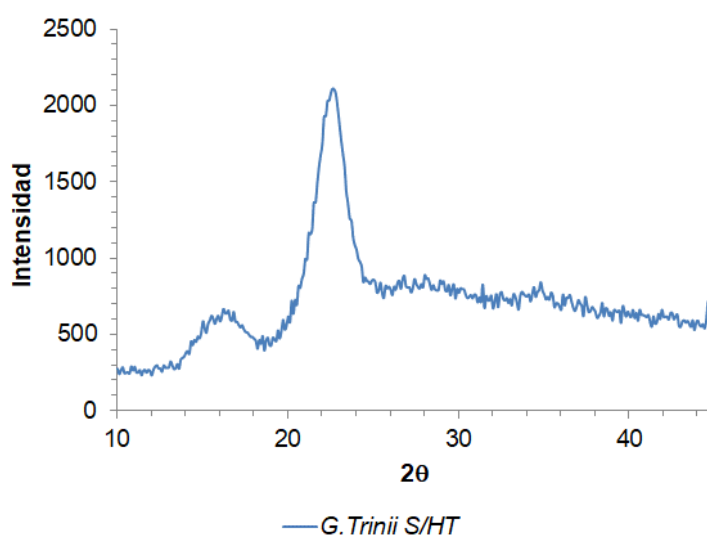


Figura 4.37: Difracción de rayos X para la pulpa de *Guadua trinii* sin tratamiento hidro-térmico

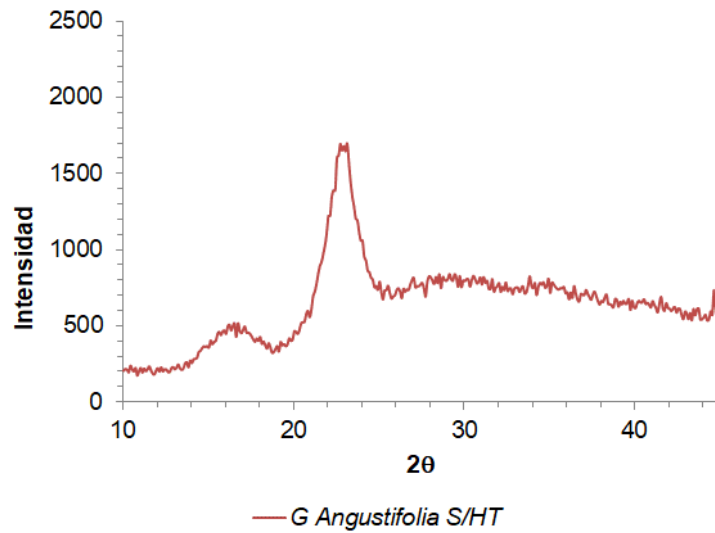


Figura 4.38: Difracción de rayos X para la pulpa de *Guadua angustifolia* sin tratamiento hidro-térmico

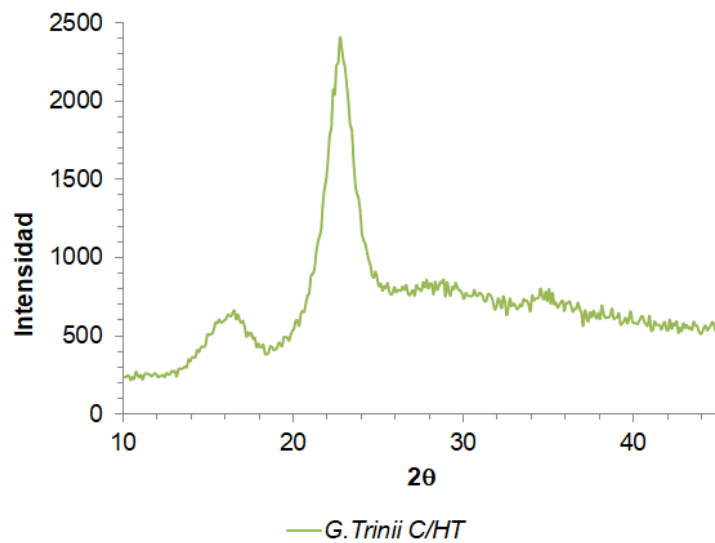


Figura 4.39: Difracción de rayos X para la pulpa de *Guadua trinii* con tratamiento hidro-térmico

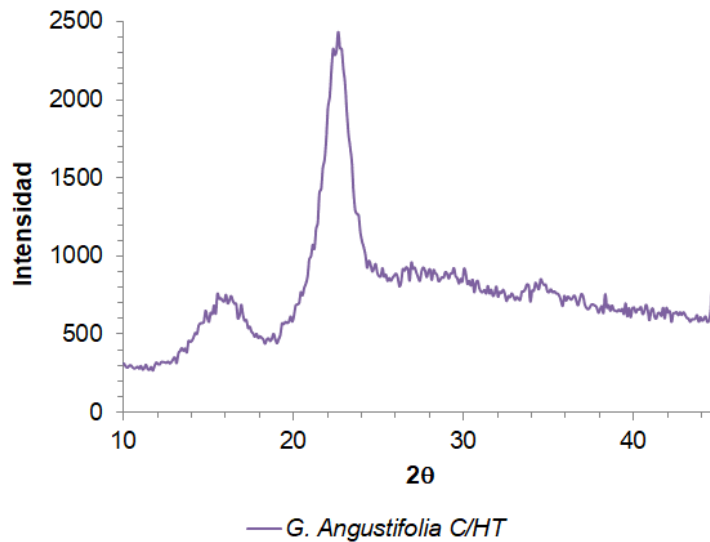


Figura 4.40: Difracción de rayos X para la pulpa de *Guadua angustifolia* con tratamiento hidrotérmico

La pulpa celulósica de bambú producida por el proceso con agua/etanol tiene un índice de cristalinidad, según el tiempo de cocción, de 52,7% para una hora, 79,4% para dos horas y 80,5% para 3 horas. (130). Existe una relación indirectamente proporcional entre el rendimiento y la cristalinidad de la celulosa en la pulpa (131,132), lo cual, con lo observado en los resultados anteriores de rendimiento y porcentaje de cristalinidad, solo se cumple con *Guadua angustifolia*, mas no con *Guadua trinii*.

Las características de elevada cristalinidad y contenido de α -celulosa de estas pulpas (con y sin tratamiento hidrotérmico) demuestran su potencial como materia prima para la producción de nanocelulosa.

5. Producción y caracterización de CNF

Las condiciones usadas para la producción de nanocelulosa a partir de las pulpas de ambas especies fueron las mismas que se han empleado en el PROCYP para obtener nanofibras a partir de otras materias primas (bagazo, eucaliptus, moringa, pino). Las pulpas soda-AQ de ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico fueron pretratadas mediante una oxidación mediada con TEMPO y posteriormente fueron nanofibriladas mediante tratamiento

mecánico en un molino coloidal. La secuencia de las etapas para la obtención de nanocelulosa se muestra en la Figura 4.41.

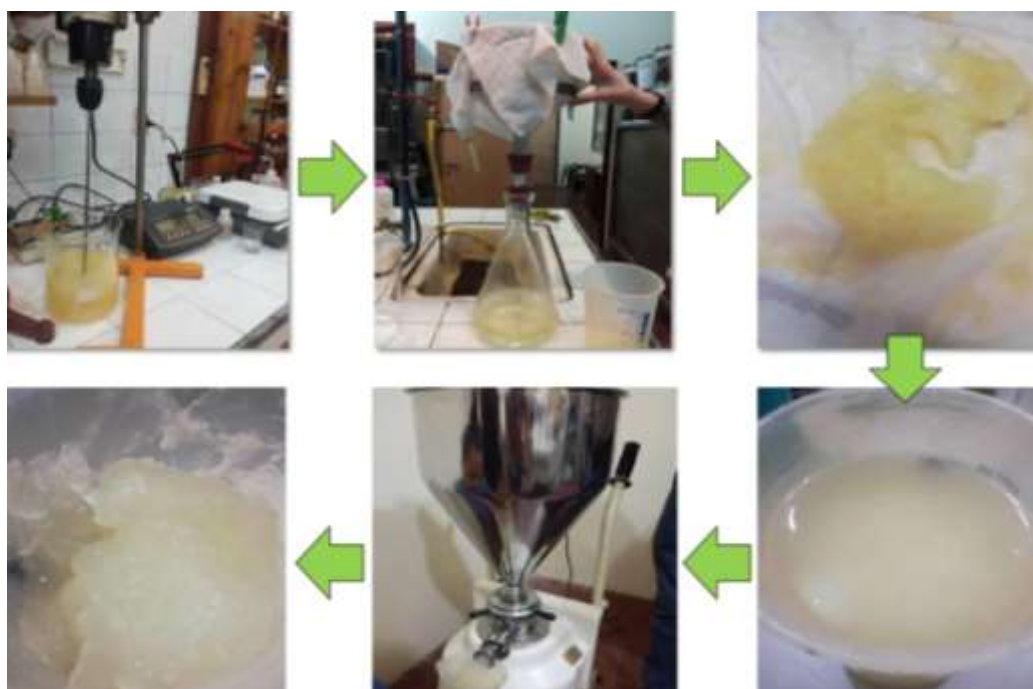


Figura 4.41: Secuencia de las etapas para la producción de nanocelulosa

Las nanocelulosas obtenidas fueron caracterizadas por el contenido de grupos carboxílicos y la reología de las suspensiones acuosas de las nanocelulosas.

Las observaciones usando microscopía electrónica de barrido (SEM) no permitieron observar las dimensiones de este tipo de nanofibras. Por esta razón, se trató de obtener microfotografías de microscopía de transmisión electrónica (TEM). Se consultaron a varios laboratorios de microscopía del Sistema Nacional (SECEGRIN, UNL, UNER). Sin embargo, hasta la fecha no fue posible contar con estas microfotografías por diferentes motivos: (i) laboratorio no contaban con insumos, (ii) falta de disponibilidad de turnos y (iii) elevado costo del servicio, traslado y estadía que exceden el presupuesto disponible. Sin embargo, se prevé realizar estos análisis más adelante, junto con la publicación de dos artículos.

- Tasa de grupos carboxílicos

En la Tabla 4.63 podemos observar que *Guadua angustifolia* sin tratamiento hidro-térmico tiene una tasa de grupos carboxílicos promedio de 1162,7 $\mu\text{Eq/g}$,

mientras que la misma especie sin tratamiento tiene 895,7 $\mu\text{Eq/g}$. En el caso de la especie *Guadua trinii*, los valores de las tasas de grupos carboxílicos promedio con y sin tratamiento hidrotérmico son 978,7 $\mu\text{Eq/g}$ y 1293,6 $\mu\text{Eq/g}$, respectivamente, lo que muestra que la especie *Guadua trinii* tiene una tasa de grupos carboxílicos mayor que *Guadua angustifolia*, en ambos casos. De igual forma, en ambas especies se obtiene una tasa de grupos carboxílicos mayor en las muestras que no tuvieron un pre tratamiento hidrotérmico durante el pulpado, lo que demuestra que este pretratamiento influye negativamente en la tasa de grupos carboxílicos.

Tabla 4.63: Contenido de grupos carboxílicos de la nanocelulosa de ambas especies con y sin tratamiento hidrotérmico

Especie	Ac. Carboxílico Muestra 1	Ac. Carboxílico Muestra 2	Promedio	DS	CV%
<i>Guadua angustifolia</i> S/HT	1183,8	1141,6	1162,7	29,8	2,6
<i>Guadua angustifolia</i> C/HT	922,9	868,5	895,7	38,5	4,3
<i>Guadua trinii</i> S/HT	1229,7	1357,4	1293,6	90,3	7,0
<i>Guadua trinii</i> C/HT	942,4	1014,9	978,7	51,3	5,2

Dónde: Grupos ácidos carboxílicos ($\mu\text{Eq/g}$)

- Viscosidad de la nanocelulosa:

Las suspensiones acuosas de nanocelulosa obtenidas mediante pretratamiento TEMPO se caracterizan por su aspecto de gel transparente. Cuando estas soluciones se agitan, el tamaño promedio de los flóculos de nanofibras disminuye con el incremento de la velocidad de corte. Los cambios en el tamaño de los flóculos afectan la velocidad de corte que son a menudo reversibles, pero no de manera inmediata. Este comportamiento del tamaño de los flóculos de nanocelulosa se corresponde con el comportamiento de las suspensiones de materiales tixotrópicos.

Las propiedades reológicas de estas suspensiones suelen depender de las interacciones y el grado de entrelazamiento de las nanofibras, que a su vez dependen de las propiedades estructurales como el diámetro, la longitud y la relación de aspecto (longitud/ancho). Las mediciones de la velocidad de corte de las suspensiones diluidas de nanocelulosa es un método que permite

evaluar la relación de aspecto. Los cambios en la viscosidad específica en función de su concentración muestran dos regiones: una lineal en régimen diluido y otra descrita por la ley de potencia utilizada explicar el comportamiento no newtoniano de algunos fluidos (viscosidad \sim concentraciónⁿ) por encima de la concentración crítica. (133)

La viscosidad intrínseca de las suspensiones diluidas de nanocelulosa puede expresarse solo en función de la relación de aspecto de las nanofibrilas. A medida que aumenta la relación de aspecto de una nanocelulosa, se vuelve más flexible y la dispersión tiene una viscosidad más alta.

En el presente trabajo, se analizó el efecto del tipo de especie y el proceso para la obtención de la pulpa sobre la “relación de aspecto” de la nanofibras de celulosa mediante la determinación de la viscosidad de diferentes soluciones acuosas diluidas al 0,3% de consistencia de nanocelulosa TEMPO de pulpa soda-AQ con y sin tratamiento hidro-térmico de ambas especies de *Guadua* (obtenidas bajo las mismas condiciones). La viscosidad de las suspensiones estudiadas se presenta en la Tabla 4.64, en función de la velocidad de rotación (rpm).

Tabla 4.64: Viscosidad de nanocelulosa para ambas especies con y sin tratamiento hidro-térmico.

Velocidad de rotación (rpm)	Velocidad d rotacion (1/s)	Nanoc. <i>Guadua angustifolia</i> 0,3% Consistencia		Nanoc. <i>Guadua trinii</i> 0,3% Consistencia	
		C/HT (Pa.s)	S/HT (Pa.s)	C/HT (Pa.s)	S/HT (Pa.s)
0,3	0,005	58,58	118,6	75,33	160,2
0,6	0,010	20,79	56,51	29,98	73,21
1,5	0,025	7,959	24,95	12,89	30,99
3	0,050	4,309	13,71	7,398	15,99
6	0,100	2,560	7,491	4,235	7,999
12	0,200	1,567	3,976	2,478	4,000
30	0,500	0,816	1,597	1,174	1,597
60	1	0,457	0,799	0,647	0,799

Nanoc.: nanocelulosa, C/HT: con tratamiento hidrotérmico, S/HT: sin tratamiento hidrotérmico

Para ambas especies, las viscosidades fueron superiores para las soluciones de nanocelulosas TEMPO obtenidas a partir de las pulpas soda-AQ sin tratamiento hidrotérmico (Figuras 4.42 y 4.43). Esto indicaría que la relación de aspecto de las nanofibrilas obtenidas de pulpas con tratamiento hidrotérmico, es decir, aquellas pulpas con bajo contenido de hemicelulosas fueron más

bajas. Similares resultados fueron observados por Chaker et al (134), quienes señalaron que las pulpas con mayor contenido de hemicelulosas mostraron mayores rendimientos de nanofibrilación y mejor aptitud para la individualización de las microfibrillas.

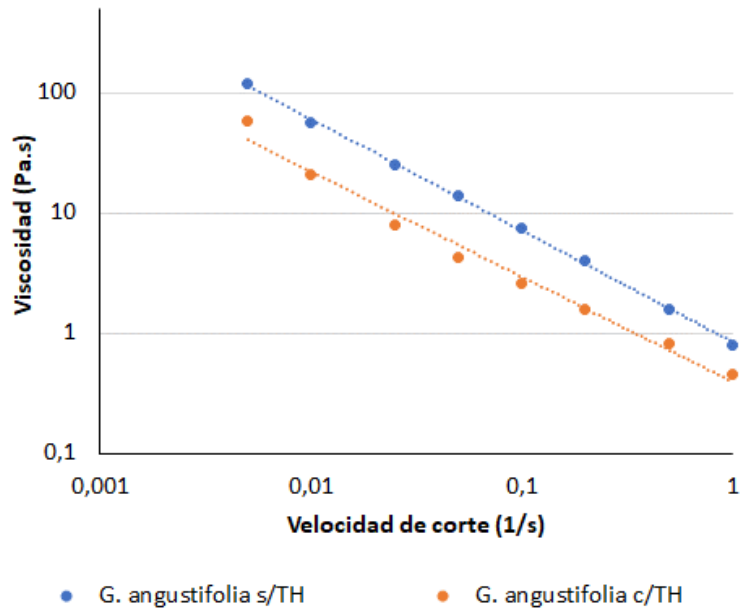


Figura 4.42: Viscosidad de nanocelulosa en función de la velocidad de corte de *Guadua angustifolia* con y sin tratamiento hidro-térmico.

Si bien las fibras de *G. angustifolia* poseen espesores de pared más delgados que *G. trinitii*, lo cual favorecería la nanofibrilación (134), los valores de viscosidad fueron inferiores. Se necesitan más estudios para determinar si esto podría atribuirse al mayor contenido de lignina residual en las pulpas.

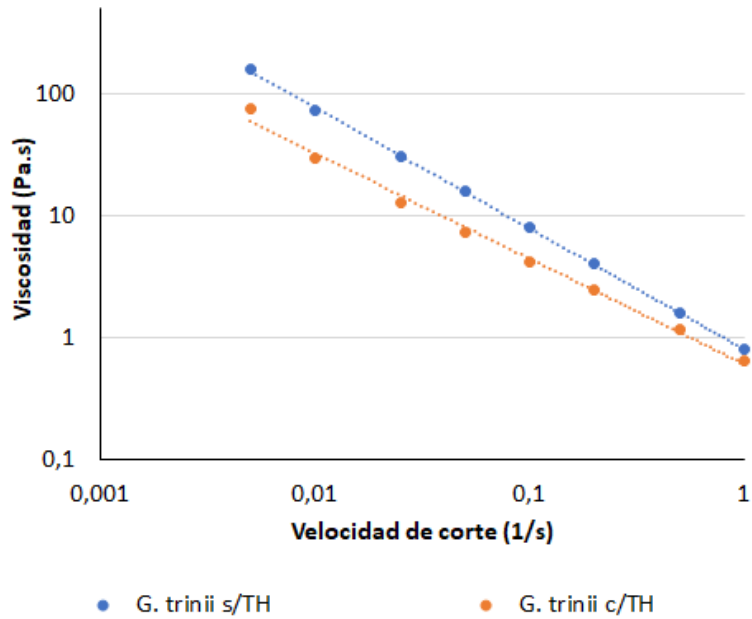


Figura 4.43: Viscosidad de nanocelulosa en función de la velocidad de corte de *Guadua trinii* con y sin tratamiento hidro-térmico.

Un estudio reciente sobre el efecto de la lignina sobre la oxidación de TEMPO y la producción de nanofibras de celulosa a partir de pulpas de bambú kraft sin blanquear (kappa 25,5 y kappa 11,7) y homogeneización posterior, indicó que el contenido de grupos carboxilo de la pulpa kappa 11,7 oxidada fue mucho mayor que aquella que tenía kappa 25,5 (135).

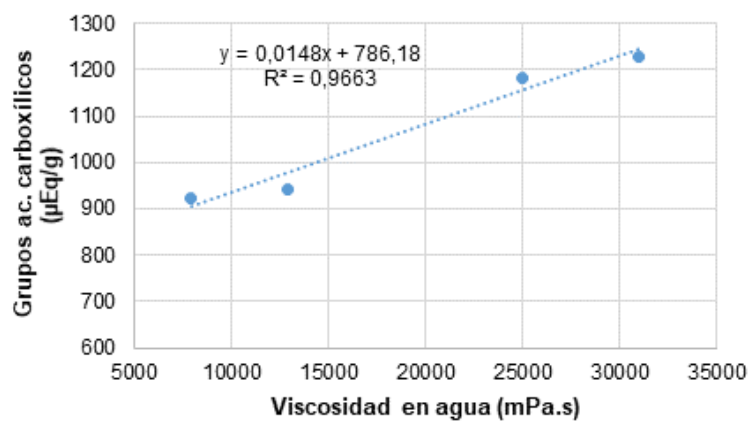


Figura 4.44: Línea de tendencia de la correlación entre Grupos carboxílicos (µEq/g) vs. Viscosidad en agua (mPa.s)

En la Figura 4.44 se muestra la línea de tendencia de la correlación entre el contenido de grupos carboxílicos generados en la oxidación TEMPO y la viscosidad de la suspensión de nanocelulosa, la cual es significativa y positiva ($R^2= 96,63\%$). Esto indicaría que ambas muestras sin tratamiento hidrotérmico tienen un mejor comportamiento a la nanofibrilación.

V. CONCLUSIONES

- *Guadua angustifolia* mostró una mayor diferencia de densidades en las distintas partes muestreadas, dentro del mismo individuo. Ambas especies tienen densidades que se encuentran dentro del rango adecuado para la industria del pulpado.
- La longitud promedio de las fibras de *G. angustifolia* fueron mayores, pero levemente más delgadas y con un espesor de pared significativamente menor. Ambas especies presentaron longitudes promedio > 1 mm similares a maderas de latifoliadas como *Eucalyptus*.
- Ambas especies presentan contenidos similares de carbohidratos, levemente superior en *G. Trinii*. El contenido de hemicelulosas también fue similar en ambas especies. Las hemicelulosas se componen mayoritariamente de xilanos. El contenido de lignina y extractivos de *G. trinii* fueron levemente inferior. El contenido de cenizas ambas especies fue similar y relativamente elevado respecto a otras materias primas papeleras convencionales.
- El tratamiento hidrotérmico extrajo 20,8% de hemicelulosas en el *G. trinii* y 21,8% en el *G. angustifolia*.
- Los rendimientos del pulpado a la soda-AQ de las muestras pretratadas de *G. angustifolia* fueron en un 3% superiores comparadas con las muestras no pretratadas. Mientras que para el *G. trinii* las muestras con tratamiento hidrotérmico tuvieron un rendimiento inferior en 1,1% respecto a las no tratadas. Los rendimientos totales de ambas especies de material con tratamiento hidrotérmico fueron menores respecto del rendimiento total de material no tratado.
- Los valores de kappa fueron de 37,2% y 29,3% para *G. angustifolia* con tratamiento hidrotérmico y sin tratamiento, respectivamente; mientras que para *G. trinii* los valores de kappa fueron 19,8% y 21,8% con y sin tratamiento hidrotérmico, respectivamente. Se concluye que *Guadua trinii* mostró mejor comportamiento a la deslignificación y no fue tan afectada por el tratamiento hidrotérmico en el pulpado a la soda-AQ
- Las pulpas soda-AQ sin tratamiento hidrotérmico de ambas especies presentaron contenidos similares de α -celulosa. El contenido de α -

celulosa fue mayor en las pulpas con tratamiento hidrotérmico, y también resultó ser similar en ambas especies.

- Los valores de índice de cristalinidad de las pulpas de ambas especies con y sin tratamiento hidrotérmico fueron elevados (> 80%). La cristalinidad de la pulpa de *G. trinii* sin tratamiento hidrotérmico fue 81,41% y con tratamiento hidrotérmico fue 84,07%; mientras que para la pulpa de *G. angustifolia* sin tratamiento hidrotérmico fue de 80,82% y con tratamiento hidrotérmico de 85,71%. La mayor cristalinidad de las pulpas con tratamiento hidrotérmico se atribuye a que estas pulpas tienen un bajo contenido de hemicelulosas.
- Se pudo obtener nanocelulosa (TEMPO) con todos los tipos de pulpa, el efecto del tipo de especie y del pretratamiento en la obtención de pulpa sobre la distribución de espesores de las nanofibras serán analizadas posteriormente. Están previstos análisis de microscopía electrónica de transmisión (TEM), usando equipos de la UNER y/o la UNL.
- La tasa de grupos carboxílicos de la nanocelulosa de *Guadua angustifolia* con y sin tratamiento hidrotérmico es de 895,7 $\mu\text{Eq/g}$ y 1162,7 $\mu\text{Eq/g}$; mientras que de *Guadua trinii* es de 978,7 $\mu\text{Eq/g}$ y 1293,6 $\mu\text{Eq/g}$, respectivamente. Por lo que concluimos que la especie *Guadua trinii* sin pre tratamiento hidrotérmico tiene mayor cantidad de grupos ácidos por cada gramo de muestra seca.
- Las viscosidades de las suspensiones acuosas de nanocelulosa fueron superiores para las soluciones de nanocelulosas TEMPO obtenidas a partir de las pulpas soda-AQ sin tratamiento hidrotérmico. Esto indicaría que la relación de aspecto de las nanofibrilas obtenidas de pulpas con tratamiento hidrotérmico, es decir, aquellas pulpas con bajo contenido de hemicelulosas fueron más bajas.

VI. REFERENCIAS

1. Alén R. Pulp Mills and Wood-Based Biorefineries. In Elsevier; 2015. p. 1–7.
2. De Jong E, Jungmeier G. Biorefinery concepts in comparison to Petrochemical Refineries. In: Industrial Biorrefineries and white Biotechnology. Elsevier B.V.; 2015. p. 5–10.
3. Vallejos ME, Area MC. Biorrefinería a partir de recursos lignocelulósicos. 2012;1–15.
4. Kamm B, Grubber PR, Kamm M. Biorefineries – industrial Processes and Products. In Germany; 2006.
5. FAO. Análisis del Balance de Energía derivada de Biomasa en Argentina - WISDOM Argentina. Informe final. 2009.
6. Trigo EJ, Mentaberry A, Cap EJ, Zelada A, Villarreal F. El potencial de la bioeconomía y las biorrefinerías en la argentina. 2011.
7. UNALM PERÚ. Reportes internos del Círculo de Investigación del Bambú. 2016.
8. Lizarazuru M. Bambúes leñosos (Poaceae: Bambusoideae: Bambuseae) del Noreste argentino y regiones limítrofes: estudios taxonómicos, morfológicos, anatómicos y biogeográficos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires; 2013.
9. Parodi L. Las Bambúseas Indígenas en la Mesopotamia Argentina. Rev Argent Agron. 1936;3:229–305.
10. Burkart A. Gramíneas. Buenos Aires; 1969. 1–551 p.
11. Nicora E, Rugolo de Agrasar Z. Los géneros de Gramíneas de América Austral. Hemisferio. Buenos Aires; 1987. 611 p.
12. Smith L, Wasshaussen D, Klein R. Gramíneas. In: Flora Ilustrada Catanariense. Santa Catarina; 1981. p. 435.
13. Benites JB, Vallejos ME, Area MC, Felissia FE. Microfibrillated lignocellulose (MFLC) from soda-AQ pulp of *Moringa oleifera* and *Eucalyptus grandis* by mechanical fibrillation. 2016.
14. Tarrés Q, Ehman N V., Vallejos ME, Area MC, Delgado Aguilar M, Mutjé P.

Lignocellulosic nanofibers from triticale straw: the influence of hemicelluloses and lignin in their productions and properties. *Carbohydr Polym.* 2017;20–7.

15. Azzini A, Ciaramello D. Bambu como materia-prima para papel: Estudos sobre o emprego de cinco espécies de bambusa, na produção de celulose sulfato. *Bol científico do Inst Agrônômico estado S Paulo.* 1971;305–9.
16. Vera M. Avaliação dos processos de polpação soda-antraquinona e bissulfito-base magnésio para bambu. Piracicaba; 2010.
17. Castaño F, Moreno R. Guadua para todos: Cultivo y aprovechamiento. Bogotá; 2004. 188 p.
18. Cruz H. Bambú Guadua. *Guadua angustifolia kunth. Bosques naturales en Colombia. Plantaciones en México.* 2009. 990 p.
19. Vogal E, Gardner A. Bamboos. *Bamboos Biodivers.* 2005;
20. Londoño X. Evaluation of Bamboo Resources in Latin America. 1998.
21. Ortiz S. Caracterización y clave de identificación de los bambúes en la región Nor-Oriental (San Martín, Amazonas y Cajamarca). Universidad Nacional Agraria La Molina - Perú; 2017.
22. Hidalgo O. Bamboo: The Gift of the Gods. Bogotá; 2003.
23. Reátegui N. Caracterización y Clave de Identificación de Bambúes en el ámbito Chanchamayo, Departamento de Junín, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina - Perú; 2009.
24. Altez A. Deterioro causado por dos hongos de pudrición en las propiedades físico-mecánicas del compuesto bambú-plástico. Universidad Nacional Agraria La Molina - Perú; 2016.
25. Monroy E. Tratamiento químico de cuatro especies de bambú para su preservación utilizando ácido bórico – bórax – dicromato de sodio por el método de inmersión y baño caliente frío. Universidad San Carlos de Guatemala; 2006.
26. Añazco M. Estudio de vulnerabilidad del Bambú (*Guadua angustifolia*) al cambio climático en la costa del Ecuador y norte del Perú. Quito; 2013.
27. Chiluzza C, Hernández J. Elaboración de papel artesanal de cada guadua (*Guadua angustifolia k*). Escuela politécnica Nacional - Ecuador; 2009.
28. Da Costa V, Aprigio A, Marabezi K, Etuko A, Savastano H. Bamboo cellulosic pulp produced by the ethanol/wáter process for reinforcement

- applications. *Ciência Florest.* 2015;25(1):127–35.
29. Gomide R. Antraquinona: um eficiente aditivo para a polpação alcalina de madeira. *O Pap.* 1980;41(10):39–48.
 30. Campos J, Peñaloza R, Kahler C, Poblete H, Cabrera J. *Bambú en Chile.* Santiago de Chile; 2003.
 31. Espinoza A. Aptitud de *Guadua angustifolia* Kunth en la elaboración de tableros aglomerados con cemento. Universidad Nacional Agraria La Molina - Perú; 2010.
 32. Kallaway E. Bamboo as a new fiber source in the US paper industry: a feasibility analysis for booshoot gardens. Universidad de Oregón; 2010.
 33. Dhamodaran T, Gnanaharan R, Sankara K. *Bamboo for pulp and papel.* Kerala; 2003.
 34. Figueroa V, Sardiña C. *Bambú en Chile. Posibilidades de industrialización y estandarización del cultivo.* SANTIAGO DE CHILE; 2009.
 35. MINAGRI. *Plan Nacional de Promoción del Bambú.* Lima; 2008.
 36. Rubio M. Pulpa química, método soda-antraquinona, a partir de tallos de *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris*. Universidad Nacional Agraria La Molina.; 2017.
 37. Clark T, White G. Fiber and paper making characteristics of bamboo. *Boletín Técnico del Serv Investig Agric.* 1966;(1961).
 38. Fuenmayor C, Vera M. Evaluación del efecto de la carga alcalina y factor H en el pulpeo kraft de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* de las plantaciones de CVG PROFORCA. VENEZUELA; 2009.
 39. Gonzales E, Bueno J. Influencia de la lignina residual en las propiedades físico-mecánicas de la pulpa química al sulfato de Huamansamana (*Jacaranda copaiba* Aubl). *Rev For del Perú.* 1986;13(2):1–13.
 40. Morán J, Alvarez V, Cyras V, Vásquez A. Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers. *Cellulose.* 2008;15:149–59.
 41. Wai N, Nanko H, Murakami K. A morphological study on behavior of bamboo pulp fibers in the beating process. In: *Wood Science and technology.* 1985. p. 211–22.
 42. Haun J, Clark T, White G. Fiber and papermaking characteristics of bamboo. 1966. Report No.: 1361.
 43. Wang H, Zhanga X, Jianga Z, Li W, Yua Y. A comparison study on the

- preparation of nanocellulose fibrils from fibers and parenchymal cells in bamboo (*Phyllostachys pubescens*). In: *Industrial Crops and Products*. 2015. p. 80–8.
44. Chang F, Lee S, Toba K, Nagatani A, Endo T. Bamboo nanofiber preparation by HCW and grinding treatment and its application for nanocomposite. *Wood Sci Technol*. 2012;46(1–3):393–403.
 45. Frey-Wyssling A, Mühlethaler K, Wyckoff R. Mikro-fibrillembau der pflanzlichen Zellwände. 1948.
 46. Preston R, Cronshaw J. Constitution of the fibrillar and non-fibrillar components of plant cell walls of *Valonia ventri – cosa*. In: *Nature*. 1958. p. 181.
 47. Frey-Wyssling A. The fine structure of cellulose microfibrils. *Science* (80-). 1954;119:80.
 48. Hess K, Mahl H, Gütter E. Electron microscopic representation of long periodic intervals in cellulose fibers and comparison with the periods of other kinds of fibers. *Kolloid - Z*. 1957;155:1–19.
 49. Dolmetsch H, Dolmetsch H. Evidence for the folding of the chains within the cellulose molecule. *Kolloid - Z*. 1962;185:106.
 50. St John Manley R. Fine structure of native cellulose microfibrils. *Nature*. 1964;204:1155–7.
 51. Egbewole Z, Rotowa O, Omoake P. Evaluation of fibre quality of *Bambusa vulgaris* (Bamboo) as a raw material for pulp and paper Production. *PAT Niger*. 2015;11:188–202.
 52. Rodriguez L, Cáceres H. Producción y evaluación de pulpas celulósicas a partir de diferentes especies de bambú. Bucaramanga; 1982.
 53. Zaragoza - Hernández I, Borja de la Rosa A, Zamudio J, Ordoñez - Candelaria V, Bácnas - Pazos G. Anatomía del culmo de bambú (*Guadua aculeata* Rupr.) de la región nororiental del estado de Puebla, México. *Rev Madera y Bosque*. 2014;20(3):87–96.
 54. Zhang P, Tong D, Lin C, Yang H, Zhong Z, Yu W, et al. Effects of acid treatments on bamboo cellulose nanocrystals. *Asia Pacific J Chem Eng*. 2014;1–10.

55. Toval G. Calidad de la madera de *Eucalyptus globulus* como materia prima para la industria pastero-pepelera. España; 2010.
56. Núñez C. Microestructura. Anatomía de la Madera. In: Pulpa y papel. 2008. p. 44–5.
57. Barrichuelo L, Foelkel C, Gonzaga J, Busnardo C. Basic density and characteristics of *Eucalyptus grandis* wood fibers. Sao Paulo; 1983.
58. Larios S. Índices de calidad de las pulpas de dos coníferas. Universidad Autónoma de Chapingo; 1979.
59. Bueno J. Estudio de posibilidades industriales de maderas nacionales para fabricación de pulpa para papel. Universidad Nacional Agraria La Molina - Perú; 1978.
60. Li X. Physical, chemical and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing. Universidad Nacional de Louisiana; 2004.
61. De Groot B, Van Dam JEG, Van 'Triet K. Alkaline pulping of hemp woody core: kinetic modeling of lignin, xylan and cellulose extraction and degradation. *Holzforschung*. 1995;49:332–42.
62. Sridach W. The environmentally benign pulping process of non-wood fibers. *Suranaree J Sci Technol*. 2010;17:105–23.
63. Ciaramello D. Bamboo as a raw material for the paper industry - Studies of three cooking processes with *Bambusa tuldoidea* Munro. *Bragantia*. 1970;29:11–22.
64. Vu THM, Pakkanen H, Alén R. Delignification of bamboo (*Bambusa procera* Acher) Part 1. Kraft pulping and the subsequent oxygen delignification to pulp with a low kappa number. *Ind Crops Prod*. 2004;19:49–57.
65. Kleine H, Foelkel C. Bambu – materia prima para a fabricação de celulose e papel. *CIFloresta* [Internet]. 2012; Available from: www.ciflorestas.com.br/conteudo.php?id=6884
66. Estrada M. Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Universidad de los Andes; 2010.
67. Chitbanyong, K. Pitiphatharaworachot, S. Pisutpiched, S.

- Khantayanuwong, S. Puangsin B. Characterization of bamboo nanocellulose prepared by TEMPO – mediated oxidation. *Bioresources*. 2018;13(2):1–15.
68. Dufresne A. Nanocellulose. From Nature to High Performance Tailored Materials. De Gruyter; 2012. 15–20 p.
 69. Abe, K. Iwamoto S, Yano H. Obtaining cellulose nano fibers with a uniform width of 15 nm from wood. *Biomacromolecules*. 2007;8(10):3276–8.
 70. Jonoobi M, Mathew A, Oksman K. Producing low-cost cellulose nanofiber from sludge as new source of raw materials. *Ind Crop Prod*. 2012;40:232–8.
 71. Oksman K, Mathew A, Bondeson D, Kvien I. Manufacturing process of cellulose whiskers/polylactic acid nanocomposites. *Compos Sci Technol*. 2006;66(15):2776–84.
 72. Sorrentino A, Gorrasi G, Vittoria V. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. *Trends Food Sci Technol*. 2007;18(2):84–95.
 73. Alila S, Besbes I, Vilar M, Mutjé P. Non-woody plants as raw materials for production of microfibrillated cellulose (MFC): a comparative study. *Ind Crop Prod*. 2013;41:250–9.
 74. Siró I, Plackett D. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. In: *Cellulose*. 2010. p. 459–94.
 75. Missoum K, Martoia F, Belgacem M, Bras J. Effect of chemically modified nanofibrillated cellulose addition on the properties of fiber-based materials. *Ind Crop Prod*. 2013;48:98–105.
 76. Salmela M, Alén R, Vu M. Description of kraft cooking and oxygen–alkali delignification of bamboo by pulping and dissolving material analysis. *Ind Crop Prod*. 2008;28(1):47–55.
 77. Alemdar A, Sain M. Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues-wheat straw and soy hulls. In: *Bioresour Technol*. 2008. p. 1664–71.
 78. Habibi Y, Vignon M. Optimization of cellouronic acid synthesis by TEMPO-mediated oxidation of cellulose III from sugar beet pulping. *Cellulose*.

- 2008;15:177–85.
79. Bhattacharya D, Germinario L, Winter W. Isolation, preparation and characterization of cellulose microfibrils obtained from bagasse. In: *Carbohydr Polym*. 2008. p. 371–7.
 80. Chaker A, Mutjé P, Vilar M, Boufi S. Agriculture crop residues as a source for the production of nanofibrillated cellulose with low energy demand. In: *Cellulose*. 2014. p. 4247–59.
 81. Boufi S, Gandini A. Triticale crops residue: a cheap material for high performance nanofibrillated cellulose. *RSC Adv*. 2015.
 82. Marx-Fingini M, Schultz G. Zur Biosynthese der cellulose. In: *Naturwissenschaften*. 1966. p. 466.
 83. Zhijun H, Rui Z, Jing L, Yan Z, Jiang L. Preparation and Characterization of Nanofibrillated Cellulose from Bamboo Fiber via Ultrasonication Assisted by Repulsive Effect. 2017. 3–5 p.
 84. Wang B, Sain M, Oksman K. Study of structural morphology of hemp fiber from the micro to the nanoscale. *Appl Compos Mater*. 2007;14(2):89–103.
 85. Du L, Wang J, Zhang Y, Qi CP, Wolcott M, Yu Z. Preparation and Characterization of Cellulose Nanocrystals from the Bio-ethanol Residuals. *J Synth Cryst*. 2009;14(2):89–103.
 86. Stelte W, Sanadi A. Preparation and characterization of cellulose nanofibers from two commercial hardwood and softwood pulps. *Ind Eng Chem Res*. 2009;48(24):11211–9.
 87. Henriksson M, Henriksson G, Berglund L, Lindstrom T. An environmentally friendly method for enzyme- assisted preparation of microfibrillated cellulose (MFC) nanofibers. *Eur Polym J*. 2007;43(8):3434–41.
 88. Voronova M, Lebedeva T, Radugin M, Surov O, Prusov A, Zakharov A. Interactions of water-DMSO mixtures with cellulose. *J Mol Liq*. 2006;126(1–3):124–9.
 89. Silva D, Perez D, Montanari S, Vignon M. TEMPO mediated oxidation of cellulose III. *Biomacromolecules*. 2003;4(5):1417–25.
 90. Siddiqui N, Mills R, Gardner D, Bousfield D. Production and characterization of cellulose nanofibers from wood pulp. *J Adhes Sci Technol*. 2011;25(6–7):709–21.
 91. Eyholzer C, Borges De Couraça A, Duc F. Biocomposite hydrogels with

- carboxymethylated, nanofibrillated cellulose powder for replacement of the nucleus pulposus. *Biomacromolecules*. 2011;12(5):1419–27.
92. Benkaddour A, Jradi K, Robert S, Daneault C. Study of the effect of grafting method on surface polarity of tempoxidized nanocellulose using polycaprolactone as the modifying compound: esterification versus click-chemistry. *Nanomaterials*. 2013;3(4):638–54.
 93. Wagberg L, Decher G, Norgren M, Lindström T, Ankerfors M, Axnäs K. The build-up of polyelectrolyte multilayers of microfibrillated cellulose and cationic polyelectrolytes. *Langmuir*. 2008;24(3):784–95.
 94. Tanaka A, Seppänen V, Houni J, Sneek A, Pirkonen P. Nanocellulose characterization with mechanical fractionation. *Nord Pulp Pap Res J*. 2012;27(4):689–94.
 95. Xiao S, Gao R, Lu Y, Li J, Sun Q. Fabrication and characterization of nanofibrillated cellulose and its aerogels from natural pine needles. In: *Carbohydrate Polymers*. 2015. p. 202–9.
 96. Zhang Q, Benoit M, Oliveira D, Vigier K. Pretreatment of microcrystalline cellulose by ultrasounds: Effect of particle size in the heterogeneously-catalyzed hydrolysis of cellulose to glucose. *Green Chem*. 2013;15(4):963–9.
 97. Tischer P, Sierakowski M, Westfahl Jr. H, Tischer C. Nanostructural reorganization of bacterial cellulose by ultrasonic treatment. In: *Biomacromolecules*. 2010. p. 1217–24.
 98. Freire C, Fernandes S, Silvestre A, Pascoal Neto C. Novel cellulose-based composites based on nanofibrillated plant and bacterial cellulose: recent advances at the University of Aveiro – a review. *Holzforschung*. 2013;67:603–12.
 99. Gray D. Nanocellulose: from nature to high performance tailored material. *Holzforschung*. 2013;67:353–6.
 100. Žepič V, Fabjan E, Kasunič M, Korošec R, Hančič A, Oven P, et al. Morphological, thermal, and structural aspects of dried and redispersed nanofibrillated cellulose (NFC). *Holzforschung*. 2014;68:657–67.
 101. Sutka A, Sutka A, Gaidukov S, Timusk M, Gravitis J, Kukle S. Enhanced stability of PVA electrospun fibers in water by adding cellulose nanocrystals. *Holzforschung*. 2015;69:737–43.

102. Nakagaito A, Yano H. Novel high-strength biocomposites based on microfibrillated cellulose having nanoorder-unit web-like network structure. *Appl Phys A-Mater Sci Process*. 2005;80:155–9.
103. Pääkkö M, Ankerfors M, Kosonen H, Nykanen A, Ahola S, Osterberg, M. Ruokolainen J, et al. Enzymatic hydrolysis combined with mechanical shearing and high-pressure homogenization for nanoscale cellulose fibrils and strong gels. *Biomacromolecules*. 2007;8(6):1934–41.
104. Stenstad P, Andresen M, Tanem B, Stenius P. Chemical surface modifications of microfibrillated cellulose. *Cellulose*. 2008;15:35–45.
105. Hu C, Zhao Y, Li K, Zhu J, Gleisner R. Optimizing cellulose fibrillation for the production of cellulose nanofibrils by a disk grinder. *Holzforschung*. 2015;69:993–1100.
106. Chakraborty A, Sain M, Kortschot M. Cellulose microfibrils: a novel method of preparation using high shear refining and cryocrushing. *Holzforschung*. 2005;59:102–7.
107. Wang B, Sain M. Dispersion of soybean stock-based nanofiber in a plastic matrix. *Polym Int*. 2007;56:538–46.
108. Hult E, Larsson P, Iversen T. Cellulose fibril aggregation – an inherent property of kraft pulps. In: *Polymer*. 2001. p. 3309–14.
109. Iwamoto S, Nakagaito A, Yano H, Nogi M. Optically transparent composites reinforced with plant fiber-based nanofibers. *Appl Phys A-Mater Sci Process*. 2005;81:1109–12.
110. Iwamoto S, Nakagaito A, Yano H. Nano-fibrillation of pulp fibers for the processing of transparent nanocomposites. *Appl Phys A-Mater Sci Process*. 2007;89:461–6.

111. Cheng Q, Wang S, Rials T, Lee S. Physical and mechanical properties of polyvinyl alcohol and polypropylene composite materials reinforced with fibril aggregates isolated from regenerated cellulose fibers. *Cellulose*. 2007;14:593–602.
112. Wang H, Zhang X, Jiang Z, Yu Z, Yu Y. Isolating nanocellulose fibrills from bamboo parenchymal cells with high intensity ultrasonication.

- Holzforschung. 2015;1–9.
113. Ehman N V. Nanocelulosa a partir de residuos agro y forestoindustriales. Universidad Nacional de Misiones; 2018.
 114. Werh T, Barrichelo L. Cozimento kraft com madeira de *Eucalyptus grandis* de diferentes densidades básicas e dimensões de cavacos. O Pap. 1993;4(5):33–41.
 115. Wahab R, Mohamad A, Samsi H, Yunus A, Moktar J. Physical characteristics, anatomy and properties of managed *Gigatochloa scortechinii* Natural bamboo stands. J plants Sci. 2006;144–53.
 116. Gomide R, Colodette J, Oliveira J. Influência do álcali ativos e de temperatura na polpação kraft de *Bambusa vulgaris*. Congr Anu da ABCP15. 1981;1:189–203.
 117. Fengel D, Wegener G. Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions. 1989. 613 p.
 118. Marinho N. Características das fibras do bambu (*Dendrocalamus giganteus*) e pontencial de aplicação em painéis de fibra de média densidade (mdf). UTFPR; 2012.
 119. Kleine H, Foelkel C. Bambu – materia prima para a fabricação de celulose e papel. 2012.
 120. Liese W. The anatomy of bamboo culms. Beijing; 1998.
 121. Osorio J. Caracterización de la estructura interna de *Guadua angustifolia* y su relación con sus propiedades mecánicas. Universidad Nacional de Colombia; 2006.
 122. Grosser D, Liese W. On the anatomy of Asian bamboo with special reference to their vascular bundles. Wood Sci Technol. 1971;5:290–312.
 123. Londoño X, Riaño N, Camayo G. Estudio anatómico de los diferentes órganos de *Guadua* (*Guadua angustifolia* Kunth), con énfasis en el culmo. Chinchiná; 2002.
 124. Nigoski S. Morfología da fibra x propriedades do papel. [Internet]. 2014. Available from: www.madeira.ufpr.br/disciplinassilvana/indicepapel.pdf
 125. Departamento de Investigación y Desarrollo S.P.L. Informe de bambú Chancay: Segunda corrida Industrial en la Planta de pulpa PPX-8 y Máquina PPX-7 usado en papel kraft 110 g. Chancay; 1984.
 126. Da Silva F, Bonfatti E, González J. The effect of alkali charge on *Bambusa*

- vulgaris Schrad. ex J.C. Wendl., for the kraft pulping process. 2012.
127. León C, Fuentes M. Diseño de un proceso para la fabricación de papel reciclado ecológico a escala laboratorio usando peróxido de hidrógeno. Universidad de Cartagena; 2012.
 128. Batalha L, Colodette J, Gomide J, Barbosa L, Maltha C, Borges F. Dissolving pulp production from Bamboo. *BioResources*. 2012;7(1):640–51.
 129. Marx-Figini M. *Die Angewandte. Makromol Chemie*. 1978;72(1100):161–71.
 130. Da Costa V, Da Silva A, Marabezi. Bamboo cellulosic pulp produced by the ethanol/water process for reinforcement applications. *Rev Ciência Florest*. 2015;25(1):127–35.
 131. Evans R. Changes in cellulose crystallinity during kraft pulping. Comparison of infrared, X-ray diffraction and solid state NMR results. *Holzforschung*. 1995;49:498–504.
 132. Gümüşkaya E, Usta M, Kirci H. The effects of various pulping conditions on crystalline structure of cellulose in cotton linters. In: *Polymer Degradation and Stability*. 2003. p. 559–64.
 133. Albornoz G, Andrade A, Pereira M. Study of the relationship between intrinsic viscosity and aspect ratio of cellulose nanofibers suspensions. In: *Proceedings of the ABTCP - CIADICYP 2018*. 2018. p. 2–9.
 134. Chaker A, Alila S, Mutjé P, Vilar MR, Boufi S. Key role of the hemicellulose content and the cell morphology on the nanofibrillation effectiveness of cellulose pulps. *Cellulose*. 2013;20(6):2863–2875.
 135. Du C, Li H, Meng Q, Liu M. Effect of Lignin on Nanocellulose Preparation by TEMPO-mediated Oxidation from Bamboo Pulp. *Trans China Pulp Pap*. 2017;32(2):1–6.

VII. ANEXOS

1. Densidades básicas (DB)

Especie: <i>Guadua trinitii</i>							
Altura	Muestra	Peso saturado (g)	Volumen saturado (m ³)	Peso seco(g)	Volumen seco(m ³)	Densidad básica (g/m ³)	DB Promedio(g/m ³)
Cepa	1	4,70	4,23	2,32	2,80	0,55	0,53
	2	4,43	4,24	2,13	2,77	0,50	
	3	4,10	3,70	2,03	2,56	0,55	
	4	4,26	3,91	2,02	2,58	0,52	
	5	3,74	3,35	1,87	2,29	0,56	
	6	4,37	4,05	2,16	2,66	0,53	
	7	3,68	3,37	1,81	2,15	0,54	
	8	3,70	3,40	1,82	2,18	0,54	
	9	4,32	4,02	1,97	2,54	0,49	
	10	4,24	3,92	2,11	2,77	0,54	
	11	3,67	3,32	1,81	2,11	0,55	
	12	4,32	4,01	1,98	2,51	0,49	
Base	1	4,35	3,94	2,13	2,60	0,54	0,52
	2	4,62	4,31	2,12	2,77	0,49	
	3	3,82	3,54	1,84	2,33	0,52	
	4	3,87	3,62	1,89	2,45	0,52	
	5	3,81	3,58	1,91	2,48	0,53	
	6	3,98	3,97	1,94	2,66	0,49	
	7	4,34	4,04	2,04	2,77	0,50	
	8	3,96	3,58	2,01	2,62	0,56	
	9	4,49	4,23	2,16	2,74	0,51	
	10	4,34	4,02	2,00	2,64	0,50	
	11	4,13	3,80	1,88	2,50	0,49	
	12	4,42	4,03	2,17	2,51	0,54	
Sobrebase	1	3,63	3,33	1,83	2,35	0,55	0,55
	2	3,56	3,28	1,81	2,18	0,55	
	3	3,44	3,18	1,72	2,03	0,54	
	4	3,36	3,11	1,68	2,01	0,54	
	5	3,59	3,31	1,84	2,26	0,56	
	6	3,89	3,55	1,94	2,52	0,55	
	7	3,37	3,12	1,68	2,04	0,54	
	8	3,62	3,33	1,86	2,34	0,56	
	9	3,84	3,50	1,99	2,55	0,57	
	10	3,19	2,97	1,63	1,97	0,55	
	11	3,24	3,02	1,64	1,94	0,54	
	12	3,71	3,45	1,89	2,27	0,55	

Especie: *Guadua angustifolia*

Altura	Muestra	Peso saturado (g)	Volumen saturado (m ³)	Peso seco(g)	Volumen seco(m ³)	Densidad básica (g/m ³)	DB Promedio(g/m ³)
Cepa	1	6,06	7,60	3,01	6,70	0,38	0,38
	2	5,44	7,25	2,79	6,13	0,36	
	3	5,89	7,95	2,91	6,96	0,37	
	4	5,56	7,10	2,74	6,17	0,41	
	5	5,67	7,39	2,88	6,45	0,36	
	6	5,76	7,66	2,77	6,71	0,40	
	7	5,87	8,10	2,99	6,14	0,37	
	8	5,37	7,61	2,85	6,77	0,39	
	9	6,13	8,07	3,08	7,15	0,39	
	10	5,51	7,38	2,66	6,28	0,38	
	11	5,44	6,92	2,77	6,11	0,38	
	12	5,48	7,12	2,76	6,20	0,38	
Base	1	4,70	5,39	2,62	4,36	0,49	0,49
	2	4,74	5,47	2,62	4,92	0,48	
	3	5,64	6,53	3,14	5,94	0,48	
	4	5,17	5,93	3,06	5,30	0,52	
	5	4,51	5,34	2,57	4,84	0,48	
	6	5,35	6,36	2,99	5,73	0,47	
	7	5,46	6,42	2,99	5,82	0,47	
	8	5,09	6,04	2,88	5,32	0,48	
	9	5,23	6,24	2,97	5,60	0,48	
	10	4,79	5,52	2,78	4,92	0,50	
	11	5,48	6,30	3,29	5,62	0,52	
	12	5,16	5,86	3,03	5,13	0,52	
Sobrebase	1	3,93	4,57	1,71	3,67	0,38	0,38
	2	3,81	4,62	1,64	3,67	0,36	
	3	3,46	4,09	1,52	3,16	0,37	
	4	3,62	4,09	1,69	3,28	0,41	
	5	3,72	4,54	1,64	3,62	0,36	
	6	3,89	4,67	1,86	3,93	0,40	
	7	3,42	4,36	1,62	3,65	0,37	
	8	3,80	4,53	1,78	3,49	0,39	
	9	3,98	4,57	1,79	3,59	0,39	
	10	3,88	4,53	1,70	3,72	0,38	
	11	3,53	4,40	1,66	3,75	0,38	
	12	4,10	4,82	1,84	3,95	0,38	

2. Ancho, lumen y espesor de pared de fibra medidas en microscopio

Especie: <i>Guadua angustifolia</i>											
N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio
1	8,02	3,50	8,07	4,08	1,99	32	11,53	7,11	10,98	7,65	1,67
	8,11	4,66					10,43	8,18			
2	11,46	7,04	11,67	7,09	2,29	33	13,10	7,70	12,72	7,75	2,49
	11,87	7,13					12,33	7,79			
3	12,21	7,78	12,23	7,90	2,16	34	11,55	6,72	11,45	6,41	2,52
	12,24	8,02					11,35	6,10			
4	8,18	4,61	9,32	4,84	2,24	35	11,30	6,98	11,16	7,30	1,93
	10,46	5,06					11,02	7,61			
5	22,51	13,14	22,49	13,73	4,38	36	9,02	5,92	8,25	6,97	0,64
	22,46	14,31					7,48	8,02			
6	13,58	8,32	15,09	9,67	2,71	37	7,35	4,61	6,21	4,00	1,11
	16,60	11,01					5,07	3,39			
7	12,03	6,52	12,50	6,46	3,02	38	12,77	6,98	12,95	7,31	2,82
	12,96	6,39					13,13	7,63			
8	14,75	8,84	15,19	9,62	2,79	39	6,93	3,83	8,64	4,47	2,08
	15,63	10,39					10,34	5,11			
9	3,98	2,07	4,57	2,67	0,95	40	8,27	4,04	8,46	4,85	1,81
	5,15	3,26					8,64	5,65			
10	10,14	6,06	9,93	6,39	1,77	41	33,11	26,41	35,46	26,78	4,34
	9,71	6,71					37,80	27,14			
11	17,40	10,71	16,90	10,51	3,20	42	9,73	4,04	10,41	5,01	2,70
	16,40	10,30					11,09	5,98			
12	11,85	7,46	11,37	7,58	1,89	43	9,21	4,61	9,35	4,75	2,30
	10,88	7,70					9,49	4,88			
13	6,35	3,91	6,52	4,19	1,17	44	12,05	7,48	12,10	7,24	2,43
	6,68	4,46					12,14	6,99			
14	14,29	7,82	15,24	8,75	3,25	45	10,26	6,32	10,20	6,91	1,65
	16,19	9,67					10,14	7,50			
15	9,80	4,28	9,72	5,25	2,24	46	10,70	5,45	10,17	4,92	2,63
	9,64	6,22					9,63	4,38			
16	19,53	15,24	20,91	13,58	3,67	47	9,96	6,30	9,79	6,65	1,57
	22,29	11,91					9,62	6,99			
17	11,02	5,71	10,56	5,76	2,40	48	8,02	5,06	7,98	5,07	1,46
	10,10	5,81					7,94	5,08			
18	11,39	5,89	10,32	5,36	2,48	49	8,18	4,41	7,86	3,85	2,00
	9,25	4,83					7,53	3,29			
19	5,08	2,73	5,39	2,84	1,28	50	5,81	3,87	7,31	4,87	1,22
	5,69	2,94					8,81	5,86			
20	13,53	8,08	13,39	7,71	2,84	51	13,45	9,36	12,55	8,89	1,83
	13,24	7,33					11,65	8,42			
21	15,45	8,09	13,78	7,49	3,14	52	14,64	8,43	15,15	9,85	2,65
	12,10	6,89					15,66	11,26			
22	5,71	3,58	5,69	3,83	0,93	53	24,33	19,56	24,85	21,10	1,88
	5,67	4,08					25,36	22,63			
23	7,17	4,14	7,03	4,09	1,47	54	12,63	9,46	13,37	10,16	1,61
	6,88	4,04					14,11	10,86			
24	7,06	5,37	8,31	6,18	1,06	55	9,46	6,75	9,51	6,79	1,36
	9,55	6,99					9,56	6,82			
25	13,46	7,85	13,82	7,81	3,00	56	3,54	2,64	4,18	3,58	0,30
	14,17	7,77					4,82	4,52			
26	11,81	7,35	13,85	7,56	3,14	57	6,52	5,26	6,63	5,18	0,73
	15,88	7,77					6,74	5,09			
27	10,81	7,53	10,48	7,25	1,62	58	11,75	8,16	12,09	8,18	1,96
	10,14	6,96					12,43	8,19			
28	24,16	16,23	23,95	16,00	3,98	59	25,61	19,62	25,25	19,63	2,81
	23,74	15,76					24,88	19,64			
29	11,36	6,52	11,50	6,85	2,33	60	10,46	5,99	10,51	6,00	2,26
	11,64	7,17					10,56	6,01			
30	10,23	5,07	10,64	5,73	2,46	61	12,58	6,58	12,67	7,62	2,53
	11,05	6,38					12,76	8,65			
31	6,47	4,08	7,77	4,87	1,45	62	6,54	4,76	6,89	4,38	1,26
	9,07	5,65					7,24	3,99			

Dónde: Ancho (μm), lumen (μm), espesor (μm)

Especie: *Guadua angustifolia*

N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio
63	13,45	9,65	13,15	9,24	1,96	95	6,98	5,11	6,72	5,09	0,82
	12,85	8,82					6,45	5,06			
64	16,01	11,32	16,27	10,94	2,66	96	10,95	7,52	10,65	7,39	1,63
	16,52	10,56					10,35	7,26			
65	8,26	6,19	8,18	6,22	0,98	97	7,61	5,62	8,13	5,76	1,19
	8,09	6,25					8,64	5,89			
66	13,56	10,29	14,04	10,27	1,89	98	15,64	11,06	15,53	11,86	1,84
	14,52	10,25					15,42	12,65			
67	25,72	18,16	23,87	17,41	3,23	99	13,69	9,46	13,26	9,14	2,06
	22,01	16,65					12,82	8,82			
68	37,12	28,22	38,17	30,09	4,04	100	11,86	6,85	11,81	7,10	2,36
	39,22	31,95					11,75	7,34			
69	14,46	11,19	14,84	11,47	1,69	101	6,70	4,33	7,31	4,58	1,37
	15,22	11,75					7,92	4,83			
70	8,62	7,16	9,04	7,21	0,92	102	11,43	8,93	12,04	9,36	1,34
	9,46	7,26					12,65	9,79			
71	7,16	5,91	6,99	5,75	0,62	103	17,66	12,21	18,20	12,51	2,84
	6,82	5,59					18,73	12,81			
72	7,26	4,68	7,54	4,98	1,28	104	8,83	5,51	8,98	6,19	1,40
	7,82	5,28					9,13	6,86			
73	5,16	3,69	5,81	4,48	0,66	105	7,37	4,52	7,81	4,99	1,41
	6,45	5,27					8,24	5,46			
74	10,65	6,52	10,96	7,17	1,90	106	8,43	6,12	8,09	5,98	1,05
	11,26	7,81					7,74	5,84			
75	11,06	6,19	11,01	6,24	2,39	107	5,51	3,61	5,88	3,91	0,99
	10,95	6,28					6,24	4,20			
76	13,76	9,73	14,06	11,34	1,36	108	15,55	10,20	14,34	9,72	2,31
	14,35	12,95					13,12	9,23			
77	13,52	7,69	12,59	7,26	2,67	109	12,42	9,28	13,27	10,42	1,42
	11,65	6,82					14,11	11,56			
78	12,86	9,65	12,65	9,70	1,47	110	10,99	7,56	10,68	7,36	1,66
	12,43	9,75					10,37	7,15			
79	16,85	10,75	16,55	10,20	3,18	111	7,63	5,35	8,18	5,66	1,26
	16,25	9,65					8,73	5,97			
80	10,65	7,46	10,38	8,23	1,08	112	15,00	10,97	15,20	11,82	1,69
	10,11	8,99					15,40	12,66			
81	15,62	9,78	15,57	10,24	2,67	113	13,36	9,44	13,07	9,14	1,97
	15,52	10,69					12,78	8,83			
82	11,78	9,67	12,02	9,98	1,02	114	15,99	11,37	16,30	10,84	2,73
	12,25	10,29					16,60	10,30			
83	7,65	5,01	7,80	5,23	1,29	115	8,23	6,12	8,13	6,23	0,95
	7,95	5,45					8,02	6,33			
84	7,78	5,46	7,97	5,23	1,37	116	13,86	10,29	14,08	10,19	1,95
	8,16	4,99					14,29	10,08			
85	12,35	5,67	12,00	5,58	3,21	117	25,72	18,13	23,87	17,37	3,25
	11,65	5,49					22,02	16,60			
86	13,65	9,46	13,47	10,22	1,62	118	37,39	28,15	38,55	30,05	4,25
	13,28	10,98					39,70	31,94			
87	19,01	13,88	18,14	13,67	2,23	119	14,72	11,16	14,97	11,49	1,74
	17,26	13,46					15,21	11,82			
88	11,53	7,11	12,89	9,03	1,93	120	8,83	7,11	9,11	7,09	1,01
	14,25	10,95					9,39	7,06			
89	13,95	9,67	12,76	9,32	1,72	121	7,28	5,95	7,00	5,80	0,60
	11,56	8,97					6,72	5,65			
90	15,26	8,28	15,54	10,04	2,75	122	7,19	4,66	7,55	5,11	1,22
	15,82	11,79					7,91	5,56			
91	25,46	19,52	25,94	20,77	2,59	123	5,08	3,15	5,78	4,20	0,79
	26,42	22,01					6,47	5,25			
92	13,28	9,46	13,93	9,96	1,99	124	10,57	6,64	10,94	7,17	1,89
	14,58	10,46					11,31	7,70			
93	9,36	6,82	9,41	6,89	1,26	125	11,04	6,24	10,97	6,21	2,38
	9,45	6,95					10,89	6,18			
94	3,48	2,56	4,25	3,51	0,37	126	13,78	9,68	14,20	11,30	1,45
	5,01	4,46					14,62	12,91			

Dónde: Ancho (µm), lumen (µm), espesor (µm)

Especie: *Guadua angustifolia*

N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio
127	13,23	7,35	12,40	7,04	2,68	164	36,11	22,09	36,53	22,67	6,93
	11,56	6,72					36,94	23,24			
128	12,71	9,59	12,58	9,56	1,51	165	13,28	7,64	13,43	8,55	2,44
	12,44	9,52					13,57	9,45			
129	16,65	10,63	16,38	10,19	3,10	166	12,85	9,64	13,32	10,04	1,64
	16,10	9,74					13,78	10,43			
130	10,89	7,45	10,47	8,20	1,13	167	7,14	5,26	7,47	5,03	1,22
	10,04	8,95					7,80	4,80			
131	15,63	9,84	15,61	10,30	2,65	168	9,40	5,77	9,04	5,10	1,97
	15,58	10,76					8,68	4,43			
132	11,85	9,51	12,11	10,03	1,04	169	13,40	9,15	12,64	8,81	1,92
	12,36	10,55					11,88	8,47			
133	7,92	4,99	7,78	5,15	1,32	170	10,85	6,24	10,07	6,32	1,87
	7,64	5,31					9,28	6,40			
134	7,80	5,46	8,14	5,22	1,46	171	10,78	5,52	10,64	5,75	2,45
	8,47	4,98					10,50	5,97			
135	12,07	5,53	11,79	5,48	3,16	172	13,62	9,30	13,06	8,65	2,21
	11,51	5,42					12,50	8,00			
136	13,63	9,24	13,59	10,08	1,75	173	8,20	4,62	8,49	5,08	1,70
	13,54	10,92					8,77	5,54			
137	18,99	13,92	18,05	13,68	2,19	174	23,45	16,52	23,50	16,20	3,65
	17,11	13,44					23,55	15,88			
138	11,50	7,04	13,09	8,98	2,06	175	12,01	7,23	11,88	7,38	2,25
	14,67	10,91					11,75	7,52			
139	13,89	9,37	12,62	8,90	1,86	176	10,26	5,42	10,69	5,83	2,43
	11,34	8,42					11,12	6,23			
140	15,21	8,69	15,50	10,10	2,70	177	6,74	4,12	7,95	4,92	1,51
	15,78	11,50					9,15	5,72			
141	25,41	19,51	25,84	20,54	2,65	178	12,01	7,25	11,29	7,62	1,83
	26,26	21,56					10,56	7,99			
142	13,19	9,58	13,84	9,97	1,93	179	12,95	7,52	12,59	7,54	2,53
	14,48	10,36					12,23	7,56			
143	9,38	6,86	9,34	6,78	1,28	180	11,23	6,54	11,56	6,40	2,58
	9,30	6,70					11,89	6,25			
144	3,87	2,68	4,43	3,51	0,46	181	11,28	7,02	11,17	7,57	1,80
	4,99	4,33					11,06	8,12			
145	6,96	5,08	6,74	5,06	0,84	182	11,76	7,52	11,12	7,64	1,74
	6,51	5,04					10,48	7,75			
146	11,81	8,42	12,13	8,45	1,84	183	6,43	4,15	6,58	4,25	1,16
	12,45	8,47					6,72	4,35			
147	25,71	19,98	25,44	19,78	2,83	184	14,25	7,45	15,55	8,54	3,51
	25,17	19,58					16,85	9,62			
148	10,17	5,94	10,16	6,09	2,03	185	9,75	5,12	9,61	6,12	1,75
	10,14	6,24					9,46	7,11			
149	12,24	6,56	12,34	7,52	2,41	186	18,85	14,35	20,25	13,16	3,55
	12,43	8,47					21,65	11,96			
150	6,68	4,61	7,16	4,29	1,44	187	10,96	5,72	10,59	5,51	2,54
	7,64	3,96					10,21	5,29			
151	5,88	2,86	5,42	3,39	1,02	188	11,34	5,98	10,40	5,42	2,49
	4,96	3,91					9,45	4,85			
152	7,01	3,83	7,03	4,35	1,34	189	5,11	2,95	5,49	2,80	1,34
	7,04	4,87					5,86	2,65			
153	6,38	4,85	6,68	5,05	0,82	190	12,95	8,12	13,15	9,34	1,91
	6,98	5,25					13,35	10,56			
154	9,30	6,05	8,85	5,89	1,48	191	13,25	7,85	12,89	7,57	2,66
	8,39	5,73					12,52	7,29			
155	22,78	16,64	20,68	15,46	2,61	192	11,53	6,82	11,49	6,79	2,35
	18,58	14,28					11,45	6,75			
156	7,64	4,33	7,98	4,46	1,76	193	11,52	6,82	11,29	7,22	2,04
	8,31	4,59					11,06	7,62			
157	12,82	9,03	12,33	8,67	1,83	194	9,04	5,92	8,25	6,99	0,63
	11,83	8,31					7,45	8,06			
158	23,24	13,51	23,74	15,45	4,15	195	7,35	4,77	6,32	4,36	0,98
	24,24	17,39					5,28	3,95			
159	5,11	3,21	5,10	3,30	0,90	196	12,65	7,01	12,95	7,13	2,91
	5,08	3,39					13,25	7,25			
160	11,22	6,89	11,60	7,56	2,02	197	11,42	8,65	11,44	8,44	1,50
	11,97	8,23					11,45	8,23			
161	5,81	3,87	7,31	4,87	1,22	198	12,32	8,01	12,50	7,83	2,34
	8,81	5,86					12,68	7,64			
162	8,97	6,91	9,77	7,61	1,08	199	8,25	5,01	9,44	4,82	2,31
	10,57	8,31					10,62	4,62			
163	12,22	9,52	12,61	9,58	1,52	200	22,46	12,95	22,64	13,81	4,42
	12,99	9,63					22,82	14,66			

Dónde: Ancho (µm), lumen (µm), espesor (µm)

Especie: *Guadua trinii*

N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio
1	13.23	2.86	14.03	3.50	5.27	32	9.34	1.58	9.82	1.92	3.95
	14.82	4.13					10.30	2.26			
2	10.30	2.55	10.10	2.37	3.87	33	8.64	2.19	9.16	1.89	3.64
	9.90	2.19					9.68	1.58			
3	10.15	1.96	10.52	2.08	4.22	34	10.60	2.19	9.38	2.19	3.59
	10.89	2.19					8.15	2.19			
4	13.14	3.78	13.64	4.04	4.80	35	8.77	3.29	8.02	3.18	2.42
	14.14	4.30					7.26	3.07			
5	11.17	3.78	10.45	2.88	3.78	36	11.64	2.65	11.46	2.37	4.55
	9.72	1.98					11.27	2.08			
6	12.14	3.35	11.79	2.67	4.56	37	12.37	2.94	12.07	2.65	4.71
	11.43	1.98					11.77	2.36			
7	6.96	1.67	7.21	1.82	2.70	38	7.74	1.96	7.89	2.26	2.82
	7.45	1.96					8.04	2.55			
8	14.02	2.50	13.79	2.19	5.80	39	8.63	2.55	9.42	2.41	3.51
	13.55	1.88					10.21	2.26			
9	11.17	2.23	10.88	2.23	4.33	40	6.93	1.58	7.57	1.63	2.97
	10.59	2.23					8.20	1.67			
10	6.19	1.24	8.09	1.90	3.10	41	9.21	2.23	10.09	2.65	3.72
	9.99	2.55					10.96	3.07			
11	4.84	0.69	5.83	0.91	2.46	42	14.99	2.92	14.57	2.92	5.82
	6.82	1.12					14.14	2.92			
12	16.30	4.17	17.14	3.73	6.70	43	14.32	4.21	12.56	3.78	4.39
	17.97	3.29					10.80	3.34			
13	11.61	2.80	11.28	2.80	4.24	44	4.57	1.39	5.06	1.60	1.73
	10.95	2.80					5.54	1.81			
14	12.03	2.48	12.43	2.49	4.97	45	14.77	4.90	14.11	4.18	4.97
	12.83	2.50					13.45	3.46			
15	6.96	1.55	7.37	1.55	2.91	46	9.24	1.81	9.09	2.02	3.53
	7.77	1.55					8.93	2.23			
16	9.61	2.19	8.54	2.03	3.26	47	11.68	7.08	11.95	6.31	2.82
	7.46	1.86					12.22	5.54			
17	7.69	1.39	7.63	1.50	3.07	48	10.51	2.23	9.32	2.43	3.45
	7.56	1.60					8.13	2.63			
18	9.79	1.55	10.14	1.77	4.19	49	13.00	5.11	12.40	4.81	3.79
	10.48	1.98					11.79	4.51			
19	9.17	1.86	8.16	1.87	3.15	50	5.69	1.75	5.91	1.75	2.08
	7.15	1.88					6.13	1.75			
20	13.02	2.08	12.68	2.37	5.15	51	9.97	2.86	9.29	2.86	3.22
	12.33	2.66					8.61	2.86			
21	15.45	8.09	13.78	7.49	3.14	52	9.70	5.98	10.06	5.64	2.21
	12.10	6.89					10.41	5.29			
22	9.17	1.58	8.16	1.77	3.20	53	8.18	3.35	9.17	3.44	2.86
	7.15	1.96					10.15	3.53			
23	9.42	2.80	9.55	2.64	3.46	54	12.91	3.92	12.22	3.14	4.54
	9.68	2.48					11.53	2.36			
24	8.45	1.55	8.87	1.82	3.53	55	10.55	2.48	11.32	2.95	4.18
	9.28	2.08					12.08	3.42			
25	4.84	1.12	5.06	1.22	1.92	56	12.53	1.89	13.59	2.07	5.76
	5.27	1.31					14.64	2.24			
26	12.53	3.74	11.31	2.96	4.18	57	15.63	4.04	15.51	4.69	5.41
	10.08	2.17					15.38	5.33			
27	10.74	2.50	9.97	2.79	3.59	58	7.45	1.58	7.90	2.07	2.92
	9.19	3.07					8.34	2.55			
28	9.54	1.81	9.67	2.16	3.76	59	8.87	2.08	9.22	2.29	3.46
	9.79	2.50					9.56	2.50			
29	12.09	2.42	13.47	2.25	5.61	60	11.79	2.65	10.97	2.58	4.20
	14.84	2.08					10.15	2.50			
30	9.32	2.65	8.53	2.85	2.84	61	9.32	2.55	9.47	2.75	3.36
	7.74	3.05					9.62	2.94			
31	12.14	2.86	11.82	3.01	4.41	62	5.61	2.50	5.77	2.19	1.79
	11.50	3.16					5.92	1.88			

Dónde: Ancho (µm), lumen (µm), espesor (µm)

Especie: *Guadua angustifolia*

N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio
63	4.60	2.19	4.82	2.53	1.15	95	7.69	3.15	8.25	3.03	2.61
	5.04	2.86					8.81	2.90			
64	11.15	2.48	11.33	2.64	4.35	96	8.67	4.10	8.88	3.19	2.85
	11.50	2.79					9.09	2.27			
65	8.59	2.50	8.32	2.23	3.05	97	9.69	10.27	10.04	5.96	2.04
	8.05	1.96					10.39	1.64			
66	6.62	1.96	7.15	2.50	2.32	98	10.42	1.99	10.42	2.10	4.16
	7.67	3.04					10.42	2.20			
67	12.09	4.13	12.52	4.32	4.10	99	13.86	4.92	13.62	4.62	4.50
	12.94	4.51					13.38	4.31			
68	9.84	2.08	10.82	2.72	4.05	100	9.97	2.86	9.29	2.86	3.22
	11.79	3.35					8.61	2.86			
69	7.76	2.08	8.04	2.08	2.98	101	9.70	5.98	10.06	5.64	2.21
	8.31	2.08					10.41	5.29			
70	7.90	2.23	9.30	2.16	3.57	102	8.18	3.35	9.17	3.44	2.86
	10.70	2.08					10.15	3.53			
71	11.57	4.21	11.95	4.41	3.77	103	12.91	3.92	12.22	3.14	4.54
	12.33	4.60					11.53	2.36			
72	9.90	1.96	9.76	1.82	3.97	104	10.55	2.48	11.32	2.95	4.18
	9.61	1.67					12.08	3.42			
73	10.53	4.03	10.86	3.57	3.65	105	12.53	1.89	13.59	2.07	5.76
	11.19	3.11					14.64	2.24			
74	10.08	3.42	10.46	3.11	3.68	106	15.63	4.04	15.51	4.69	5.41
	10.84	2.79					15.38	5.33			
75	14.77	3.16	14.69	2.86	5.92	107	7.45	1.58	7.90	2.07	2.92
	14.60	2.55					8.34	2.55			
76	9.88	2.63	8.67	2.09	3.29	108	8.87	2.08	9.22	2.29	3.46
	7.46	1.55					9.56	2.50			
77	9.61	4.00	10.90	4.00	3.45	109	11.79	2.65	10.97	2.58	4.20
	12.18	4.00					10.15	2.50			
78	9.26	2.52	9.48	2.33	3.57	110	9.32	2.55	9.47	2.75	3.36
	9.69	2.14					9.62	2.94			
79	15.43	5.01	16.14	4.80	5.67	111	5.61	2.50	5.77	2.19	1.79
	16.84	4.58					5.92	1.88			
80	10.17	2.60	10.28	2.94	3.67	112	4.60	2.19	4.82	2.53	1.15
	10.39	3.28					5.04	2.86			
81	14.49	3.98	14.40	4.12	5.14	113	11.15	2.48	11.33	2.64	4.35
	14.30	4.26					11.50	2.79			
82	17.01	4.10	15.50	3.79	5.85	114	8.59	2.50	8.32	2.23	3.05
	13.98	3.48					8.05	1.96			
83	15.91	2.94	15.49	2.68	6.41	115	6.62	1.96	7.15	2.50	2.32
	15.07	2.41					7.67	3.04			
84	9.86	2.60	10.02	2.60	3.71	116	12.09	4.13	12.52	4.32	4.10
	10.17	2.60					12.94	4.51			
85	9.80	2.39	9.19	2.30	3.45	117	9.84	2.08	10.82	2.72	4.05
	8.58	2.20					11.79	3.35			
86	13.59	3.61	13.39	3.26	5.07	118	7.76	2.08	8.04	2.08	2.98
	13.19	2.90					8.31	2.08			
87	12.41	3.67	11.62	6.85	2.39	119	7.90	2.23	9.30	2.16	3.57
	10.83	10.03					10.70	2.08			
88	9.29	3.67	9.29	3.39	2.95	120	11.57	4.21	11.95	4.41	3.77
	9.29	3.10					12.33	4.60			
89	14.68	3.05	13.68	3.04	5.32	121	9.90	1.96	9.76	1.82	3.97
	12.67	3.03					9.61	1.67			
90	8.69	2.27	9.03	2.08	3.48	122	10.53	4.03	10.86	3.57	3.65
	9.37	1.89					11.19	3.11			
91	13.23	4.45	12.37	3.68	4.34	123	10.08	3.42	10.46	3.11	3.68
	11.50	2.91					10.84	2.79			
92	11.54	1.16	10.93	1.21	4.86	124	14.77	3.16	14.69	2.86	5.92
	10.32	1.26					14.60	2.55			
93	9.36	1.64	9.34	1.84	3.75	125	12.36	3.65	11.69	2.95	4.37
	9.32	2.03					11.01	2.25			
94	15.88	2.52	15.37	3.03	6.17	126	10.24	2.51	9.68	2.80	3.44
	14.86	3.53					9.12	3.08			

Dónde: Ancho (µm), lumen (µm), espesor (µm)

Especie: *Guadua angustifolia*

N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio
127	9.42	1.94	9.62	2.20	3.71	164	6.98	1.59	7.57	1.63	2.97
	9.82	2.46					8.16	1.66			
128	11.96	2.39	12.96	2.24	5.36	165	9.25	2.25	10.04	2.65	3.70
	13.95	2.09					10.82	3.04			
129	9.45	2.63	8.65	2.86	2.90	166	15.01	2.91	14.59	2.92	5.83
	7.85	3.08					14.16	2.93			
130	11.95	2.83	11.71	3.01	4.35	167	14.51	4.22	12.67	3.77	4.45
	11.46	3.19					10.82	3.31			
131	9.42	1.59	9.85	1.90	3.98	168	4.53	1.42	5.05	1.64	1.71
	10.28	2.21					5.57	1.85			
132	8.75	2.22	9.09	1.89	3.60	169	14.72	4.92	14.07	4.19	4.94
	9.42	1.56					13.42	3.45			
133	10.46	2.23	9.30	2.20	3.55	170	9.35	1.83	9.15	2.02	3.57
	8.13	2.16					8.95	2.21			
134	8.62	3.33	7.99	3.19	2.40	171	11.63	7.11	11.91	6.31	2.80
	7.36	3.05					12.19	5.51			
135	11.52	2.72	11.34	2.38	4.48	172	10.62	2.21	9.39	2.43	3.48
	11.16	2.03					8.16	2.65			
136	12.46	2.97	12.04	2.64	4.70	173	13.10	5.13	12.40	4.83	3.79
	11.62	2.31					11.69	4.52			
137	7.65	1.98	7.88	2.26	2.81	174	5.72	1.75	5.92	1.74	2.09
	8.11	2.53					6.11	1.73			
138	8.38	2.58	9.37	2.41	3.48	175	10.76	2.25	11.03	2.39	4.32
	10.36	2.24					11.29	2.53			
139	6.75	1.59	7.54	1.63	2.96	176	12.11	5.19	12.03	4.38	3.83
	8.32	1.66					11.95	3.56			
140	9.13	2.24	10.06	2.67	3.70	177	14.27	2.41	14.00	3.04	5.48
	10.98	3.09					13.73	3.66			
141	15.01	2.28	14.55	2.57	5.99	178	19.04	9.36	16.21	9.16	3.53
	14.09	2.85					13.38	8.95			
142	14.26	4.23	12.59	3.77	4.41	179	12.94	9.83	12.66	10.04	1.31
	10.91	3.31					12.37	10.25			
143	4.62	1.42	5.03	1.61	1.71	180	27.87	9.09	26.28	9.08	8.60
	5.43	1.79					24.68	9.07			
144	14.82	4.98	14.17	4.20	4.99	181	13.03	8.77	13.75	8.47	2.64
	13.52	3.41					14.46	8.17			
145	9.32	1.86	9.15	2.03	3.56	182	14.98	8.62	16.92	9.55	3.69
	8.97	2.19					18.86	10.47			
146	11.71	7.15	12.02	6.33	2.85	183	12.09	6.15	12.02	7.49	2.27
	12.33	5.51					11.95	8.82			
147	10.62	2.26	9.39	2.44	3.48	184	7.34	1.64	7.85	2.03	2.91
	8.16	2.61					8.36	2.42			
148	13.05	5.16	12.43	4.83	3.80	185	8.00	1.80	8.29	1.72	3.29
	11.81	4.49					8.58	1.64			
149	5.72	1.76	6.01	1.75	2.13	186	5.01	1.02	5.55	1.33	2.11
	6.29	1.73					6.09	1.64			
150	12.47	3.79	11.31	2.96	4.18	187	9.23	1.89	10.10	2.40	3.85
	10.15	2.12					10.97	2.90			
151	10.68	2.56	9.95	2.81	3.57	188	10.93	1.80	9.96	1.72	4.12
	9.21	3.05					8.98	1.64			
152	9.43	1.82	9.62	2.18	3.72	189	12.87	5.97	13.15	6.00	3.58
	9.81	2.53					13.42	6.02			
153	12.11	2.46	13.59	2.24	5.68	190	8.61	1.78	9.56	1.78	3.89
	15.07	2.01					10.51	1.78			
154	9.45	2.68	8.54	2.85	2.84	191	10.17	2.99	9.27	2.99	3.14
	7.62	3.02					8.37	2.99			
155	12.13	2.89	11.90	3.01	4.45	192	9.84	2.14	9.33	1.96	3.68
	11.67	3.12					8.81	1.78			
156	9.43	1.59	9.88	1.92	3.98	193	9.20	2.77	9.26	2.28	3.49
	10.32	2.25					9.32	1.78			
157	8.71	2.23	9.12	1.89	3.61	194	9.13	2.42	9.38	2.16	3.61
	9.52	1.55					9.63	1.89			
158	10.63	2.22	9.42	2.19	3.62	195	14.78	2.99	13.86	3.09	5.39
	8.21	2.16					12.94	3.19			
159	8.62	3.26	7.88	3.16	2.36	196	11.54	2.79	11.45	2.50	4.48
	7.13	3.05					11.35	2.20			
160	11.65	2.36	11.45	2.31	4.57	197	8.79	1.99	7.79	2.10	2.85
	11.25	2.25					6.78	2.20			
161	12.36	2.93	12.11	2.64	4.74	198	14.80	3.11	14.02	3.25	5.38
	11.85	2.34					13.23	3.39			
162	7.46	1.97	7.79	2.25	2.77	199	8.83	2.41	8.01	2.03	2.99
	8.11	2.52					7.19	1.64			
163	8.43	2.57	9.28	2.41	3.44	200	11.83	2.27	13.24	2.27	5.48
	10.13	2.25					14.64	2.27			

Dónde: Ancho (µm), lumen (µm), espesor (µm)

3. Longitud de fibra por fracción (Bauer McNett) medida en microscopio

- 30 mesh

Especie: <i>Guadua angustifolia</i> S/HT							
Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra
1	2.305	51	1.259	101	2.176	151	1.563
2	1.339	52	1.356	102	1.823	152	1.307
3	2.201	53	1.464	103	1.701	153	0.884
4	1.210	54	1.305	104	1.506	154	1.139
5	1.841	55	1.581	105	1.995	155	1.353
6	1.179	56	1.261	106	2.158	156	1.257
7	1.654	57	0.867	107	1.641	157	1.179
8	1.788	58	1.671	108	2.070	158	1.025
9	2.056	59	1.265	109	1.492	159	1.775
10	1.463	60	1.572	110	1.563	160	1.859
11	0.842	61	1.460	111	1.924	161	1.648
12	2.002	62	1.230	112	1.592	162	1.205
13	0.750	63	0.486	113	1.146	163	1.321
14	0.956	64	2.387	114	1.337	164	1.980
15	0.821	65	1.269	115	1.779	165	0.989
16	0.892	66	1.743	116	2.322	166	1.011
17	1.110	67	1.690	117	1.698	167	2.078
18	2.261	68	1.408	118	1.450	168	1.478
19	0.974	69	1.270	119	1.323	169	1.057
20	0.997	70	1.327	120	1.834	170	0.777
21	1.397	71	1.839	121	2.387	171	1.177
22	1.481	72	2.389	122	1.671	172	1.314
23	0.879	73	1.693	123	1.713	173	1.695
24	0.841	74	1.712	124	3.289	174	0.559
25	0.904	75	3.267	125	1.472	175	1.578
26	1.056	76	1.489	126	1.542	176	1.875
27	1.345	77	2.111	127	1.504	177	1.320
28	3.930	78	1.793	128	1.755	178	1.293
29	3.645	79	0.835	129	1.385	179	1.472
30	2.256	80	1.813	130	1.691	180	1.707
31	1.188	81	1.951	131	1.595	181	1.843
32	0.553	82	1.392	132	1.464	182	1.817
33	2.292	83	1.600	133	1.253	183	2.453
34	2.794	84	2.128	134	1.866	184	2.100
35	0.829	85	1.929	135	1.442	185	1.589
36	1.524	86	1.373	136	1.046	186	1.757
37	1.267	87	1.999	137	2.962	187	2.049
38	1.570	88	1.788	138	1.301	188	1.262
39	1.179	89	1.574	139	1.608	189	1.734
40	2.190	90	1.544	140	1.707	190	2.147
41	0.901	91	1.547	141	1.748	191	1.162
42	1.814	92	2.079	142	1.508	192	1.281
43	1.699	93	2.198	143	1.427	193	1.967
44	1.675	94	1.882	144	1.373	194	1.251
45	1.097	95	1.799	145	0.826	195	1.585
46	0.966	96	1.162	146	1.635	196	1.499
47	1.284	97	2.434	147	1.550	197	0.971
48	1.582	98	1.520	148	1.242	198	0.883
49	1.422	99	2.342	149	0.891	199	1.471
50	1.467	100	2.266	150	1.334	200	1.426

Dónde: Longitud de fibra (mm)

Especie: *Guadua angustifolia* C/HT

Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra
1	1.899	51	1.259	101	1.859	151	1.991
2	0.077	52	1.356	102	2.290	152	1.935
3	1.650	53	1.464	103	2.097	153	1.974
4	2.005	54	1.305	104	1.980	154	2.021
5	1.672	55	1.581	105	2.183	155	1.731
6	1.348	56	1.261	106	1.677	156	1.833
7	1.678	57	0.867	107	1.908	157	1.703
8	2.028	58	1.671	108	2.219	158	1.859
9	2.755	59	1.265	109	1.971	159	1.584
10	1.633	60	1.828	110	2.081	160	1.661
11	1.253	61	1.664	111	1.983	161	2.427
12	1.563	62	1.825	112	2.015	162	1.027
13	2.029	63	1.456	113	2.100	163	3.062
14	1.379	64	1.377	114	1.933	164	1.881
15	2.005	65	1.312	115	2.252	165	1.741
16	2.561	66	1.659	116	2.111	166	2.589
17	2.316	67	1.742	117	2.116	167	1.352
18	1.717	68	1.631	118	2.460	168	1.917
19	2.655	69	1.495	119	2.671	169	1.461
20	2.362	70	2.148	120	1.644	170	1.633
21	2.108	71	1.916	121	0.917	171	1.262
22	2.855	72	2.082	122	1.319	172	1.390
23	1.838	73	1.681	123	1.808	173	1.758
24	1.204	74	2.153	124	1.969	174	1.985
25	2.151	75	1.384	125	2.268	175	1.961
26	1.972	76	1.015	126	1.911	176	1.986
27	1.537	77	1.379	127	2.062	177	2.155
28	1.970	78	1.384	128	1.729	178	2.260
29	2.024	79	1.169	129	1.824	179	1.811
30	1.584	80	2.195	130	2.228	180	2.969
31	1.922	81	1.619	131	1.790	181	1.856
32	1.616	82	1.283	132	0.965	182	2.439
33	1.753	83	0.689	133	2.257	183	2.253
34	1.217	84	1.892	134	3.082	184	2.351
35	1.673	85	1.978	135	1.875	185	0.710
36	1.675	86	1.405	136	1.514	186	1.415
37	1.645	87	2.335	137	1.610	187	1.512
38	1.932	88	2.389	138	2.280	188	1.642
39	1.873	89	2.092	139	2.165	189	1.621
40	1.521	90	1.821	140	2.123	190	1.563
41	1.735	91	1.638	141	1.608	191	1.475
42	1.470	92	1.918	142	1.626	192	1.938
43	2.434	93	1.722	143	1.419	193	1.755
44	1.346	94	2.150	144	2.215	194	2.052
45	1.439	95	1.920	145	1.329	195	1.909
46	1.485	96	2.061	146	1.608	196	2.139
47	1.305	97	1.880	147	2.438	197	1.751
48	1.737	98	2.627	148	0.917	198	2.535
49	1.466	99	2.018	149	1.001	199	1.585
50	1.467	100	2.400	150	1.739	200	1.864

Dónde: Longitud de fibra (mm)

Especie: *Guadua trinitii* S/HT

Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra
1	1.624	51	1.372	101	2.115	151	1.274
2	1.750	52	1.812	102	1.971	152	1.037
3	1.205	53	1.833	103	1.918	153	1.141
4	2.525	54	1.736	104	1.848	154	1.578
5	2.230	55	1.800	105	1.576	155	1.325
6	1.483	56	2.237	106	1.858	156	1.455
7	1.377	57	1.515	107	1.847	157	1.423
8	1.356	58	1.173	108	1.609	158	1.366
9	1.188	59	1.448	109	1.846	159	0.930
10	1.558	60	1.555	110	1.354	160	1.068
11	1.638	61	2.069	111	1.423	161	1.302
12	1.049	62	1.811	112	1.797	162	2.275
13	1.720	63	1.873	113	1.155	163	1.644
14	1.413	64	1.341	114	1.478	164	1.439
15	1.442	65	1.788	115	1.430	165	1.638
16	1.639	66	1.590	116	1.076	166	1.779
17	1.566	67	1.135	117	1.004	167	1.126
18	1.649	68	1.366	118	1.328	168	2.214
19	1.045	69	1.204	119	1.567	169	1.534
20	1.142	70	1.145	120	1.825	170	1.386
21	1.348	71	1.591	121	2.243	171	2.314
22	1.312	72	1.056	122	1.627	172	1.748
23	1.149	73	1.373	123	1.308	173	1.217
24	1.185	74	1.152	124	1.500	174	1.593
25	1.139	75	1.647	125	1.658	175	1.049
26	1.184	76	1.515	126	1.368	176	1.025
27	1.658	77	0.886	127	1.504	177	1.910
28	2.453	78	1.161	128	1.365	178	1.736
29	2.273	79	1.193	129	1.617	179	1.409
30	1.536	80	1.064	130	1.829	180	1.618
31	1.401	81	1.717	131	2.130	181	1.150
32	1.666	82	1.470	132	1.552	182	2.233
33	1.770	83	2.122	133	1.005	183	1.652
34	1.560	84	0.764	134	1.476	184	1.299
35	1.466	85	1.716	135	1.528	185	1.928
36	1.221	86	1.626	136	1.302	186	1.384
37	2.001	87	1.712	137	1.379	187	1.423
38	1.234	88	1.607	138	1.938	188	1.068
39	0.988	89	1.256	139	1.301	189	1.277
40	1.452	90	1.546	140	1.850	190	1.700
41	1.147	91	0.759	141	1.195	191	2.041
42	1.983	92	1.549	142	1.368	192	1.274
43	2.445	93	1.926	143	1.305	193	2.103
44	1.683	94	0.801	144	0.695	194	1.713
45	1.445	95	0.788	145	1.321	195	1.223
46	1.773	96	1.563	146	1.022	196	1.265
47	1.321	97	0.943	147	1.223	197	1.359
48	1.468	98	1.265	148	1.508	198	0.959
49	1.953	99	1.597	149	1.338	199	1.460
50	1.820	100	0.551	150	1.005	200	1.615

Dónde: Longitud de fibra (mm)

Especie: *Guadua trinitii* C/HT

Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra
1	1.847	51	1.783	101	1.767	151	2.186
2	1.648	52	1.220	102	1.588	152	2.160
3	0.965	53	1.239	103	1.962	153	1.370
4	1.314	54	1.582	104	1.600	154	2.018
5	1.435	55	1.722	105	1.277	155	1.611
6	1.332	56	2.170	106	1.508	156	1.842
7	1.594	57	1.239	107	1.312	157	2.309
8	1.392	58	1.416	108	1.079	158	1.946
9	1.081	59	1.950	109	1.470	159	2.297
10	1.245	60	1.837	110	1.370	160	1.496
11	1.049	61	1.974	111	1.455	161	1.576
12	1.167	62	1.713	112	1.178	162	1.406
13	1.001	63	1.536	113	1.130	163	1.558
14	1.304	64	2.631	114	1.292	164	2.268
15	1.529	65	1.790	115	1.518	165	1.507
16	1.083	66	1.685	116	1.247	166	1.984
17	1.183	67	1.286	117	1.208	167	1.952
18	1.768	68	1.586	118	1.433	168	1.418
19	1.303	69	1.281	119	1.440	169	1.682
20	1.575	70	1.783	120	1.429	170	1.861
21	0.164	71	2.289	121	1.158	171	1.903
22	1.821	72	1.951	122	1.126	172	1.918
23	2.325	73	1.383	123	1.217	173	1.527
24	1.188	74	1.211	124	0.958	174	3.116
25	1.178	75	1.658	125	1.528	175	1.244
26	1.188	76	1.068	126	1.518	176	1.235
27	1.621	77	1.612	127	1.484	177	1.677
28	1.587	78	2.069	128	1.548	178	1.526
29	1.081	79	1.702	129	1.381	179	1.807
30	1.476	80	1.530	130	1.324	180	2.223
31	1.936	81	2.082	131	1.079	181	1.336
32	0.700	82	2.079	132	0.961	182	3.402
33	1.510	83	2.148	133	1.739	183	1.112
34	1.336	84	1.937	134	0.852	184	2.138
35	1.514	85	1.977	135	0.792	185	2.334
36	1.939	86	1.454	136	1.763	186	1.327
37	2.117	87	1.690	137	1.310	187	1.656
38	1.758	88	0.657	138	1.271	188	0.896
39	2.013	89	0.652	139	1.983	189	2.538
40	1.763	90	0.931	140	1.325	190	1.692
41	2.064	91	1.761	141	1.577	191	1.963
42	2.343	92	1.580	142	1.709	192	1.514
43	1.843	93	1.377	143	1.326	193	1.019
44	2.007	94	1.726	144	1.505	194	0.871
45	2.208	95	1.798	145	1.465	195	2.319
46	1.493	96	1.271	146	1.638	196	1.695
47	2.092	97	1.337	147	1.855	197	2.032
48	2.457	98	1.795	148	1.121	198	1.714
49	2.076	99	1.218	149	1.427	199	1.311
50	2.431	100	1.848	150	1.524	200	1.731

Dónde: Longitud de fibra (mm)

- 50 mesh

Especie: <i>Guadua angustifolia</i> S/HT				Especie: <i>Guadua angustifolia</i> C/HT			
Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra
1	0.831	51	0.690	1	1.760	51	0.927
2	0.349	52	0.800	2	2.031	52	0.776
3	0.651	53	0.708	3	1.693	53	1.046
4	0.712	54	0.697	4	1.125	54	0.607
5	0.833	55	0.959	5	1.137	55	1.279
6	1.096	56	0.649	6	1.053	56	1.438
7	0.992	57	0.715	7	1.214	57	1.318
8	0.775	58	0.924	8	0.997	58	1.603
9	0.772	59	0.855	9	0.713	59	1.292
10	0.837	60	1.106	10	0.925	60	0.720
11	1.116	61	0.854	11	1.196	61	1.132
12	0.774	62	0.914	12	1.517	62	1.996
13	0.774	63	1.030	13	1.831	63	1.771
14	0.932	64	0.981	14	1.312	64	1.919
15	1.075	65	0.843	15	0.932	65	1.316
16	1.265	66	0.703	16	1.347	66	1.182
17	1.598	67	0.627	17	1.195	67	0.997
18	1.179	68	1.032	18	1.047	68	1.151
19	0.522	69	1.184	19	1.508	69	0.898
20	0.795	70	0.928	20	1.408	70	1.474
21	0.819	71	0.583	21	0.738	71	1.344
22	1.427	72	0.659	22	1.221	72	1.651
23	1.469	73	0.648	23	1.328	73	1.120
24	0.740	74	0.823	24	1.484	74	1.847
25	0.525	75	0.817	25	1.197	75	1.559
26	0.769	76	0.808	26	0.690	76	1.407
27	0.859	77	1.054	27	1.445	77	1.789
28	0.828	78	0.355	28	1.422	78	1.544
29	0.677	79	0.400	29	1.208	79	1.266
30	1.140	80	0.960	30	1.536	80	1.288
31	1.016	81	0.866	31	1.572	81	1.777
32	1.244	82	0.477	32	0.677	82	1.364
33	0.878	83	0.735	33	0.593	83	1.111
34	0.709	84	1.094	34	0.914	84	0.932
35	0.793	85	1.132	35	1.433	85	1.336
36	0.965	86	1.502	36	1.197	86	0.713
37	0.618	87	2.504	37	1.125	87	1.311
38	0.781	88	0.984	38	1.414	88	1.004
39	0.551	89	1.122	39	1.361	89	0.692
40	0.397	90	0.758	40	0.713	90	1.006
41	0.746	91	1.648	41	1.205	91	0.927
42	0.617	92	1.808	42	0.931	92	0.776
43	0.425	93	1.611	43	1.067	93	1.046
44	0.456	94	1.354	44	1.112	94	0.607
45	0.421	95	1.082	45	0.871	95	1.152
46	0.832	96	1.420	46	0.666	96	0.947
47	0.879	97	1.412	47	0.653	97	0.893
48	0.945	98	0.976	48	0.471	98	0.865
49	0.764	99	1.007	49	0.692	99	0.847
50	0.885	100	1.218	50	1.006	100	0.621

Dónde: Longitud de fibra (mm)

Especie: <i>Guadua trinii</i> S/HT				Especie: <i>Guadua trinii</i> C/HT			
Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra
1	1.073	51	0.749	1	1.521	51	1.109
2	0.793	52	1.083	2	1.211	52	1.111
3	1.164	53	0.687	3	0.868	53	1.187
4	1.562	54	1.159	4	0.554	54	0.837
5	1.548	55	1.431	5	1.279	55	1.498
6	1.353	56	0.941	6	1.469	56	0.997
7	1.322	57	1.064	7	1.378	57	1.615
8	1.020	58	0.879	8	1.043	58	1.477
9	0.774	59	0.578	9	0.748	59	1.875
10	1.001	60	0.878	10	0.765	60	1.096
11	1.143	61	0.745	11	1.377	61	1.788
12	1.046	62	0.649	12	1.949	62	1.469
13	1.117	63	1.383	13	1.053	63	1.279
14	0.922	64	0.986	14	1.453	64	1.678
15	1.027	65	1.000	15	1.207	65	1.480
16	1.191	66	1.429	16	1.236	66	1.465
17	0.965	67	1.795	17	1.396	67	1.444
18	0.843	68	1.066	18	1.169	68	1.206
19	0.675	69	1.087	19	1.560	69	1.183
20	1.404	70	1.204	20	1.701	70	1.007
21	0.992	71	1.687	21	1.107	71	1.256
22	1.285	72	1.149	22	1.393	72	0.958
23	1.496	73	1.049	23	1.216	73	1.649
24	1.241	74	1.891	24	1.241	74	1.422
25	1.260	75	1.083	25	1.151	75	1.080
26	1.428	76	1.821	26	1.413	76	1.880
27	1.401	77	1.246	27	1.551	77	1.720
28	0.907	78	1.099	28	1.474	78	1.290
29	1.199	79	0.961	29	1.112	79	1.355
30	1.710	80	1.668	30	0.871	80	1.165
31	0.816	81	1.026	31	1.576	81	1.711
32	1.339	82	1.526	32	1.639	82	1.870
33	1.160	83	1.165	33	1.526	83	1.717
34	1.460	84	1.046	34	1.372	84	1.270
35	1.007	85	1.123	35	0.960	85	1.587
36	1.400	86	1.143	36	1.094	86	1.457
37	1.467	87	1.711	37	1.440	87	1.089
38	1.327	88	1.735	38	1.452	88	0.969
39	1.544	89	1.296	39	1.346	89	0.944
40	0.897	90	1.411	40	1.177	90	1.620
41	1.145	91	1.421	41	1.550	91	1.314
42	0.952	92	1.618	42	0.952	92	1.707
43	1.399	93	1.697	43	1.078	93	1.205
44	1.295	94	0.937	44	2.059	94	1.985
45	1.482	95	1.094	45	1.191	95	3.078
46	1.553	96	0.956	46	1.448	96	1.113
47	1.747	97	1.563	47	1.128	97	1.366
48	0.917	98	0.999	48	1.265	98	1.822
49	1.039	99	1.631	49	1.627	99	1.485
50	1.073	100	1.255	50	1.373	100	1.573

Dónde: Longitud de fibra (mm)

- 100 mesh

Especie: <i>Guadua angustifolia</i> S/HT				Especie: <i>Guadua angustifolia</i> C/HT			
Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra
1	0.940	51	0.956	1	0.954	51	0.965
2	0.852	52	1.071	2	0.867	52	0.639
3	0.590	53	0.895	3	0.840	53	0.683
4	0.845	54	0.930	4	0.986	54	0.883
5	0.662	55	1.205	5	0.686	55	1.012
6	0.821	56	1.086	6	0.528	56	0.623
7	0.760	57	1.315	7	0.704	57	0.688
8	0.692	58	0.930	8	0.958	58	0.347
9	0.365	59	0.913	9	0.811	59	0.719
10	0.539	60	1.007	10	0.638	60	0.675
11	0.893	61	0.830	11	0.704	61	0.448
12	0.775	62	0.608	12	0.770	62	0.654
13	0.618	63	1.646	13	1.249	63	0.978
14	0.957	64	1.140	14	0.937	64	1.226
15	0.975	65	0.816	15	0.919	65	0.928
16	0.925	66	1.490	16	0.942	66	0.737
17	0.791	67	0.735	17	0.773	67	0.716
18	0.694	68	0.822	18	0.712	68	0.752
19	0.709	69	0.788	19	0.809	69	0.641
20	0.745	70	0.774	20	0.695	70	0.765
21	1.047	71	0.768	21	1.073	71	1.251
22	0.577	72	1.059	22	0.844	72	0.535
23	0.619	73	0.595	23	0.987	73	0.955
24	0.452	74	0.786	24	0.841	74	0.935
25	0.475	75	0.759	25	1.228	75	0.683
26	0.818	76	0.731	26	0.641	76	0.975
27	0.681	77	1.452	27	0.771	77	0.778
28	0.483	78	0.683	28	0.727	78	0.871
29	1.263	79	0.946	29	1.024	79	0.786
30	1.009	80	0.878	30	0.955	80	0.613
31	1.230	81	0.796	31	0.899	81	1.145
32	0.801	82	0.672	32	0.704	82	0.605
33	1.184	83	0.912	33	0.610	83	0.810
34	0.826	84	1.037	34	0.818	84	0.981
35	1.175	85	0.963	35	0.933	85	0.863
36	1.378	86	1.166	36	0.838	86	1.316
37	1.072	87	0.887	37	0.970	87	0.594
38	1.011	88	0.662	38	0.730	88	0.376
39	0.850	89	1.184	39	0.642	89	0.472
40	1.339	90	0.892	40	0.630	90	0.672
41	0.893	91	0.860	41	0.714	91	0.673
42	0.894	92	0.748	42	0.479	92	0.538
43	1.018	93	0.644	43	0.797	93	0.615
44	0.973	94	1.026	44	0.772	94	0.406
45	0.861	95	0.662	45	0.670	95	0.785
46	0.584	96	0.782	46	0.726	96	0.764
47	1.289	97	0.557	47	0.695	97	0.633
48	0.982	98	0.805	48	0.550	98	0.553
49	0.990	99	0.506	49	0.930	99	0.670
50	0.700	100	0.676	50	0.834	100	0.824

Dónde: Longitud de fibra (mm)

Especie: <i>Guadua trinitii</i> S/HT				Especie: <i>Guadua trinitii</i> C/HT			
Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra
1	0.941	51	1.001	1	0.804	51	0.660
2	0.923	52	0.711	2	0.997	52	0.744
3	0.443	53	0.775	3	0.861	53	0.450
4	0.810	54	0.491	4	0.587	54	0.759
5	0.684	55	0.714	5	0.588	55	1.105
6	0.674	56	0.747	6	0.768	56	0.513
7	0.669	57	0.828	7	0.881	57	0.559
8	0.877	58	0.663	8	0.775	58	0.539
9	1.021	59	0.577	9	0.758	59	0.541
10	0.675	60	0.605	10	0.697	60	0.532
11	0.269	61	0.965	11	0.498	61	0.659
12	0.765	62	0.532	12	0.905	62	0.650
13	0.376	63	0.802	13	0.885	63	0.762
14	0.711	64	0.887	14	0.740	64	0.952
15	0.382	65	0.591	15	0.643	65	0.758
16	0.676	66	0.988	16	0.704	66	0.773
17	0.470	67	0.511	17	0.617	67	0.782
18	0.785	68	0.675	18	0.695	68	0.786
19	0.707	69	0.820	19	0.902	69	0.862
20	0.656	70	0.522	20	0.558	70	0.784
21	0.587	71	0.527	21	0.399	71	0.788
22	0.528	72	0.683	22	0.605	72	0.675
23	0.636	73	0.603	23	0.546	73	0.682
24	0.552	74	0.805	24	0.512	74	0.503
25	0.435	75	0.690	25	0.566	75	0.854
26	0.536	76	0.516	26	0.560	76	0.422
27	0.470	77	0.386	27	0.702	77	0.842
28	0.498	78	0.426	28	1.111	78	0.746
29	0.665	79	0.615	29	0.379	79	0.605
30	0.562	80	0.213	30	0.514	80	0.422
31	0.651	81	0.332	31	0.688	81	0.549
32	0.623	82	0.413	32	0.878	82	0.459
33	0.693	83	0.305	33	0.966	83	0.466
34	0.690	84	0.361	34	0.670	84	0.602
35	0.816	85	0.606	35	0.761	85	0.624
36	0.565	86	0.591	36	0.789	86	0.605
37	0.467	87	0.923	37	0.845	87	0.660
38	0.956	88	0.563	38	0.784	88	0.900
39	0.819	89	0.675	39	0.689	89	1.017
40	1.290	90	0.521	40	0.634	90	0.539
41	1.141	91	0.515	41	0.650	91	0.339
42	0.931	92	0.635	42	1.311	92	0.350
43	0.813	93	0.514	43	0.980	93	0.846
44	0.786	94	0.365	44	1.066	94	0.644
45	0.594	95	0.557	45	0.801	95	0.689
46	0.813	96	0.514	46	0.641	96	0.681
47	0.657	97	0.534	47	0.764	97	0.534
48	1.036	98	0.523	48	0.543	98	0.888
49	0.721	99	0.469	49	0.436	99	0.778
50	0.775	100	0.632	50	0.551	100	0.961

Dónde: Longitud de fibra (mm)

- 200 mesh

Especie: <i>Guadua angustifolia</i> S/HT				Especie: <i>Guadua angustifolia</i> C/HT			
Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra
1	0.391	51	0.539	1	0.531	51	0.411
2	0.404	52	0.758	2	0.501	52	0.529
3	0.500	53	0.543	3	0.719	53	0.491
4	0.749	54	0.609	4	0.490	54	0.524
5	0.753	55	0.554	5	0.731	55	0.647
6	0.708	56	0.703	6	0.607	56	0.617
7	0.460	57	0.426	7	1.057	57	0.571
8	0.519	58	0.357	8	0.521	58	0.475
9	0.722	59	0.706	9	0.371	59	0.335
10	0.601	60	0.736	10	0.730	60	0.415
11	0.697	61	0.462	11	0.658	61	0.392
12	0.638	62	0.570	12	0.300	62	0.334
13	0.657	63	0.643	13	0.444	63	0.517
14	0.694	64	0.677	14	0.436	64	0.464
15	0.271	65	0.643	15	0.368	65	0.405
16	0.406	66	0.456	16	0.384	66	0.565
17	0.608	67	0.552	17	0.360	67	0.547
18	0.525	68	0.448	18	0.484	68	0.794
19	0.425	69	0.672	19	0.376	69	0.754
20	0.548	70	0.795	20	0.503	70	0.927
21	0.598	71	0.751	21	0.327	71	0.577
22	0.606	72	0.704	22	0.665	72	0.877
23	0.700	73	0.671	23	0.292	73	0.682
24	0.761	74	0.540	24	0.448	74	0.915
25	0.583	75	0.396	25	0.404	75	0.717
26	0.710	76	0.511	26	0.497	76	0.300
27	0.522	77	0.962	27	0.365	77	0.494
28	0.496	78	0.689	28	0.324	78	0.380
29	0.562	79	0.593	29	0.376	79	0.494
30	0.396	80	0.665	30	0.360	80	0.654
31	0.424	81	0.713	31	0.779	81	0.683
32	0.468	82	0.679	32	0.887	82	0.823
33	0.368	83	0.591	33	0.619	83	0.830
34	0.340	84	0.782	34	0.855	84	0.874
35	0.518	85	0.445	35	0.539	85	0.692
36	0.479	86	0.622	36	0.300	86	0.315
37	0.484	87	0.340	37	0.487	87	0.478
38	0.659	88	0.305	38	0.684	88	0.514
39	0.544	89	0.707	39	0.268	89	0.392
40	0.649	90	0.730	40	0.592	90	0.528
41	0.515	91	0.563	41	0.607	91	0.334
42	0.442	92	0.416	42	0.369	92	0.463
43	0.416	93	0.772	43	0.507	93	0.647
44	0.540	94	0.532	44	0.373	94	0.643
45	0.509	95	0.811	45	0.443	95	0.263
46	0.637	96	0.410	46	0.601	96	0.562
47	0.629	97	0.841	47	0.339	97	0.668
48	0.775	98	0.435	48	0.694	98	0.541
49	0.514	99	0.589	49	0.207	99	0.423
50	0.304	100	0.510	50	0.336	100	0.574

Dónde: Longitud de fibra (mm)

Especie: <i>Guadua trinitii</i> S/HT				Especie: <i>Guadua trinitii</i> C/HT			
Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra	Muestra	Longitud de fibra
1	0.604	51	0.460	1	0.583	51	0.488
2	0.797	52	0.544	2	0.532	52	0.480
3	0.661	53	0.250	3	0.511	53	0.410
4	0.387	54	0.559	4	0.690	54	0.495
5	0.388	55	0.905	5	0.528	55	0.435
6	0.568	56	0.313	6	0.515	56	0.389
7	0.681	57	0.359	7	0.427	57	0.453
8	0.575	58	0.339	8	0.595	58	0.383
9	0.558	59	0.341	9	0.719	59	0.308
10	0.497	60	0.332	10	0.390	60	0.449
11	0.298	61	0.459	11	0.394	61	0.312
12	0.705	62	0.450	12	0.410	62	0.278
13	0.685	63	0.562	13	0.527	63	0.503
14	0.540	64	0.752	14	0.626	64	0.460
15	0.443	65	0.558	15	0.410	65	0.517
16	0.504	66	0.573	16	0.319	66	0.404
17	0.417	67	0.582	17	0.443	67	0.438
18	0.495	68	0.586	18	0.363	68	0.410
19	0.702	69	0.662	19	0.212	69	0.392
20	0.358	70	0.584	20	0.278	70	0.443
21	0.199	71	0.588	21	0.169	71	0.396
22	0.405	72	0.475	22	0.623	72	0.307
23	0.346	73	0.482	23	0.380	73	0.282
24	0.312	74	0.303	24	0.562	74	0.435
25	0.366	75	0.654	25	0.656	75	0.341
26	0.360	76	0.222	26	0.358	76	0.388
27	0.502	77	0.642	27	0.216	77	0.550
28	0.911	78	0.546	28	0.242	78	0.663
29	0.179	79	0.405	29	0.366	79	0.497
30	0.314	80	0.222	30	0.456	80	0.381
31	0.488	81	0.349	31	0.329	81	0.439
32	0.678	82	0.259	32	0.351	82	0.516
33	0.766	83	0.266	33	0.311	83	0.453
34	0.470	84	0.402	34	0.452	84	0.496
35	0.561	85	0.424	35	0.394	85	0.334
36	0.589	86	0.405	36	0.442	86	0.503
37	0.645	87	0.460	37	0.295	87	0.564
38	0.584	88	0.700	38	0.505	88	0.503
39	0.489	89	0.817	39	0.227	89	0.403
40	0.434	90	0.339	40	0.317	90	0.449
41	0.450	91	0.139	41	0.341	91	0.517
42	1.111	92	0.150	42	0.398	92	0.438
43	0.780	93	0.646	43	0.325	93	0.457
44	0.866	94	0.444	44	0.460	94	0.495
45	0.601	95	0.489	45	0.218	95	0.441
46	0.441	96	0.481	46	0.395	96	0.364
47	0.564	97	0.334	47	0.245	97	0.491
48	0.343	98	0.688	48	0.281	98	0.468
49	0.236	99	0.578	49	0.413	99	0.311
50	0.351	100	0.761	50	0.320	100	0.793

4. Ancho, lumen y espesor de pared de fibra por fracción (Bauer McNett) medidas en microscopio

Especie: <i>Guadua angustifolia</i> S/HT													
Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio
30	1	10.65 9.31	2.57 1.69	9.98	2.13	3.93	50	1	18.50 19.83	13.36 12.53	19.17	12.95	3.11
	2	20.06 18.77	11.62 12.70	19.42	12.16	3.63		2	21.59 21.07	17.01 17.26	21.33	17.14	2.10
	3	13.62 13.50	6.61 8.46	13.56	7.54	3.01		3	10.58 10.61	4.65 5.50	10.60	5.08	2.76
	4	11.39 12.44	7.23 7.28	11.92	7.26	2.33		4	9.34 11.07	3.81 5.50	10.21	4.66	2.78
	5	22.08 23.95	15.60 17.03	23.02	16.32	3.35		5	16.43 15.93	11.55 11.29	16.18	11.42	2.38
	6	13.60 13.60	8.47 7.20	13.60	7.84	2.88		6	8.40 9.15	5.98 6.35	8.78	6.17	1.31
	7	7.50 8.03	2.84 3.61	7.77	3.23	2.27		7	13.28 14.09	7.53 7.78	13.69	7.66	3.02
	8	13.77 18.25	9.91 8.37	16.01	9.14	3.44		8	19.30 19.41	7.90 7.28	19.36	7.59	5.88
	9	12.79 12.70	7.77 8.40	12.75	8.09	2.33		9	11.55 13.07	6.69 6.46	12.31	6.58	2.87
	10	13.17 12.27	9.28 7.87	12.72	8.58	2.07		10	11.94 13.67	6.06 7.78	12.81	6.92	2.94
	11	19.74 20.34	12.87 13.16	20.04	13.02	3.51		11	13.83 12.44	5.89 7.63	13.14	6.76	3.19
	12	13.91 12.73	7.23 7.23	13.32	7.23	3.05		12	10.97 10.84	3.41 4.31	10.91	3.86	3.52
	13	13.76 15.26	3.41 6.29	14.51	4.85	4.83		13	13.07 11.76	5.11 4.82	12.42	4.97	3.73
	14	8.05 7.20	1.69 2.99	7.63	2.34	2.64		14	6.57 7.23	2.16 2.16	6.90	2.16	2.37
	15	8.34 9.08	6.25 5.88	8.71	6.07	1.32		15	4.82 6.40	2.57 2.54	5.61	2.56	1.53
	16	18.60 19.93	11.91 12.21	19.27	12.06	3.60		16	12.95 13.97	8.21 8.46	13.46	8.34	2.56
	17	11.70 13.16	6.61 7.18	12.43	6.90	2.77		17	11.39 10.81	7.19 7.19	11.10	7.19	1.96
	18	13.96 13.11	8.88 9.77	13.54	9.33	2.11		18	14.44 14.12	7.24 9.04	14.28	8.14	3.07
	19	22.45 21.24	15.60 15.88	21.85	15.74	3.05		19	17.79 17.39	10.19 10.61	17.59	10.40	3.60
	20	17.79 17.36	11.85 12.70	17.58	12.28	2.65		20	11.51 13.97	8.57 8.46	12.74	8.52	2.11
	21	22.48 22.63	15.33 16.66	22.56	16.00	3.28		21	9.32 11.07	4.82 2.28	10.20	3.55	3.32
	22	38.53 39.33	28.63 29.96	38.93	29.30	4.82		22	13.17 11.55	7.20 7.24	12.36	7.22	2.57
	23	25.92 23.84	18.00 14.39	24.88	16.20	4.34		23	11.07 12.30	3.59 4.23	11.69	3.91	3.89
	24	28.53 27.56	23.42 22.89	28.05	23.16	2.45		24	14.68 14.47	6.94 8.72	14.58	7.83	3.37
	25	14.18 15.80	5.89 7.39	14.99	6.64	4.18		25	13.62 14.31	8.21 10.09	13.97	9.15	2.41

Dónde: Ancho (µm), lumen (µm), espesor (µm)

Especie: *Guadua angustifolia* S/HT

Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	
100	1	21.94	16.19	23.01	15.87	3.57	200	1	15.89	10.40	15.45	9.56	2.95	
		24.08	15.55						15.00	8.71				
	2	10.61	5.52	10.18	5.94	2.12		2	19.55	13.21	18.70	12.12	3.29	
		9.74	6.36						17.85	11.03				
	3	11.49	8.50	12.32	8.27	2.02		3	23.49	17.96	23.08	17.50	2.79	
		13.14	8.04						22.67	17.03				
	4	15.51	11.55	15.89	11.45	2.22		4	12.73	5.50	11.72	5.90	2.91	
		16.27	11.35						10.70	6.29				
	5	20.74	14.73	20.84	15.01	2.92		5	13.12	10.22	13.87	10.14	1.87	
		20.94	15.28						14.61	10.05				
	6	9.88	7.48	10.49	8.23	1.13		6	18.58	11.62	19.25	12.70	3.28	
		11.10	8.97						19.91	13.77				
	7	9.46	3.22	9.93	5.11	2.41		7	18.17	7.72	18.59	6.34	6.13	
		10.40	7.00						19.00	4.95				
	8	16.73	10.84	14.81	9.40	2.71		8	13.62	10.03	14.57	10.98	1.80	
		12.89	7.95						15.51	11.92				
	9	8.50	4.67	10.21	5.21	2.50		9	12.87	7.57	12.68	7.49	2.60	
		11.91	5.75						12.49	7.40				
	10	11.17	4.50	10.37	5.56	2.41		10	15.99	11.10	16.80	10.79	3.01	
		9.57	6.61						17.60	10.47				
	11	10.23	4.95	10.51	5.24	2.64		11	9.51	5.16	9.92	4.19	2.87	
		10.78	5.52						10.33	3.22				
	12	9.98	6.69	11.04	6.69	2.18		12	11.73	6.83	12.12	6.76	2.68	
		12.10	6.69						12.50	6.69				
	13	27.03	17.39	26.60	18.09	4.26		13	12.69	5.52	11.94	6.23	2.85	
	26.16	18.78					11.18	6.94						
14	11.39	5.15	10.22	5.40	2.41	14	12.50	5.30	12.79	6.12	3.33			
	9.04	5.64					13.07	6.94						
15	14.22	9.74	15.03	10.50	2.27	15	15.96	12.20	16.97	12.64	2.17			
	15.84	11.26					17.97	13.07						
16	17.72	12.02	18.55	11.31	3.62	16	18.58	8.72	17.22	10.11	3.56			
	19.38	10.60					15.86	11.49						
17	13.97	9.91	14.69	9.90	2.40	17	25.43	15.86	22.19	14.65	3.77			
	15.40	9.88					18.94	13.44						
18	13.12	9.31	13.75	9.74	2.01	18	19.11	14.22	19.77	14.89	2.44			
	14.38	10.16					20.42	15.55						
19	12.02	9.59	12.36	9.49	1.43	19	13.44	6.98	13.86	6.94	3.46			
	12.69	9.39					14.27	6.89						
20	16.50	10.19	15.66	9.77	2.95	20	13.62	6.94	13.88	5.47	4.21			
	14.81	9.34					14.14	3.99						
21	11.10	5.35	9.91	5.52	2.20	21	15.51	5.23	15.24	4.98	5.13			
	8.72	5.68					14.96	4.73						
22	16.33	8.72	15.35	8.86	3.25	22	14.61	10.40	14.73	9.68	2.53			
	14.36	8.99					14.85	8.96						
23	15.16	6.06	14.69	7.39	3.65	23	8.57	4.36	8.75	4.13	2.31			
	14.22	8.71					8.92	3.90						
24	17.35	8.68	18.27	8.11	5.08	24	10.30	7.23	10.93	7.23	1.85			
	19.18	7.53					11.55	7.23						
25	12.32	7.19	12.72	7.68	2.52	25	5.94	2.57	6.57	3.40	1.58			
	13.12	8.17					7.19	4.23						

Dónde: Ancho (µm), lumen (µm), espesor (µm)

Especie: *Guadua angustifolia* C/HT

Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio
30	1	18.37 20.06	11.24 11.94	19.22	11.59	3.81	50	1	15.28 17.44	9.98 9.74	16.36	9.86	3.25
	2	17.71 19.89	11.07 8.97	18.80	10.02	4.39		2	18.07 17.05	13.65 12.84	17.56	13.25	2.16
	3	18.01 18.50	10.46 10.57	18.26	10.52	3.87		3	16.34 14.85	9.51 8.72	15.60	9.12	3.24
	4	15.74 15.95	8.33 8.57	15.85	8.45	3.70		4	12.12 12.58	7.39 8.21	12.35	7.80	2.28
	5	13.12 13.96	8.05 9.32	13.54	8.69	2.43		5	28.50 27.19	14.44 14.48	27.85	14.46	6.69
	6	16.93 17.53	12.45 10.23	17.23	11.34	2.95		6	21.85 20.06	14.71 10.45	20.96	12.58	4.19
	7	13.95 11.39	9.13 6.57	12.67	7.85	2.41		7	11.55 11.92	5.30 7.40	11.74	6.35	2.69
	8	14.06 13.81	9.77 9.66	13.94	9.72	2.11		8	12.11 11.55	7.78 7.23	11.83	7.51	2.16
	9	22.23 20.04	14.71 14.39	21.14	14.55	3.29		9	14.27 15.80	10.37 11.24	15.04	10.81	2.12
	10	21.44 21.44	15.79 15.33	21.44	15.56	2.94		10	15.33 15.33	9.66 10.09	15.33	9.88	2.73
	11	22.21 21.94	16.05 16.21	22.08	16.13	2.97		11	13.36 15.12	7.80 8.57	14.24	8.19	3.03
	12	13.86 12.18	7.63 5.64	13.02	6.64	3.19		12	12.27 12.27	7.30 8.47	12.27	7.89	2.19
	13	19.89 19.15	12.72 14.02	19.52	13.37	3.08		13	16.33 17.95	10.33 12.20	17.14	11.27	2.94
	14	21.68 21.40	16.19 16.50	21.54	16.35	2.60		14	16.16 11.49	8.92 9.39	13.83	9.16	2.34
	15	30.88 31.52	22.93 25.38	31.20	24.16	3.52		15	13.03 14.38	5.88 5.16	13.71	5.52	4.09
	16	8.03 13.06	5.75 9.08	10.55	7.42	1.57		16	12.30 10.77	8.34 6.29	11.54	7.32	2.11
	17	8.72 9.28	4.95 8.03	9.00	6.49	1.26		17	14.19 15.51	9.51 10.92	14.85	10.22	2.32
	18	15.66 16.16	11.03 11.45	15.91	11.24	2.34		18	19.01 17.18	12.70 12.20	18.10	12.45	2.82
	19	21.44 21.44	14.36 14.68	21.44	14.52	3.46		19	9.34 9.15	4.25 5.50	9.25	4.88	2.19
	20	17.89 18.31	13.64 14.60	18.10	14.12	1.99		20	7.23 7.57	3.78 4.93	7.40	4.36	1.52
	21	19.08 18.66	13.60 11.84	18.87	12.72	3.08		21	14.77 14.01	8.57 9.29	14.39	8.93	2.73
	22	23.28 26.65	15.23 23.69	24.97	19.46	2.75		22	10.33 10.09	6.61 6.69	10.21	6.65	1.78
	23	19.72 17.22	8.51 9.74	18.47	9.13	4.67		23	8.14 6.69	3.61 4.82	7.42	4.22	1.60
	24	15.02 16.01	8.55 9.24	15.52	8.90	3.31		24	17.14 17.76	13.54 18.63	17.45	16.09	0.68
	25	22.07 18.67	12.21 13.22	20.37	12.72	3.83		25	10.29 11.13	8.05 6.47	10.71	7.26	1.73

Dónde: Ancho (µm), lumen (µm), espesor (µm)

Especie: *Guadua angustifolia* C/HT

Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio
100	1	7.77 9.46	4.95 5.35	8.62	5.15	1.73	200	1	11.03 13.38	5.35 4.42	12.21	4.89	3.66
	2	7.78 9.28	3.61 3.99	8.53	3.80	2.37		2	10.47 11.38	5.75 5.42	10.93	5.59	2.67
	3	11.55 10.09	6.82 6.94	10.82	6.88	1.97		3	15.53 16.48	9.08 9.84	16.01	9.46	3.27
	4	9.87 9.51	3.90 5.52	9.69	4.71	2.49		4	16.08 16.07	11.85 9.32	16.08	10.59	2.75
	5	8.31 10.58	3.49 4.67	9.45	4.08	2.68		5	20.22 16.76	13.13 12.80	18.49	12.97	2.76
	6	12.73 12.04	5.35 6.57	12.39	5.96	3.21		6	10.68 11.94	4.73 6.44	11.31	5.59	2.86
	7	14.44 15.25	10.65 9.74	14.85	10.20	2.33		7	15.79 15.86	11.13 9.34	15.83	10.24	2.80
	8	12.87 13.60	7.30 8.97	13.24	8.14	2.55		8	6.98 7.72	4.01 3.41	7.35	3.71	1.82
	9	14.31 14.06	7.63 9.77	14.19	8.70	2.74		9	7.77 7.20	3.30 3.90	7.49	3.60	1.94
	10	10.65 9.81	6.40 6.77	10.23	6.59	1.82		10	10.24 12.35	6.01 7.53	11.30	6.77	2.26
	11	13.95 15.86	9.96 11.49	14.91	10.73	2.09		11	7.28 7.04	4.36 2.47	7.16	3.42	1.87
	12	17.63 14.36	11.55 8.72	16.00	10.14	2.93		12	14.31 13.38	7.50 8.72	13.85	8.11	2.87
	13	25.30 25.39	17.07 15.16	25.35	16.12	4.62		13	4.65 5.08	2.57 3.38	4.87	2.98	0.95
	14	16.16 17.36	6.78 8.50	16.76	7.64	4.56		14	8.13 8.99	3.30 2.84	8.56	3.07	2.75
	15	15.80 15.52	8.72 9.54	15.66	9.13	3.27		15	7.80 8.34	4.50 4.01	8.07	4.26	1.91
	16	30.88 26.89	17.59 20.33	28.89	18.96	4.96		16	9.57 9.88	6.29 6.89	9.73	6.59	1.57
	17	7.95 8.21	4.36 5.75	8.08	5.06	1.51		17	6.57 5.23	4.42 2.68	5.90	3.55	1.18
	18	16.69 16.16	8.13 10.24	16.43	9.19	3.62		18	6.35 6.01	1.53 1.79	6.18	1.66	2.26
	19	10.23 9.04	6.06 4.82	9.64	5.44	2.10		19	7.77 9.74	4.17 3.61	8.76	3.89	2.43
	20	10.61 10.61	8.03 7.50	10.61	7.77	1.42		20	8.83 7.95	4.42 4.23	8.39	4.33	2.03
	21	10.16 7.20	5.09 2.99	8.68	4.04	2.32		21	6.06 6.47	2.12 3.49	6.27	2.81	1.73
	22	22.21 23.03	11.76 11.07	22.62	11.42	5.60		22	5.75 6.62	2.12 3.08	6.19	2.60	1.79
	23	13.62 12.89	8.68 7.20	13.26	7.94	2.66		23	6.29 7.19	2.99 3.64	6.74	3.32	1.71
	24	9.39 10.83	6.25 6.29	10.11	6.27	1.92		24	6.89 5.89	4.25 2.84	6.39	3.55	1.42
	25	9.46 11.39	7.00 7.09	10.43	7.05	1.69		25	5.94 6.06	2.96 3.08	6.00	3.02	1.49

Dónde: Ancho (µm), lumen (µm), espesor (µm)

Especie: *Guadua trinitii* S/HT

Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio
30	1	10.71 13.12	5.56 9.11	11.92	7.34	2.29	50	1	5.38 3.90	2.39 2.47	4.64	2.43	1.11
	2	10.58 11.42	7.20 6.77	11.00	6.99	2.01		2	12.03 11.39	6.36 4.25	11.71	5.31	3.20
	3	10.61 7.77	5.89 4.17	9.19	5.03	2.08		3	7.20 7.80	2.12 3.90	7.50	3.01	2.25
	4	13.06 12.49	8.71 8.34	12.78	8.53	2.13		4	10.40 10.03	7.57 6.62	10.22	7.10	1.56
	5	10.78 11.07	6.58 5.69	10.93	6.14	2.40		5	11.20 10.37	6.82 7.24	10.79	7.03	1.88
	6	11.45 13.11	7.72 9.81	12.28	8.77	1.76		6	6.83 8.17	3.61 2.68	7.50	3.15	2.18
	7	8.17 7.78	4.82 4.95	7.98	4.89	1.55		7	11.70 10.57	8.13 5.88	11.14	7.01	2.07
	8	7.80 8.46	4.19 6.29	8.13	5.24	1.45		8	10.57 10.05	7.78 6.44	10.31	7.11	1.60
	9	8.92 8.55	5.56 7.20	8.74	6.38	1.18		9	7.39 7.23	2.68 2.84	7.31	2.76	2.28
	10	6.82 8.43	3.49 3.08	7.63	3.29	2.17		10	5.89 5.30	1.89 2.28	5.60	2.09	1.76
	11	16.69 13.73	8.80 9.65	15.21	9.23	2.99		11	9.39 8.14	4.58 5.11	8.77	4.85	1.96
	12	16.99 15.72	10.17 10.40	16.36	10.29	3.04		12	11.70 11.62	3.08 3.83	11.66	3.46	4.10
	13	7.40 5.69	3.41 2.71	6.55	3.06	1.74		13	11.62 13.24	8.57 5.52	12.43	7.05	2.69
	14	13.98 12.27	6.35 6.77	13.13	6.56	3.28		14	19.37 18.74	9.65 8.57	19.06	9.11	4.97
	15	17.67 16.63	10.37 11.62	17.15	11.00	3.08		15	16.94 16.16	11.84 9.73	16.55	10.79	2.88
	16	17.07 14.73	8.37 10.19	15.90	9.28	3.31		16	12.73 8.47	3.83 2.99	10.60	3.41	3.60
	17	16.16 12.62	7.48 7.53	14.39	7.51	3.44		17	9.39 9.57	5.09 6.35	9.48	5.72	1.88
	18	16.84 15.51	11.29 10.37	16.18	10.83	2.67		18	3.90 4.82	1.27 1.89	4.36	1.58	1.39
	19	17.76 17.67	11.07 11.39	17.72	11.23	3.24		19	8.72 10.57	6.29 6.01	9.65	6.15	1.75
	20	17.36 16.45	11.37 10.78	16.91	11.08	2.92		20	10.17 10.47	5.69 6.01	10.32	5.85	2.24
	21	6.61 8.57	4.50 3.30	7.59	3.90	1.85		21	8.80 8.21	5.75 4.17	8.51	4.96	1.77
	22	19.66 17.79	14.36 10.22	18.73	12.29	3.22		22	5.56 5.15	2.57 2.28	5.36	2.43	1.47
	23	11.64 9.77	5.56 6.57	10.71	6.07	2.32		23	17.85 15.79	11.07 10.61	16.82	10.84	2.99
	24	10.45 11.24	4.01 5.89	10.85	4.95	2.95		24	14.97 12.02	7.48 6.61	13.50	7.05	3.23
	25	7.04 8.97	2.16 3.61	8.01	2.89	2.56		25	14.60 14.27	7.80 9.13	14.44	8.47	2.99

Dónde: Ancho (µm), lumen (µm), espesor (µm)

Especie: *Guadua trinii* S/HT

Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	
100	1	9.32	5.42	10.00	5.86	2.07	200	1	6.82	3.38	6.82	4.03	1.40	
		10.68	6.29						6.82	4.67				
	2	10.45	5.50	10.38	5.51	2.43		2	8.97	4.19	9.58	4.28	2.65	
		10.30	5.52						10.19	4.36				
	3	10.60	7.77	9.80	6.76	1.52		3	7.63	2.68	7.42	2.61	2.40	
		8.99	5.75						7.20	2.54				
	4	8.51	2.84	8.00	2.95	2.53		4	8.14	3.41	8.53	3.83	2.35	
		7.48	3.05						8.92	4.25				
	5	13.14	8.05	12.71	7.83	2.44		5	4.93	2.12	5.77	3.01	1.38	
		12.27	7.61						6.61	3.90				
	6	15.00	9.51	14.43	8.64	2.90		6	4.93	1.89	4.62	1.89	1.37	
		13.86	7.77						4.31	1.89				
	7	4.73	1.27	4.91	1.91	1.50		7	7.19	4.01	7.12	4.37	1.37	
		5.08	2.54						7.04	4.73				
	8	5.75	3.22	5.34	2.51	1.42		8	3.90	1.79	3.90	2.09	0.91	
		4.93	1.79						3.90	2.39				
	9	8.21	4.58	8.86	5.52	1.67		9	8.50	5.08	7.64	5.09	1.28	
		9.51	6.46						6.77	5.09				
	10	10.15	6.89	11.00	5.35	2.83		10	4.50	2.47	4.37	2.30	1.04	
		11.85	3.81						4.23	2.12				
	11	7.57	3.41	7.38	3.60	1.89		11	8.34	3.64	8.16	3.82	2.17	
		7.19	3.78						7.98	3.99				
	12	4.17	1.34	3.83	1.10	1.37		12	8.92	7.48	10.30	7.97	1.16	
		3.49	0.85						11.67	8.46				
	13	4.95	2.16	5.35	2.22	1.57		13	8.96	3.61	7.83	3.89	1.97	
5.75		2.28				6.69	4.17							
14	10.16	6.77	11.27	6.57	2.35	14	9.39	6.10	9.16	5.70	1.73			
	12.38	6.36					8.92	5.30						
15	11.17	6.62	11.01	6.19	2.41	15	12.87	5.50	12.03	5.31	3.36			
	10.84	5.75					11.18	5.11						
16	4.73	2.16	5.36	2.37	1.50	16	13.83	7.39	14.62	7.32	3.65			
	5.98	2.57					15.40	7.24						
17	13.97	3.83	13.35	2.98	5.19	17	7.39	4.17	6.93	3.89	1.52			
	12.72	2.12					6.46	3.61						
18	5.64	1.89	6.17	2.84	1.67	18	7.28	4.82	7.68	4.66	1.51			
	6.69	3.78					8.08	4.50						
19	11.00	3.90	12.79	3.95	4.42	19	9.24	4.31	8.91	4.71	2.10			
	14.57	3.99					8.57	5.11						
20	9.28	5.42	8.68	5.26	1.71	20	7.09	4.95	7.24	4.63	1.31			
	8.08	5.09					7.39	4.31						
21	11.10	6.47	12.08	6.78	2.65	21	5.52	2.96	5.94	3.17	1.39			
	13.06	7.09					6.36	3.38						
22	9.36	2.16	8.77	2.83	2.97	22	6.29	2.99	6.09	3.30	1.40			
	8.17	3.49					5.89	3.61						
23	5.09	1.53	4.80	1.96	1.42	23	11.01	5.08	11.01	5.09	2.96			
	4.50	2.39					11.00	5.09						
24	8.08	5.09	7.63	5.96	0.84	24	4.23	0.95	4.53	1.08	1.73			
	7.18	6.82					4.82	1.20						
25	10.81	2.71	10.61	3.54	3.54	25	6.29	1.89	5.99	2.37	1.81			
	10.40	4.36					5.68	2.84						

Dónde: Ancho (µm), lumen (µm), espesor (µm)

Especie: *Guadua trinii* C/HT

Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio
30	1	21.44	15.19	20.93	15.15	2.89	1	19.48	12.89	18.93	11.84	3.55	
		20.42	15.10					18.37	10.78				
	2	17.76	9.54	17.58	10.67	3.45	2	16.73	8.97	15.41	8.72	3.35	
		17.39	11.80					14.09	8.46				
	3	16.97	10.61	17.99	11.62	3.19	3	9.91	3.59	11.49	3.98	3.76	
		19.01	12.62					13.07	4.36				
	4	15.38	12.33	16.22	10.90	2.66	4	11.37	5.98	12.13	8.08	2.03	
		17.05	9.46					12.89	10.17				
	5	14.38	7.78	15.22	9.12	3.05	5	14.68	7.40	13.98	8.82	2.58	
		16.05	10.46					13.28	10.24				
	6	15.89	13.12	16.32	12.54	1.89	6	19.29	11.13	19.46	10.01	4.73	
		16.75	11.96					19.62	8.88				
	7	17.95	11.07	15.91	9.71	3.10	7	15.65	11.43	16.30	12.30	2.00	
		13.86	8.34					16.94	13.17				
	8	13.86	10.97	12.16	8.52	1.82	8	17.79	10.30	17.59	9.72	3.94	
		10.45	6.06					17.39	9.13				
	9	7.20	4.23	13.47	9.30	2.09	9	18.66	8.14	18.89	8.11	5.39	
		19.74	14.36					19.11	8.08				
	10	16.45	9.57	17.52	10.92	3.30	10	13.86	6.16	13.69	5.90	3.90	
		18.58	12.27					13.52	5.64				
	11	19.75	14.66	17.11	11.56	2.78	11	12.49	8.14	14.10	8.14	2.98	
		14.47	8.46					15.70	8.14				
	12	15.15	8.68	15.40	10.06	2.67	12	23.46	15.74	22.72	16.43	3.15	
		15.65	11.43					21.98	17.11				
	13	27.93	19.13	28.46	21.25	3.61	50	21.58	14.39	21.58	14.60	3.49	
28.98		23.36	21.57					14.81					
14	13.70	7.20	16.04	9.14	3.45	14	20.81	13.76	21.62	14.29	3.67		
	18.37	11.07					22.42	14.81					
15	19.89	8.89	20.52	10.16	5.18	15	12.75	5.50	11.77	5.74	3.01		
	21.15	11.43					10.78	5.98					
16	23.78	15.84	23.99	15.42	4.29	16	13.76	6.35	15.49	5.64	4.93		
	24.20	15.00					17.22	4.93					
17	17.47	9.34	17.01	8.91	4.05	17	16.19	8.17	15.76	7.31	4.23		
	16.55	8.47					15.33	6.44					
18	12.62	7.53	13.19	6.91	3.14	18	20.46	10.92	20.62	10.45	5.08		
	13.76	6.29					20.77	9.98					
19	11.70	8.03	11.61	8.30	1.65	19	21.40	14.31	21.74	14.39	3.68		
	11.51	8.57					22.08	14.46					
20	17.39	11.42	16.36	10.58	2.89	20	20.22	11.51	20.58	12.27	4.15		
	15.32	9.74					20.93	13.03					
21	13.65	6.40	13.86	7.44	3.21	21	19.50	7.53	19.34	7.11	6.12		
	14.06	8.47					19.18	6.69					
22	12.70	5.88	13.16	5.99	3.59	22	16.46	8.51	17.70	9.65	4.03		
	13.62	6.10					18.94	10.78					
23	15.86	11.10	14.62	9.29	2.67	23	17.79	8.57	17.51	9.02	4.25		
	13.38	7.48					17.22	9.46					
24	17.01	11.62	16.85	10.17	3.34	24	19.52	7.57	20.10	8.80	5.65		
	16.69	8.72					20.68	10.03					
25	21.94	12.44	20.81	12.15	4.33	25	15.80	4.82	15.68	4.78	5.45		
	19.68	11.85					15.55	4.73					

Dónde: Ancho (µm), lumen (µm), espesor (µm)

Especie: *Guadua trinii* C/HT

Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	Mesh	N° fibra	Ancho	Lúmen	Ancho promedio	Lumen promedio	Espesor promedio	
100	1	26.09	15.40	25.82	17.73	4.05	200	1	8.37	4.82	8.55	4.99	1.78	
		25.55	20.06						8.72	5.16				
	2	15.40	8.03	16.75	7.63	4.56		2	12.79	6.46	12.83	7.93	2.45	
		18.09	7.23						12.87	9.39				
	3	19.03	10.22	18.02	9.81	4.11		3	14.01	9.08	13.91	8.13	2.89	
		17.00	9.39						13.81	7.18				
	4	18.61	9.31	20.56	9.86	5.35		4	13.81	4.79	14.41	5.74	4.33	
		22.51	10.40						15.00	6.69				
	5	18.27	8.37	15.06	6.95	4.06		5	10.57	3.59	9.86	4.21	2.83	
		11.85	5.52						9.15	4.82				
	6	21.34	12.35	18.75	11.59	3.58		6	5.89	1.53	6.17	1.44	2.37	
		16.16	10.83						6.44	1.34				
	7	28.78	18.38	27.51	18.86	4.33		7	11.64	2.68	10.65	2.42	4.11	
		26.24	19.33						9.65	2.16				
	8	16.67	4.36	17.14	4.93	6.11		8	5.64	2.16	6.52	2.58	1.97	
		17.61	5.50						7.39	2.99				
	9	19.03	5.75	19.92	7.52	6.20		9	10.17	3.59	10.64	5.09	2.78	
		20.81	9.29						11.10	6.58				
	10	19.00	5.94	18.62	6.78	5.92		10	8.80	3.64	9.81	3.62	3.10	
		18.23	7.61						10.81	3.59				
	11	16.52	8.04	16.73	8.68	4.02		11	10.40	2.84	10.40	2.66	3.87	
		16.93	9.32						10.40	2.47				
	12	13.38	6.06	14.00	7.67	3.16		12	8.99	2.71	9.44	3.82	2.81	
		14.61	9.28						9.88	4.93				
	13	24.88	14.67	24.36	15.09	4.64		13	8.43	2.16	7.44	2.62	2.41	
	23.84	15.51					6.44	3.08						
14	21.56	14.18	22.04	14.67	3.68	14	9.29	4.36	9.29	3.99	2.65			
	22.51	15.16					9.29	3.61						
15	23.09	13.14	21.39	11.68	4.85	15	10.57	3.41	9.98	2.98	3.50			
	19.68	10.22					9.39	2.54						
16	19.53	6.36	17.52	6.47	5.53	16	8.63	3.08	8.60	2.68	2.96			
	15.51	6.57					8.57	2.28						
17	14.06	7.19	15.55	8.04	3.75	17	14.97	8.08	15.71	6.73	4.49			
	17.03	8.89					16.45	5.38						
18	18.07	10.98	18.43	11.64	3.39	18	6.82	3.41	6.35	3.32	1.52			
	18.78	12.30					5.88	3.22						
19	20.50	10.05	19.17	11.27	3.95	19	27.34	15.74	23.76	15.35	4.20			
	17.83	12.49					20.17	14.96						
20	20.20	10.46	19.67	9.75	4.96	20	17.14	12.62	18.36	11.41	3.48			
	19.13	9.04					19.57	10.19						
21	13.28	5.11	13.36	5.61	3.88	21	18.62	10.84	19.68	12.58	3.55			
	13.44	6.10					20.74	14.31						
22	11.43	7.80	11.78	7.21	2.28	22	16.78	7.80	18.58	9.44	4.57			
	12.12	6.62					20.37	11.07						
23	19.66	13.06	17.46	11.76	2.85	23	16.33	7.39	16.15	6.92	4.62			
	15.25	10.46					15.96	6.44						
24	17.77	9.77	16.11	7.46	4.32	24	16.08	9.51	15.34	7.41	3.97			
	14.44	5.15					14.59	5.30						
25	13.46	8.68	13.46	7.98	2.74	25	16.48	7.20	15.94	6.25	4.85			
	13.46	7.28					15.40	5.30						

Dónde: Ancho (µm), lumen (µm), espesor (µm)