



Estudio de los esfuerzos admisibles de compresión y corte paralelos a las fibras del bambú *Phyllostachys aurea* proveniente del municipio de Pacho Cundinamarca.

Diana Jazmín Benítez Pinzón

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Artes  
Maestría en construcción  
Bogotá D.C., Colombia  
2022

Estudio de los esfuerzos admisibles de compresión y corte paralelos a las  
fibras del bambú *Phyllostachys aurea* proveniente del municipio de  
Pacho Cundinamarca.

Diana Jazmín Benítez Pinzón

Tesis presentada como requisito para optar por el título de:  
Magister en construcción

Director.  
PhD. Arquitecto Jorge Lozano

Línea de investigación:  
Materiales para construcción

Grupo de Investigación:  
Madera y Guadua Universidad Nacional de Colombia – GIMG  
Centro de investigación de Bambú y Madera – CIBAM

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Artes  
Maestría en construcción  
Bogotá D.C., Colombia  
2022



*“La educación es el pasaporte hacia el futuro,  
el mañana pertenece a aquellos que se  
preparan para él en el día de hoy”*

*Malcom X*

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por guiarme en cada paso que he dado en todas las etapas de este trabajo para llegar con éxito hasta el final de lo propuesto.

A mi amado esposo, Yamith Hefren Rodríguez Castellanos por sus sacrificios constantes para que yo pueda ser la profesional que soy hoy, por su apoyo incondicional para que yo pudiera culminar este proyecto.

A mis hijos Isabella y Samuel Matías, por ser mi inspiración para querer ser alguien cada día mejor y poder ser un faro de luz en su camino.

Muestro mis más sinceros agradecimientos a mi director de tesis el arquitecto Jorge Enrique Lozano, quien con su conocimiento y su guía fue una pieza clave para que pudiera desarrollar este trabajo.

## Resumen

Teniendo en cuenta el gran número de especies de bambú existentes en el mundo y las investigaciones que se han ido desarrollando en cuanto a su comportamiento y sus diferentes usos en las industrias farmacéuticas, cosmética, alimentaria y la construcción (La Facultad De Química Farmacéutica et al., n.d.), podemos ver que la industria del bambú está en crecimiento y esto podría significar altos ingresos para los países que sepan encaminar y explotar sus cultivos. Dado que sus costos son bajos el bambú es un material accesible para todas las clases sociales a diferencia del acero, el cual es actualmente el material más usado a nivel estructural en el país.

En esta investigación se determinan los esfuerzos admisibles de compresión paralela a la fibra y corte paralelo a la fibra del Bambú *Phyllostachys aurea* proveniente del Municipio de Pacho, Cundinamarca, Colombia. Estudiando 12 Culmos a los cuales se les realizan ensayos físicos para determinar contenido de humedad, densidad básica y módulo de elasticidad, siguiendo los procedimientos descritos en la norma técnica colombiana NTC 5525 “Métodos de Ensayo para Determinar las Propiedades Físicas y Mecánicas de la *Guadua angustifolia kunth*” y el Código colombiano de construcción sismo resistente NSR10.

**Palabras clave:** Bambú, *Phyllostachys aurea*, esfuerzo admisible, compresión, corte.

## Abstract

### Study of the admissible compression and shear forces parallel to the fibers of *Phyllostachys aurea* bamboo from the municipality of Pacho Cundinamarca.

Taking into account the large number of bamboo species existing in the world and the research that has been developed in terms of its behavior and its different uses in the pharmaceutical, cosmetic, food and construction industries (La Facultad De Química Farmacéutica et al., s. f.) , we can see that the bamboo industry is growing and this could mean high income for countries that know how to direct and exploit their crops. Since its costs are low, bamboo is a material accessible to all social classes unlike steel, which is currently the most used material at the structural level in the country.

This research determines the permissible compressive stresses parallel to the fiber and cut parallel to the fiber of the Bamboo *Phyllostachys aurea* from the municipality of Pacho, Cundinamarca, Colombia. Studying 12 Culmos to which physical tests are carried out to determine moisture content, basic density and modulus of elasticity, following the procedures described in the Colombian technical standard NTC 5525 "Test Methods to Determine the Physical and Mechanical Properties of *Guadua angustifolia* kunth" and the Colombian Code of earthquake-resistant construction NSR10.

**Key words:** Bambú, *Phyllostachys aurea*, intakeeffort, compression, cutting.

## CONTENIDO

<b>1. Introducción .....</b>	<b>11</b>
1.1 Objetivos .....	14
Objetivo General.....	14
Objetivos Específicos.....	14
1.2 Planteamiento del problema.....	15
<b>2. Marco teórico .....</b>	<b>16</b>
El Bambú .....	16
Phyllostachys aurea.....	17
El Bambú y su papel en la construcción sostenible .....	19
<b>Estado del arte.....</b>	<b>23</b>
<b>3. Metodología .....</b>	<b>27</b>
3.1 Lugar de recolección de los Culmos de Phyllostachys aurea .....	28
3.1.1 Lugar de recolección de los culmos de Phyllostachys aurea .....	30
3.2 Identificación de culmos y probetas .....	32
<b>4. Ensayos físicos y mecánicos.....</b>	<b>37</b>
4.1 Contenido de humedad .....	37
4.2 Determinación de Densidad.....	47
4.3 Ensayo de compresión paralela a las fibras .....	56
4.4 Ensayo de Corte paralelo a las fibras .....	66
<b>5. Análisis de resultados .....</b>	<b>76</b>
<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>81</b>
<b>7. Recomendaciones .....</b>	<b>83</b>
<b>8. Referencias.....</b>	<b>85</b>
<b>9. Anexos .....</b>	<b>88</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Phyllostachys aurea</i> . A: rama florífera con pseudoespiguillas. B: rizoma. C: hoja de la caña. D: ramificación de la parte media de la caña. E-F: espiguillas. G: antecio. - libro Solución Bambú: Guía para el manejo sustentable del Género <i>Phyllostachys</i> (Peña, 2015).....	17
<b>Figura 2.</b> <i>Phyllostachys aurea</i> , rizoma leptomorfo, corredor leñoso - libro Solución Bambú: Guía para el manejo sustentable del Género <i>Phyllostachys</i> (Peña, 2015).....	18
<b>Figura 3.</b> Relación de los tres pilares de la sostenibilidad - uso del Bambú en la arquitectura contemporánea (Soler, 2017).....	19
<b>Figura 4.</b> Casa de Bambú en Bangladesh.....	22
<b>Figura 5.</b> Exportaciones de acero en Suramérica 2000 – 2009.....	25
<b>Figura 6.</b> Importaciones de acero en Suramérica 2000 – 2009.....	25
<b>Figura 7.</b> Diagrama de flujo del estudio de los esfuerzos admisibles a compresión y corte del bambú <i>Phyllostachys aurea</i> .....	27
<b>Figura 8.</b> Localización Pacho, Cundinamarca.....	28
<b>Figura 9.</b> Grafica de clima y precipitaciones Pacho-Cundinamarca.....	29
<b>Figura 10.</b> Vista del bambusario.....	30
<b>Figura 11.</b> Selección de Culmos en Bambusario.....	31
<b>Figura 12.</b> Marcación y corte de Culmos.....	31
<b>Figura 13.</b> Nomenclatura usada para la identificación de probetas.....	32
<b>Figura 14.</b> Formato de caracterización de Culmos.....	33
<b>Figura 15.</b> Análisis estadístico diámetros y espesores del Bambú <i>Phyllostachys aurea</i> .....	34
<b>Figura 16.</b> Identificación y marcación de los Culmos seleccionados.....	34
<b>Figura 17.</b> Corte de probetas con cierra circular.....	35
<b>Figura 18.</b> Identificación y protección de probetas con la nomenclatura indicada.....	35
<b>Figura 19.</b> Inmersión de probetas en agua.....	36
<b>Figura 21.</b> NSR-10/Tabla G.12.7-5- Coeficientes de modificación por contenido de humedad.....	38
<b>Figura 21.</b> NSR-10, Tabla / G.12.7-1, Esfuerzos admisibles F (MPa), CH=12%.....	38
<b>Figura 22.</b> Secuencia de elaboración de probeta, pesaje y secado.....	39
<b>Figura 23.</b> Análisis estadístico de CH para los ensayos de compresión paralela.....	45
<b>Figura 24.</b> Análisis estadístico de CH para los ensayos de corte paralelo.....	46
<b>Figura 25.</b> Análisis estadístico de CH para los ensayos de corte paralelo.....	47
<b>Figura 26.</b> Análisis estadístico densidades para los ensayos de compresión paralela.....	52
<b>Figura 27.</b> Análisis estadístico densidades para los ensayos de corte paralelo.....	55
<b>Figura 28.</b> Equipos utilizados ensayo de compresión.....	57
<b>Figura 29.</b> Preparación de probetas para ensayo de compresión paralela.....	58
<b>Figura 30.</b> Medición de longitudes y espesores de probetas para ensayo de compresión paralela.....	58
<b>Figura 31.</b> Montaje de dispositivos- ensayo compresión paralela a la fibra.....	59
<b>Figura 32.</b> NSR-10, Tabla G.12.7-3. Factores de reducción.....	61
<b>Figura 33.</b> tabla G.12.7- 5 de la NSR-10, Coeficiente de modificación por contenido de humedad (Cm).....	61
<b>Figura 34.</b> Curva esfuerzo deformación resultados de compresión paralela.....	64
<b>Figura 35.</b> Esfuerzo admisibles-Compresión paralela a la fibra.....	65
<b>Figura 36.</b> Equipos utilizados ensayo de corte.....	66
<b>Figura 37.</b> Montaje de ensayo de corte.....	67
<b>Figura 38.</b> tabla G.12.7- 5 de la NSR-10, Coeficiente de modificación por contenido de humedad (Cm).....	70
<b>Figura 39.</b> Esfuerzo admisibles-Corte paralelo a la fibra.....	75
<b>Figura 40.</b> Análisis estadístico resultados de densidades.....	76
<b>Figura 41.</b> Análisis estadístico resultados esfuerzos admisibles compresión paralela.....	77
<b>Figura 42.</b> Análisis estadístico resultados esfuerzos admisibles corte paralelo.....	78
<b>Figura 43.</b> Análisis estadístico resultados esfuerzos admisibles y corte paralelo Vs otras especies.....	79

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cantidad de probetas ensayadas por solicitud.....	37
<b>Tabla 2.</b> Resultados de contenido de humedad para compresión paralela .....	41
<b>Tabla 3.</b> Resultados de contenido de humedad para compresión paralela .....	43
<b>Tabla 4.</b> Promedios CH por parte de culmo ensayos de compresión paralela .....	45
<b>Tabla 5.</b> Promedios CH por parte de culmo ensayos de corte paralelo.....	46
<b>Tabla 6.</b> Promedios CH por parte de culmo del total de probetas, compresión y corte .....	47
<b>Tabla 7.</b> Densidades probetas ensayadas a compresión paralela.....	50
<b>Tabla 8.</b> Densidades probetas ensayadas a compresión paralela por tramo del culmo .....	52
<b>Tabla 9.</b> Densidades probetas ensayadas a corte paralelo.....	53
<b>Tabla 10.</b> Densidades probetas ensayadas a corte paralelo por tramo del culmo.....	55
<b>Tabla 11.</b> Cantidades de probetas ensayo de compresión paralela .....	56
<b>Tabla 12.</b> Resultados de esfuerzo admisible (MPa), compresión paralela a las fibras parte Inferior .....	62
<b>Tabla 13.</b> Resultados de esfuerzo admisible (MPa), compresión paralela a las fibras parte Media. ....	62
<b>Tabla 14.</b> Resultados de esfuerzo admisible (MPa), compresión paralela a las fibras parte Superior. ....	63
<b>Tabla 15.</b> Resultados de esfuerzo admisible (MPa), compresión paralela a las fibras total de probetas.....	63
<b>Tabla 16.</b> Cantidad de probetas para ensayo de corte paralelo .....	66
<b>Tabla 17.</b> Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras con nudo parte inferior .....	70
<b>Tabla 18.</b> Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras con nudo parte Media.....	71
<b>Tabla 19.</b> Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras parte Superior.....	71
<b>Tabla 20.</b> Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras Total probetas.....	72
<b>Tabla 21.</b> Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras Inferior sin nudo. ....	72
<b>Tabla 22.</b> Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras Medio sin nudo. ....	73
<b>Tabla 23.</b> Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras Superior sin nudo.....	73
<b>Tabla 24.</b> Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras Total probetas sin nudo. ....	74
<b>Tabla 25.</b> Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras Total probetas .....	74
<b>Tabla 26.</b> Comparación de esfuerzos admisibles compresión paralela .....	78
<b>Tabla 27.</b> Comparación de esfuerzos máximo a compresión paralela .....	80

## 1. Introducción

La industria de la construcción es un pilar en el desarrollo de las sociedades pues es la encargada de forma directa de la evolución de la infraestructura de vivienda, infraestructura vial, instalaciones sanitarias, entre muchos otros proyectos que tienen relación directa. Sin embargo, su responsabilidad en el desarrollo de la sociedad también se ve reflejada en el medio ambiente, ya que esta práctica es identificada como uno de los principales agentes de modificación y contaminación del planeta debido a que en su ejecución se consumen muchos recursos y así mismo se producen muchos desechos, un ejemplo de esto es que el 40% de las materias primas en el mundo, que equivalen a 3000 millones de toneladas por año, son destinadas para la construcción según el Consejo Mundial de Construcción Sostenible (World Green Building Council). En base a lo anterior es claro que los profesionales de la construcción deben desarrollar proyectos con mecanismos que sean sostenibles, es decir, que tengan un equilibrio entre el aspecto social, ecológico y económico.

Según la Organización de las Naciones Unidas -ONU por los menos 100 millones de personas en el mundo no tienen casa alguna; el número llega a 1000 millones si “aquellos con alojamientos especialmente inseguros y temporales, como intrusos, son incluidos” (Brown, 1999) y llevando esta proyección a Colombia más del 46% de colombianos se encuentran en condiciones de pobreza (Dane, 2009) que necesitan la oportunidad de tener una vivienda digna, que cumpla con ser económica, presentar un buen desempeño ambiental y permitir el acceso a los servicios públicos, educación, salud, entre otros.

Esta investigación se centra en contribuir a las problemáticas mencionadas anteriormente haciendo los análisis necesarios para determinar los esfuerzos admisibles de compresión paralela y corte paralelo a la fibra del Bambú específicamente de la especie *Phyllostachys aurea* proveniente del municipio de Pacho en el departamento de Cundinamarca, buscando

con los resultados del estudio lograr conocer su potencial como material para aportar a un desarrollo sostenible en el sector de la construcción.

Teniendo en cuenta el gran número de especies de bambú existentes en el mundo y las investigaciones que se han ido desarrollando en cuanto a su comportamiento y sus diferentes usos en las industrias farmacéuticas, cosmética, alimentaria y la construcción (La Facultad De Química Farmacéutica et al., n.d.), podemos ver que la industria del bambú está en crecimiento y esto podría significar altos ingresos para los países que sepan encaminar y explotar sus cultivos. En la actualidad Colombia ocupa el segundo lugar en diversidad de bambú en Latinoamérica, existiendo 9 géneros y 70 especies reportadas hasta el momento. Siendo la Región Andina quien posee la mayor cantidad y diversidad en población y especies arbóreas (89% de Colombia). Los departamentos de Colombia con mayor variedad de bosques de bambú son: Norte de Santander, Cundinamarca, Cauca, Valle del Cauca, Antioquia, Huila, Nariño y Quindío según un estudio realizado por la gobernación del Quindío para la secretaria de Agricultura. (De Quindío, 2020).

Esta investigación se realiza mediante un estudio basado en el método cuantitativo, ya que como lo menciona Hernández, Fernández y Baptista (Hernandez, Fernandez , & Baptista, 2014, pág. 94) se busca mediante recolección de muestras de esta especie y su posterior medición numérica y estadística, comprobar su potencial uso en el sector de la construcción; así mismo su alcance será exploratorio dado que los estudios de esta especie son pocos en Colombia (Hernandez, Fernandez , & Baptista, 2014, pág. 97).

Este estudio arrojó que El Bambú *Phyllostachys aurea* presenta un alto potencial en cuanto a sus características físicas y mecánicas para poder ser un material utilizado en el sector de la construcción, para poder llegar a esta conclusión se desarrolló la investigación de la siguiente manera:

En el capítulo 2 podemos encontrar el origen y la taxonomía del bambú *Phyllostachys aurea*, así como el estado del arte que nos otras investigaciones aplicadas al tema.

En el capítulo 3 se describe el proceso desde la consecución de los culmos hasta la preparación y corte de cada probeta para su posterior utilización en cada una de los ensayos.

En el capítulo 4 se pueden observar los resultados de todos los ensayos físicos y mecánicos poder obtener los esfuerzos admisibles del bambú *Phyllostachys aurea*, para esto se utilizaron los procedimientos descritos en la norma NTC 5525 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2007) y NSR-10. Como resultado se obtuvo, Compresión paralela a las fibras 27,69 MPa, y Corte Paralelo a las fibras de 2.33 MPa.

En el capítulo 5 se pueden encontrar los análisis de todos los ensayos realizados.

Finalizando en el capítulo 6 se encuentran las conclusiones de acuerdo a los resultados obtenidos y en el capítulo 7 una serie de recomendaciones en cuanto al estudio de esta especie.

## 1.1 Objetivos

### Objetivo General

Determinar los esfuerzos admisibles de compresión paralela y corte paralelo a las fibras del Bambú *Phyllostachys aurea*, del municipio de Pacho, Cundinamarca, mediante el análisis de resultados de las pruebas físicas y mecánicas realizadas mediante ensayos y procedimientos según la norma técnica colombiana NTC 5525 y el código colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.

### Objetivos Específicos

- Ejecutar los ensayos mecánicos a compresión paralela y corte paralelo a las fibras de los 12 Culmos del bambú *Phyllostachys aurea*, siguiendo los procedimientos indicados en la norma técnica colombiana NTC 5525 y código colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.
- Efectuar a cada una de las probetas los ensayos físicos de Contenido de humedad y densidad, teniendo en cuenta los protocolos y procedimientos descritos en la norma técnica colombiana NTC 5525 y código colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.
- Determinar el valor de esfuerzo admisible para corte paralelo ( $F_v$ ), compresión paralela ( $F_c$ ), mediante los procedimientos indicados en el código colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.
- Determinar el valor de los esfuerzos admisibles modificándolos con el factor de corrección por contenido de humedad, según los lineamientos dados por la NSR-10 para ser reportados con contenido de humedad del 12%.

## **1.2 Planteamiento del problema**

El sector de la construcción en Colombia es reconocido por su dinamismo en la economía del país debido a que en el transcurso del desarrollo de sus actividades se involucran a otras industrias, en consecuencia, en muchas ocasiones se asocia el crecimiento del sector con el desarrollo de la economía del país.

Es de recalcar que hoy por hoy el sector de la construcción necesita más de 2 toneladas de materias primas por cada m<sup>2</sup> de vivienda que se construye, debido a lo anterior la cantidad de energía asociada a la fabricación de los materiales que conforman una vivienda puede superar aproximadamente a un tercio del consumo energético de una familia durante un periodo de 50 años, lo que se traduce en una generación de residuos y materiales de demolición a más de una tonelada por habitante.

Según el Consejo Mundial de Construcción Sostenible (2008), este sector es el que tiene más potencial para reducir sus impactos negativos en el medio ambiente, ya que con pequeños cambios que no incurren en grandes costos de producción, se lograría reducir en promedio, un 30% el consumo de energía, 35% las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y hasta un 50% del consumo de agua, asimismo generar ahorros del 50% al 90% en el costo de la disposición de desechos sólidos.

## 2. Marco teórico

### El Bambú

El Bambú es un material de tradición secular, forma parte de las plantas gramíneas, pudiendo ser herbáceos o leñosos, es un recurso renovable y auto reproducible de ciclo rápido, contando con más de 70 géneros y más de 1500 especies; su principal característica es el rápido crecimiento y la gran altura que alcanza, ya que sobrepasa a la mayor cantidad de plantas. (Paula Soler Soler, 2017).

Algunas especies alcanzan su altura total entre cinco y siete meses; otras crecen hasta 1m por día y existen variedades que llegan a los 40m de altura y 40cm de diámetro, con espesores de pared de hasta 3cm. A su vez existen Bambúes pequeños con un máximo de 5cm. de altura y 1mm. de diámetro, con espesor de pared de una décima de milímetro (Morán, J. 2020). La palabra “Bambú” se puede utilizar como genérico para las diversas especies, aunque cada una de éstas posee diferentes formas y tamaños.

Por otra parte, Colombia es uno de los cinco países mega diversos del mundo, y el segundo después de Brasil con mayor diversidad de bambúes; posee 18 géneros, 105 especies y cinco variedades, siendo 24 de estas especies endémicas. (Londoño & Londoño, 2011).

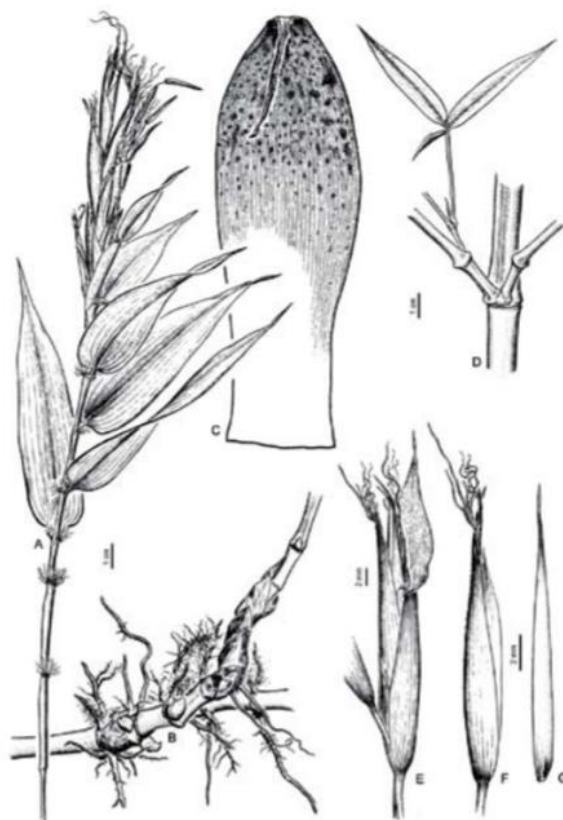
Asimismo existen especies foráneas que se han climatizado en Colombia como la *Phyllostachys aurea*, conocida como el bambú dorado de la china, esta especie forma bajo la tierra una red extremadamente fuerte y densa que en ocasiones no permite que la lluvia penetre; esta especie leptomorfo es ideal para la protección de laderas muy empinadas. (Agr Elmer Roberto López Rodríguez et al., n.d.).

## **Phyllostachys aurea**

El bambú *Phyllostachys aurea* es una especie vegetal del género de bambús *Phyllostachys*, nativa de los bosques del sudeste de la China, introducida desde hace mucho tiempo en Taiwán y Japón, en este último país se ha naturalizado. Además, se cultiva en Estados Unidos, América Central, Caribe y ampliamente en América del Sur, desde Colombia y Venezuela hasta Argentina (Peña, 2015), hace parte de los 69 bambúes herbáceos que se encuentran en la diversidad de bambúes de Colombia.

### ***Características morfológicas***

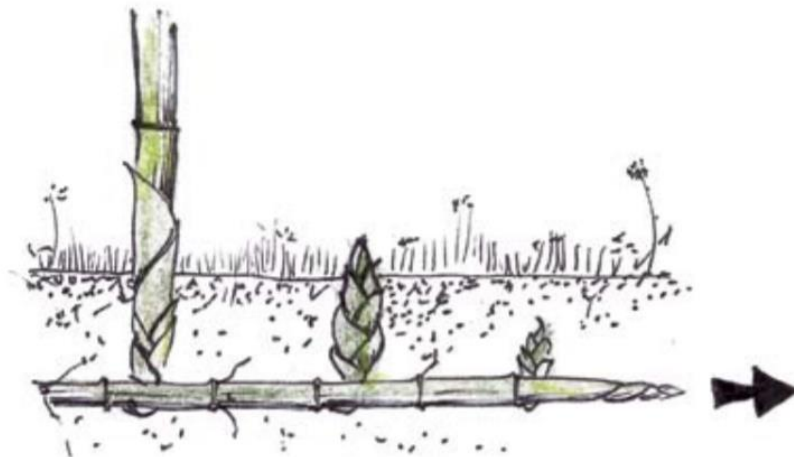
La figura 1 ilustra las partes del Bambú del género *Phyllostachys*.



**Figura 1.** *Phyllostachys aurea*. A: rama florífera con pseudoespiquillas. B: rizoma. C: hoja de la caña. D: ramificación de la parte media de la caña. E-F: espiquillas. G: antecio. - libro Solución Bambú: Guía para el manejo sustentable del Género *Phyllostachys* (Peña, 2015)

- Rizomas leptomorfos, corredores leñosos.
- Cañas erectas, subcilíndricas a obcónicas 2-4 (-8) m de altura
- Cañas con entrenudos huecos, 1-2,5(-5) cm de diámetro, amarillentas a la madurez, con numerosos nudos asimétricos aproximados en la parte basal, los superiores distanciados; entrenudos acanalados del lado de las yemas, nudos de la parte media de las cañas, abultados, con 2-3 ramificaciones que llevan hojas.
- Hojas de la caña con las vainas surcadas, con manchas marrones, glabras o con pelos aislados en la base, láminas reflexas, estrechas, lanceoladas, aurículas generalmente ausentes, fimbrias ausentes, lígulas débilmente desarrolladas, finamente ciliadas.
- Hoja del follaje pseudopeciada con láminas planas, lanceoladas, 5-16 × 1-2 cm, verde claras, al sol se tornan amarillentas. Aurículas presentes, fimbrias presentes, erectas.
- Inflorescencias formando espigas, bracteadas, profiladas, desarrollando pseudoespiguillas de 2,5-3 cm long. Glumas espatiformes foliadas en la base, seguidas de varias lemmas estériles y 3-5 antecios fértiles, los superiores estériles. Lemma de 1,6-2,8 cm long., plurinervia. Pálea biaquillada, ápice bífido. Lodículas 3. Estambres 3, anteras de 7-15 mm long., filamentos largos, péndulos. Cariopsis desconocida.

La figura 2 ilustra el tipo de rizoma leptomorfo de la *Phyllostachys aurea*.

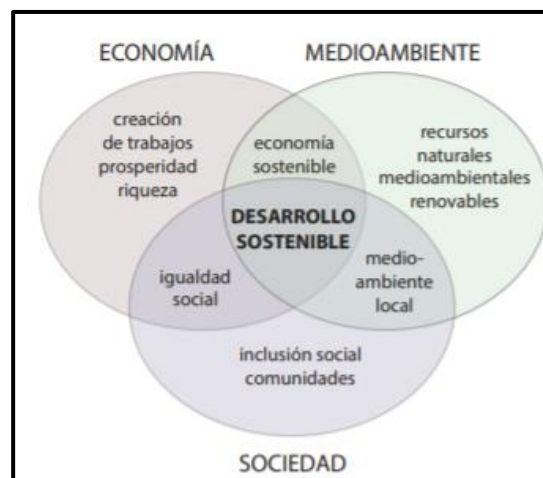


**Figura 2.** *Phyllostachys aurea*, rizoma leptomorfo, corredor leñoso - libro *Solución Bambú: Guía para el manejo sustentable del Género Phyllostachys* (Peña, 2015)

## El Bambú y su papel en la construcción sostenible

Según (Bautista Gordillo, J., Loaiza Elizalde, N., 2017), el sector de la construcción se caracteriza por la necesidad del uso de grandes cantidades de materias primas y energía. En la actualidad se necesitan más de 2 toneladas de materias primas por cada m<sup>2</sup> de vivienda que se construye en el país, por lo cual la cantidad de energía asociada a la fabricación de los materiales que conforman una vivienda puede superar aproximadamente a un tercio del consumo energético de una familia durante un periodo de 50 años, lo que traduce a la generación de residuos y materiales de demolición por más de una tonelada por habitante.

Según la información ya mencionada anteriormente, se entiende que hay una gran oportunidad de trabajar en el impacto ambiental a nivel mundial a través del sector de la construcción, puesto que a través de esta industria se puede trabajar en la reducción de las cantidades de materia y energía utilizadas en la extracción de recursos naturales, su explotación y la destrucción o el reciclaje de los residuos, con ideas como la que se busca presentar en esta investigación de obtienen actividades que logren minimizar el consumo de recursos naturales, en especial los recursos no renovables y los de renovación lenta. La figura 3 ilustra la relación de los tres pilares de la sostenibilidad.



*Figura 3. Relación de los tres pilares de la sostenibilidad - uso del Bambú en la arquitectura contemporánea (Soler,2017)*

Según el documento *Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana*, (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012), cuenta con unos criterios para considerar una construcción sostenible encontrados en el documento (de los cuales para este estudio se recalcan los siguientes:

- Uso de materiales de construcción, que involucren aspectos de disponibilidad, estética y accesibilidad, respondiendo inicialmente a las condiciones de existencia y producción local.
- Utilización de materiales y tecnologías que tengan la menor cantidad de CO<sub>2</sub> en el entero ciclo de vida, considerando las diferentes etapas: extracción de materias primas, transporte, procesos productivos, uso, reutilización, reciclaje y disposición final.
- Implementación de sistemas energéticos alternativos que disminuyan costos económicos y que eviten la generación de impactos negativos al ecosistema.

A continuación, se mencionarán los diferentes impactos que hacen del bambú un perfecto material sostenible para la industria de la construcción en Colombia y en el mundo.

### ***Impacto Ecológico***

Este recurso natural cuenta con la capacidad de capturar CO<sub>2</sub>, ya que la planta a través de su proceso fotosintético secuestra altas tasas de carbono en función a su rápido crecimiento y generación de biomasa; tiene la capacidad de capturar CO<sub>2</sub> en mayor proporción que un árbol. Es de aclarar que en el momento en el que el Bambú se descompone y muere el CO<sub>2</sub> captado se libera regresando a la atmosfera lo que demuestra la importancia de conservar el material dándole vida útil.

Por otra parte, el Bambú además evita la desertificación y erosión del suelo, ya que retiene el agua en épocas lluviosas y la usa en épocas de sequía; y sus raíces y rizomas crean una red en el subsuelo que dan resistencia a la erosión producida por escorrentías o inundaciones.

La producción de bambú es altamente viable por sus impactos económicos, en comparación con otras maderas, su rápido y natural crecimiento puede producir en un año más biomasa seca por hectárea que el eucalipto (Soler, 2017).

También tiene la capacidad de crecer en terrenos no aptos para otras especies, lo que lo convierte en una producción agrícola conveniente y muy útil. Aunque es un producto sin explotar en nuestro país y en general en los países de regiones tropicales y subtropicales es evidente que su industria cuenta con servicios ecosistémicos beneficiosos y además se convertiría con una fuente de ingresos para la población rural ya que serían los protagonistas de su producción aportando así al desarrollo de la industria local y la creación de trabajo y microempresa en el país.

Es necesario recalcar que la industria del bambú consume menos materias primas que otros materiales, lo que lo hace más viable económicamente y cuenta con la capacidad de minimizar el consumo energético durante los procesos de construcción, lo que se traduce en rebajar sustancialmente el empleo de “agua y cemento habitual” en estos procesos edificatorios.

### ***Impacto Social***

Desde la antigüedad el Bambú ha sido un material muy usado por el hombre para satisfacer necesidades en la construcción y en la decoración de ambientes. En la actualidad más de 1 billón de personas habitan en casas de bambú en el mundo, siendo en algunas partes un material de construcción significativo; ejemplos de lo anterior es Bangladesh donde el 73% de sus habitantes habita en este tipo de viviendas y la ciudad de Guayaquil donde el 50% habita en este tipo de casas. En la figura 4 se puede ver la manera en la que se puede dar uso al Bambú en vivienda.



*Figura 4. Casa de Bambú en Bangladesh*

[www.biodisol.com/desarrollo-sostenible/casa-de-bambu-en-bangladesh-flota-con-el-aumento-del-nivel-del-agua/](http://www.biodisol.com/desarrollo-sostenible/casa-de-bambu-en-bangladesh-flota-con-el-aumento-del-nivel-del-agua/)

Dado que sus costos son bajos el bambú es un material accesible para todas las clases sociales a diferencia del acero, el cual es actualmente el material más usado a nivel estructural en el país. Por tal razón la producción de bambú ayuda a la población rural que a su vez hace parte de la población mundial con menos recursos a solventar sus necesidades, encontrando una fuente de trabajo lo que se entiende como un apoyo a la desertificación poblacional, es decir, evita que las poblaciones rurales migren a las ciudades debido a que su trabajo se fija en el campo.

## Estado del arte

En la actualidad los profesionales se enfrentan al reto de innovar y crear nuevos métodos de desarrollo para la industria que sean sostenibles, es decir, métodos que generen el mayor aprovechamiento de materiales y energía, y que además minimicen o eliminen la presencia de residuos y desechos.

Para la sociedad en general es muy importante que desde la parte académica se formen profesionales conscientes de la importancia de abordar las problemáticas medioambientales desde la perspectiva de la sustentabilidad, es por esto que la facultad de artes de la universidad nacional desde su laboratorio de maderas en su sede Bogotá, se ha propuesto desarrollar investigaciones sobre materiales que se pueden implementar en el sector de la construcción obteniendo alternativas que generen menores impactos al medio ambiente, y el bambú *Phyllostachys aurea* puede ser una de esas alternativas.

Por otro lado, el acero ha sido protagonista en la industria de la construcción en Colombia por mucho tiempo, es usado desde la construcción de andenes hasta las grandes construcciones de puentes o rascacielos. Es por esto que es importante analizar que para Colombia debido a la baja producción del material la importación es muy costosa y que solo en el primer trimestre de 2021, se han importado 117.41 millones de kg, correspondientes a US\$213,81 millones CIF según datos del SISDUAN (*¿Cuál Es El Panorama de La Importación de Acero En Colombia? - SICEX - Investigación de Mercados, 2021*).

Debido a lo mencionado nace la intención de realizar la presente investigación para analizar las propiedades estructurales y sus posibles aplicaciones arquitectónicas. que hacen del bambú *Phyllostachys aurea* una alternativa de construcción sostenible.

El bambú *Phyllostachys aurea* entra como una propuesta estructural para poder remplazar varias prestaciones de hoy en día del acero, material que ha sido utilizado por mucho tiempo

en la construcción debido a que ofrece grandes ventajas como su alta resistencia mecánica y reducido peso propio, la rapidez de ejecución o también su buena resistencia al choque y actividades dinámicas como los sismos, entre muchas otras. Sin embargo, en datos obtenidos por el estudio “Reflexión sobre la industria del acero en el mercado globalizado” (L, Camacho Carvajal, 2011), Colombia se caracteriza por ser importador de acero junto a Perú y Ecuador, mientras que países como Brasil, Argentina y Venezuela son principales exportadores.

En relación con Estudio de los esfuerzos admisibles de compresión y corte paralelos a las fibras del bambú *Phyllostachys aurea* proveniente del municipio de Pacho Cundinamarca. se deben nombrar algunas de las investigaciones y trabajos más relevantes en este tema tanto en Colombia como en otros países.

Por otra parte, existen pocos estudios que demuestran que se pueden obtener provecho de esta especie como material estructural, uno de ellos es el estudio plasmado en el libro *Solución Bambú: Guía para el manejo sustentable del Género Phyllostachys* (Peña, 2015) donde se realizó una investigación en la que se utilizaron barras de bambú *Phyllostachys aurea* como material para columnas, vigas y cubiertas.

En el 2020, se determinó el trabajo de investigación denominado “*Phyllostachys aurea en estructuras ligeras. Estudio de caso: cubierta de flexión inactiva para espacio público urbano*” realizada por Nathaly Caiza Guanotuña de la Universidad Central del Ecuador en Quito. Donde se presentan la resistencia ante diferentes esfuerzos (compresión, tracción, corte, flexión) a partir de resultados obtenidos en laboratorio donde los resultados promedio para compresión fueron 25 MPa, 91,32 MPa para tracción y 54.69 MPa para Flexión.

En el 2002, se realiza una investigación en Brasil para determinar las propiedades de ingeniería de la *Phyllostachys aurea*, "*Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie phyllostachys aurea: comportamento à flambagem.*" donde se analiza como sus imperfecciones geométricas inciden en sus propiedades mecánicas y donde los resultados arrojados en cuanto a resistencia a compresión fueron de 79,86 MPa . (LISSETTE SANCHEZ CRUZ, 2002)

Por consecuencia y gracias a los pocos estudios, dirigidos a la caracterización mecánica y física de la especie *Phyllostachys aurea*, actualmente el uso de esta especie en nuestro país y en Latinoamérica se restringe a la fabricación de muebles y artesanías, siendo así una evidencia del desconocimiento del mismo como material para ser utilizado como elemento estructural debido a la falta de investigaciones y experimentación que demuestren sus características y propiedades físicas y mecánicas. En la figura 5 se pueden ver los datos de exportaciones de acero en sur América entre en periodo del año 2000 a 2009. Así mismo en la figura 6 se poder observar los datos de importaciones de acero a sur América entre en periodo del año 2000 a 2009.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Argentina	1856	2105	2556	2173	1676	1919	1473	1411	1277	1193
Brasil	9565	9260	11651	12941	12006	12535	12626	10414	9152	8607
Chile	113	45	111	128	98	86	105	142	77	104
Colombia	105	153	140	99	135	172	165	245	273	196
Paraguay	23	22	20	43	26	25	26	48	42	11
Perú	93	117	92	93	98	117	125	107	113	114
Uruguay	12	13	13	18	13	24	20	32	39	31
Venezuela	1634	1792	2398	1605	1902	2484	1542	1369	780	770
South America	13400	13508	16981	17101	15955	17362	16082	13768	11753	11026

**Figura 5.** Exportaciones de acero en Suramérica 2000 – 2009  
Steel Statistical Yearbook 2010

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Argentina	725	831	366	485	741	815	898	1057	1253	671
Bolivia	163	163	190	183	210	261	206	282	333	300
Brasil	943	1068	670	550	559	780	1912	1636	2561	2357
Chile	647	719	732	736	791	833	1040	1026	1588	678
Colombia	1106	886	781	996	1221	1325	1668	1996	2006	1606
Ecuador	450	752	498	368	458	753	1125	1125	1044	696
Paraguay	85	71	75	75	80	80	110	141	168	110
Perú	370	400	687	491	395	548	928	1049	1366	996
Uruguay	114	110	80	80	80	80	151	125	147	102
Venezuela	647	849	445	1422	123	436	530	668	596	417
South America	5250	5849	4523	5387	4658	5911	8568	9103	11063	7933

**Figura 6.** Importaciones de acero en Suramérica 2000 – 2009  
Steel Statistical Yearbook 2010

Teniendo en cuenta lo anterior, y sabiendo que la especie *Phyllostachys aurea* no se encuentra normalizada en nuestro país, esta investigación se basara en la norma NTC 5525

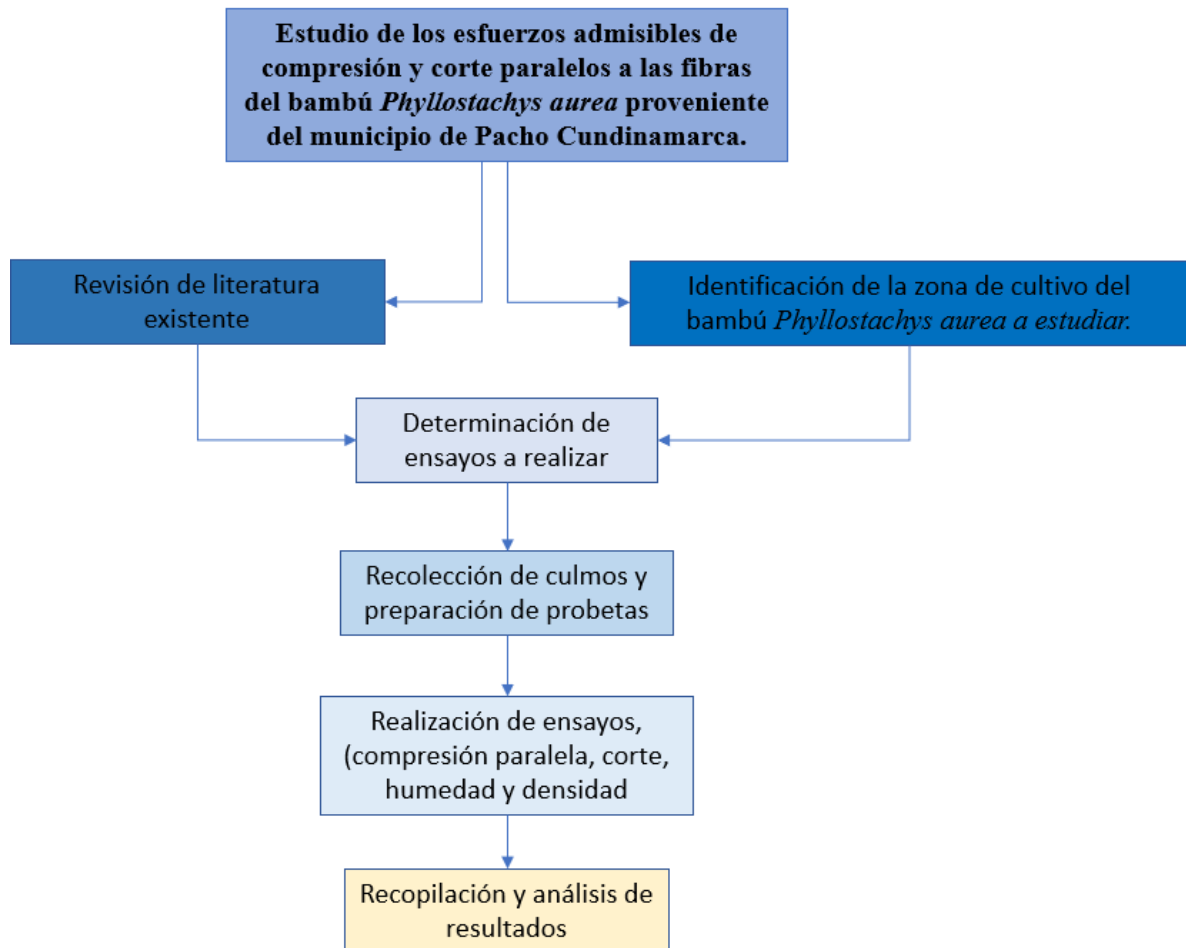
(Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua *angustifolia* kunth) y la NSR-10 Título G-12 “diseño de elementos estructurales de Guadua *angustifolia* Kunth.” para el desarrollo de este estudio.

De la misma manera se tendrá en cuenta la tesis “Determinación de los valores de esfuerzos admisibles del bambú *Guadua angustifolia* Kunth del departamento de Tolima, Colombia” (Leonardo & Pinilla, 2013).y de la cual podemos hacer comparación con los resultados de esfuerzos admisibles.

En 2018 Fabian Álvarez, culmina el título denominado “Caracterización de las propiedades físicas y mecánicas delo bambú *Bambusa Vulgaris* para uso estructural en Colombia” de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, en donde se presentan los resultados obtenidos de los valores de los esfuerzos admisibles, módulo de elasticidad, así como el contenido de humedad y densidad. del bambú *Bambusa Vulgaris* del municipio de la Mesa Cundinamarca.

### 3. Metodología

En este Capítulo se hace el recuento de las actividades y el proceso que se realizó en el trabajo de campo, tanto en la recolección de muestras como en el aprovechamiento del material (selección, rotulado, corte de los Culmos, disposición final en el laboratorio de la Universidad Nacional en la ciudad de Bogotá), culminando con la obtención de probetas. En la figura 7 se presenta un diagrama de flujo que representa los distintos procesos del este estudio.



**Figura 7.** Diagrama de flujo del estudio de los esfuerzos admisibles a compresión y corte del bambú *Phyllostachys aurea*

### 3.1 Lugar de recolección de los Culmos de *Phyllostachys aurea*

El lugar de suministro del bambú *Phyllostachys aurea*, fue la finca Estación Bambusa, ubicada en la Vereda Bermejál en el Km 8 vía Pacho - Villagómez, del municipio de Pacho en el departamento de Cundinamarca, Colombia.

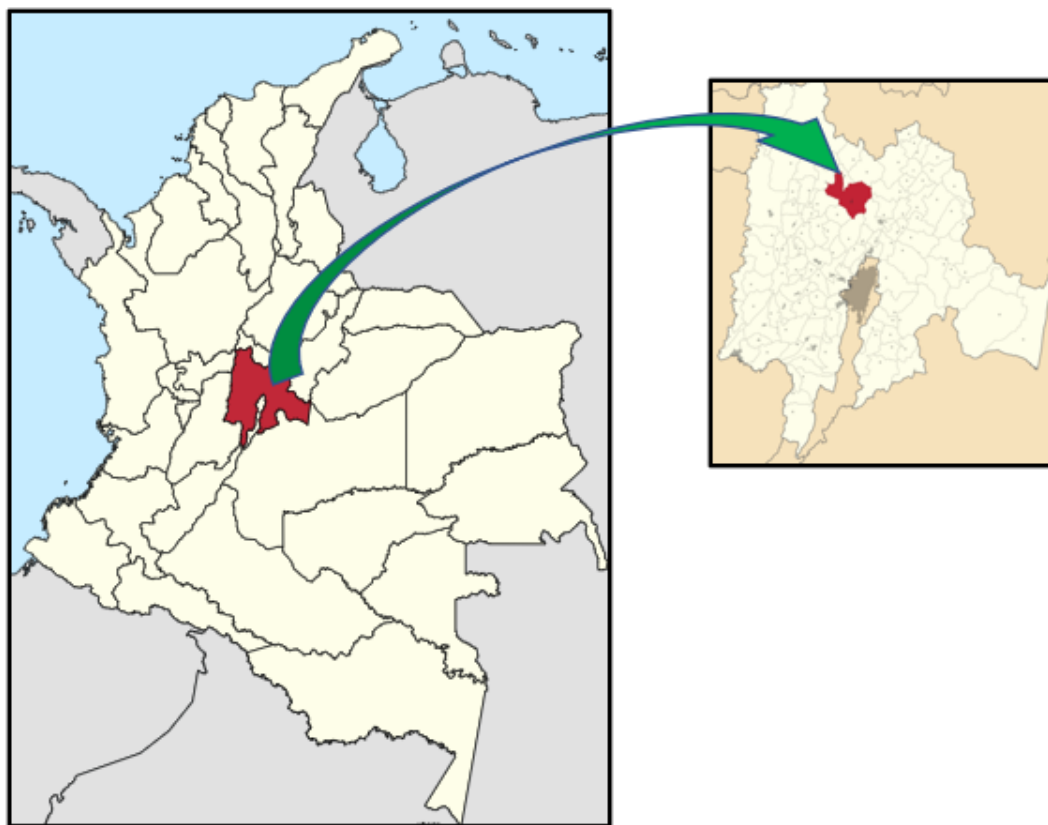
Las coordenadas geográficas, las cuales se referenciaron con GPS se tomaron desde el cultivo de donde provienen los 12 Culmos, las coordenadas son las siguientes:

N 5° 10' 56''

O 74° 11' 43''

Altura 1370 m.s.n.m.

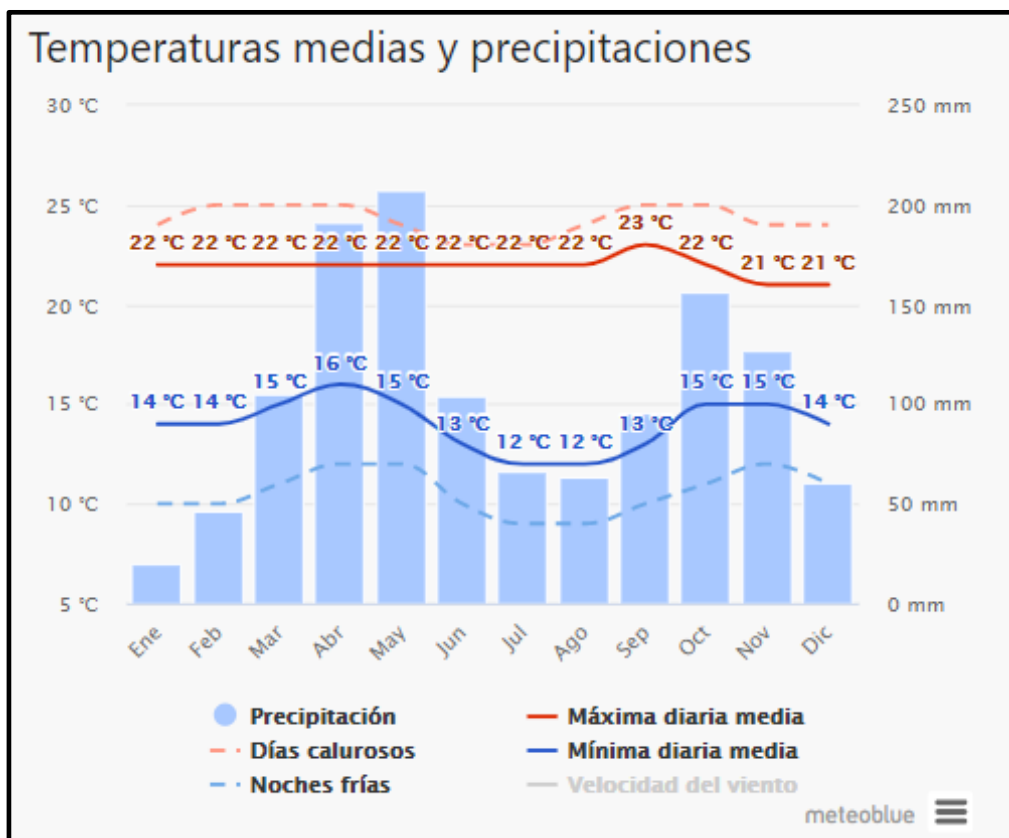
La figura 8 muestra la localización geográfica del municipio de Pacho-Cundinamarca.



**Figura 8.** Localización Pacho, Cundinamarca.

[es.wikipedia.org/wiki/Pacho#/media/Archivo:Colombia\\_-\\_Cundinamarca\\_-\\_Pacho.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Pacho#/media/Archivo:Colombia_-_Cundinamarca_-_Pacho.svg)

El municipio de Pacho cuenta con un clima cálido ecuatorial y suele ser (muy) caluroso, húmedo y lluvioso durante todo el año. Cuenta con una temperatura; Máxima 27.6°C / Media 22.9°C y Mínima 11.7°C (*Información General - Alcaldía Municipal de Pacho Cundinamarca*, n.d.). precipitación media anual es 1216 mm. No llueve durante 38 días por año, la humedad media es del 83% y el Índice UV es 4. La figura 9 ilustra las estadísticas en cuanto a las precipitaciones y temperaturas durante el año en Pancho, Cundinamarca.



**Figura 9.** Grafica de clima y precipitaciones Pacho-Cundinamarca.

[https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/pacho\\_colombia\\_3673424](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/pacho_colombia_3673424)

El bambusal se encuentra en la parte baja de la finca, cerca de una quebrada, hace parte de una finca destinada al cultivo de especies aromáticas sin el uso de elementos químicos, lo cual hace que el bambusal no se encuentre afectado por agentes químicos. La figura 10 muestra el bambusal de donde se seleccionaron los 12 culmos para ser aprovechados.



**Figura 10.** Vista del bambusario

### **3.1.1 Lugar de recolección de los culmos de *Phyllostachys aurea***

La selección de culmos del bambú se hizo con el apoyo del capataz de la finca Estación Bambusa, se seleccionó mediante una inspección visual, con el fin de seleccionar los culmos más sanos sin deformaciones, fisuras o presencia de insectos, además que tuvieran la edad apropiada (Culmos maduros) siguiendo los parámetros de clasificación visual estipulados en NTC 5525 y NSR10. La figura 11 ilustra el proceso de selección de los culmos en el bambusal.



*Figura 11. Selección de Culmos en Bambusario.*

Posterior a la selección de los doce culmos, se procedió a marcar cada uno, así como el lugar de corte, tres entrenudos a partir de la unión entre el rizoma y el culmo para garantizar un nuevo rebrote. Inmediatamente se miden los diámetros y longitud del culmo cortado. La figura 12 muestra el corte de 12 culmos seleccionados.



*Figura 12. Marcación y corte de Culmos.*

Ya con los culmos derribados, con una longitud mínima de 4.5 metros, se procede a enumerarlos y marcarlos, consecutivamente cada uno se divide en 3 partes de la siguiente manera: una parte inferior o basal con una medida de 1,5 metros, la segunda parte se

denominó media con 1.5 metros y la parte superior con 1.5 metros de largo.

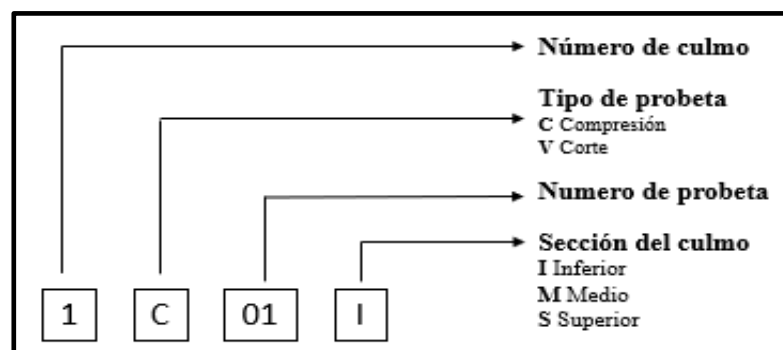
Una vez se tienen las treinta y seis partes cortadas y debidamente marcadas de los doce culmos, se procede a transportarlos a una bodega en el municipio de Funza Cundinamarca, donde se procede a realizar la caracterización de cada parte del culmo (parte inferior, parte media y parte superior). Lo anterior se realiza con el fin de elaborar los esquemas de corte de las probetas, donde se establece la ubicación exacta de cada una de las muestras a utilizar en los ensayos de resistencia mecánica. Este procedimiento se ha seguido en múltiples investigaciones del grupo de investigación madera y guadua de la universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, entre ellas se encuentra la tesis “ Determinación de los valores de esfuerzos admisibles del bambú *Guadua angustifolia Kunth* del departamento de Tolima, Colombia” (Leonardo & Pinilla, 2013). desarrollada por Cesar Leonardo Ardila Pinilla, cuyo director es el M.Sc. Jorge Enrique Lozano Peña.

El procedimiento realizado se describe a continuación:

### 3.2 Identificación de culmos y probetas

En primer lugar, se debe establecer la nomenclatura que se va a utilizar para el marcado de cada probeta, en este caso la nomenclatura a utilizar fue la siguiente:

La figura 13 ilustra la nomenclatura utilizada para marcar cada una de las probetas.



*Figura 13. Nomenclatura usada para la identificación de probetas*

Una vez seleccionada la nomenclatura para marcar cada una de las probetas se realiza la identificación de cada una de las partes de los Culmos, en este caso se realizó de la siguiente manera; Inferior (I), media (M) y superior (S), esta identificación debe quedar registrada en los formatos de caracterización por cada culmo. La figura 14 ilustra el formato de caracterización utilizado la identificación de las probetas en cada parte de los culmos.

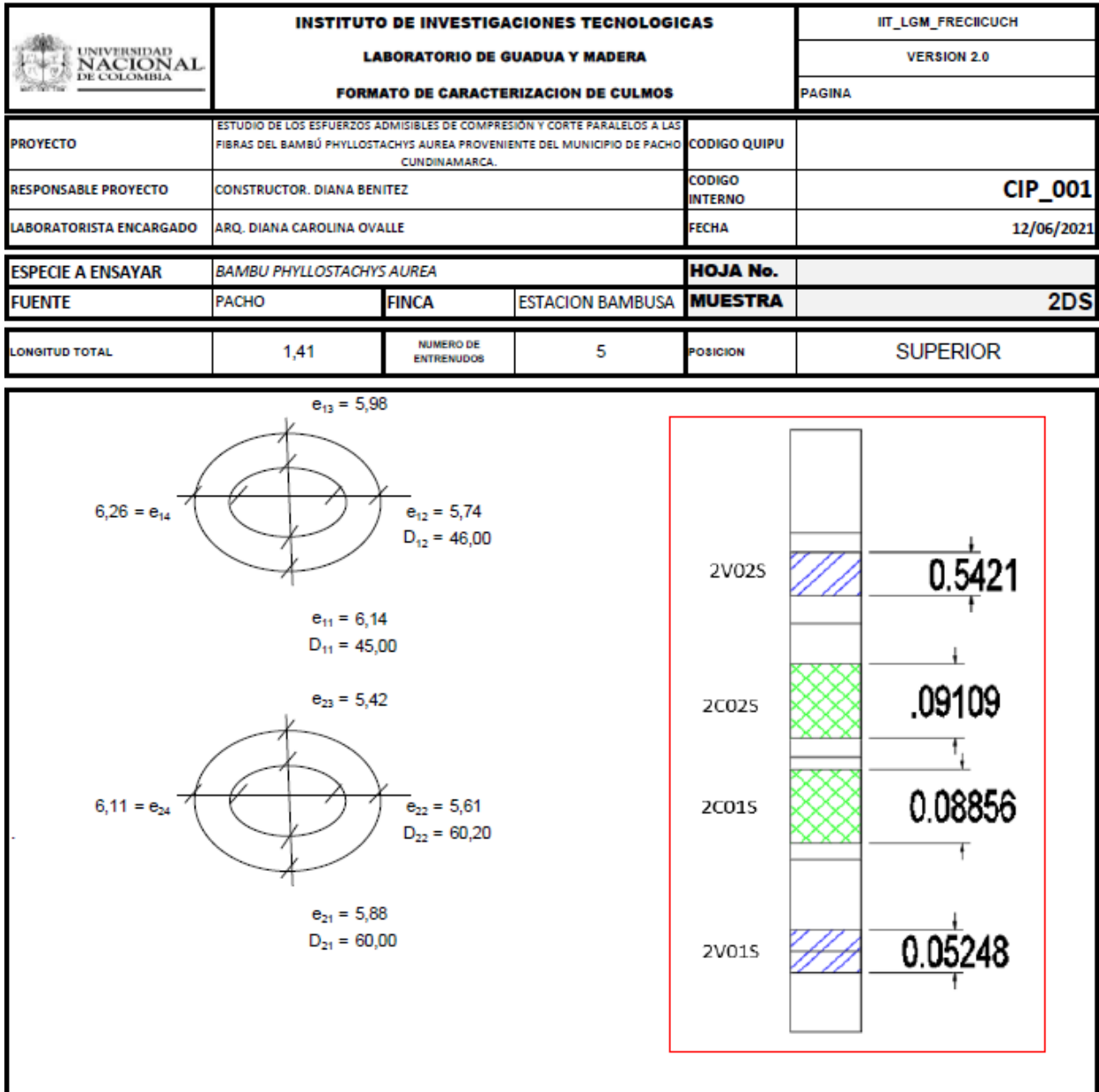
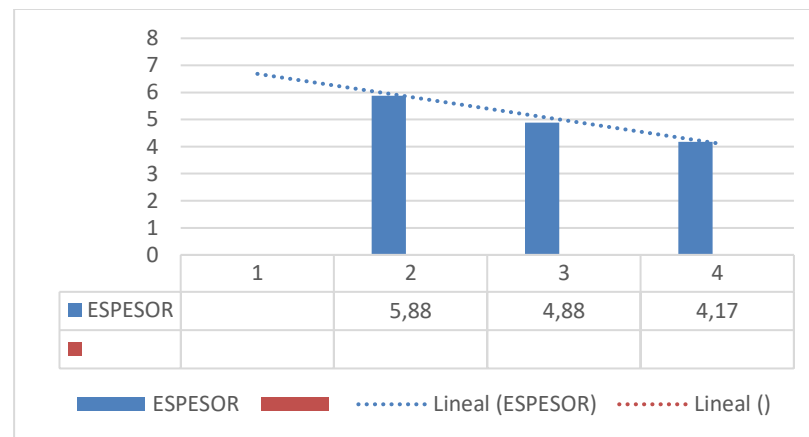


Figura 14. Formato de caracterización de Culmos .

- El bambú *Phyllostachys aurea* del municipio de Pacho, Cundinamarca, utilizado en esta investigación tiene un diámetro exterior promedio de 43.21 mm en la parte inferior, 41.65 mm en la parte media y 37.26 mm en la parte superior.

En cuanto al espesor promedio de la parte inferior tiene 5.88 mm, parte media 4.88 mm y parte superior 4.17 mm.

Como se puede apreciar en la figura 15, en la que se puede apreciar la tendencia en la disminución tanto de diámetro como en espesor a medida que el culmo va creciendo en altura.



**Figura 15.** Análisis estadístico diámetros y espesores del Bambú *Phyllostachys aurea*.

Aclarando lo anterior se procede con las siguientes etapas:

Marcación probetas con la nomenclatura establecida.

Medición de los cuatro espesores en cada sección transversal, en los mismos puntos donde se midieron los diámetros con anterioridad.

La figura 16 muestra el marcado e identificación de las probetas en cada culmo



**Figura 16.** Identificación y marcación de los Culmos seleccionados.

Se procede a cortar las probetas con una sierra circular, Las probetas de corte y compresión paralela a la fibra pasan por un proceso de afinado en cada extremo, para garantizar un ángulo recto respecto a su longitud.

La figura 17 muestra el proceso de corte y preparación de cada probeta.



*Figura 17. Corte de probetas con sierra circular*

Una vez cortadas y afinadas las probetas se procedió a marcarlas nuevamente con rótulos impresos y protegidos con plástico para evitar que la identificación se borre cuando las probetas se sumerjan en agua. La figura 18 muestra el rotulado de cada probeta con la nomenclatura indicada y la protección del rotulado con plástico.



*Figura 18. Identificación y protección de probetas con la nomenclatura indicada.*

Todas las probetas son sumergidas en agua por un periodo mínimo de dos semanas antes de cada ensayo, con el objetivo de garantizar que estén saturadas, siendo esta la condición más crítica teniendo en cuenta que a mayor contenido de humedad se reduce la resistencia del material. La figura 19 ilustra como se sumergieron en agua las probetas.



*Figura 19. Inmersión de probetas en agua*

## 4. Ensayos físicos y mecánicos

Se realizaron ensayos de compresión paralela y corte paralelo siguiendo los parámetros establecidos para los ensayos en la Norma Técnica Colombiana NTC 5525 fueron realizados en la máquina universal para ensayos mecánicos de capacidad de 20 toneladas marca HUNG TA INSTRUMENT GO. LTD. Modelo 2010 ubicada en el laboratorio de maderas, bajo una velocidad constante de 0.01 mm/s.

En la tabla 1 se relaciona la cantidad total de probetas ensayadas por tipo de sollicitación.

*Tabla 1. Cantidad de probetas ensayadas por sollicitación.*

Ubicación en el culmo	Compresión II	Corte
Inferior (Cepa)	24	24
Media (Basa)	24	24
Superior (Sobre basa)	24	24

### 4.1 Contenido de humedad

Una vez culminado cada uno de los ensayos mencionados anteriormente, se procedió a determinar el contenido de humedad siguiendo nuevamente el procedimiento establecido en la NTC 5525; estas probetas fueron obtenidas de porciones cercanas al lugar de la falla de cada probeta principal.

Debido a que es un material natural, su resistencia ante diferentes sollicitaciones es afectada inversamente proporcional al contenido de humedad del material, lo que quiere decir que a mayor humedad menor resistencia mecánica. Con el objetivo de determinar el contenido de humedad de las diferentes probetas ensayadas se siguieron los lineamientos establecidos en la NTC 5525, mediante el pesaje de estas y la pérdida de masa de las diferentes probetas de ensayo durante el secado hasta tener masa constante.

El equipo usado durante la realización del ensayo se relaciona a continuación:

- Balanza, con una exactitud de 0,01 g.
- Horno eléctrico, con la capacidad de secar el Bambú hasta obtener una condición absolutamente seca.
- Recipiente desecador, el cual garantizó la retención de humedad en la probeta.

En la figura 19 se relaciona la tabla G.12.7-5 de la NSR-10 donde se observa que para el CH menor o igual al 12% el coeficiente de modificación por contenido de humedad ( $C_m$ ) es 1; o, en otras palabras, presenta un 100% del valor de los esfuerzos admisibles ante las diferentes solicitaciones, como lo presenta la G12.7-1 (ver figura 20). Ya para un CH mayor o igual al 19% el esfuerzo admisible para flexión y compresión paralela será apenas un 70%; el esfuerzo admisible para corte paralelo será de un 80%.

La figura 20 muestra los coeficientes de modificación que se tuvieron en cuenta según el contenido de humedad.

Esfuerzos		CH ≤ 12%	CH = 13%	CH = 14%	CH = 15%	CH = 16%	CH = 17%	CH = 18%	CH ≥ 19%
Flexión	$F_b$	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Tracción	$F_t$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Compresión paralela	$F_c$	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Compresión perpendicular	$F_p$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Corte	$F_y$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Modulo de elasticidad	$E_{0.5}$	1.0	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90
	$E_{0.05}$								
	$E_{min}$								

Figura 201. NSR-10/Tabla G.12.7-5- Coeficientes de modificación por contenido de humedad

$F_b$ Flexión	$F_t$ Tracción	$F_c$ Compresión	$F_p^*$ Compresión ⊥	$F_y$ Corte
15	18	14	1.4	1.2

Figura 21. NSR-10, Tabla / G.12.7-1, Esfuerzos admisibles F (MPa), CH=12%

#### ***4.1.1 Preparación de probetas para ensayo de contenido de humedad***

Para determinar el contenido de humedad las probetas se deben preparar después de cada ensayo mecánico (corte paralelo y compresión paralela), hay que tener en cuenta que el número de probetas debe ser igual a la cantidad de probetas para los ensayos mecánicos y físicos, en este caso fue un total de ciento cuarenta y cuatro (144) probetas. La forma de la probeta debe ser prismática.

#### ***4.1.2 Metodología de ensayo de contenido de humedad NTC 5525***

Para la realización de este ensayo se siguió la metodología de los lineamientos señalados en la NTC 5525, a continuación, se describe el procedimiento:

- La probeta se debe extraer exactamente después de la realización de cada ensayo, con el objetivo de garantizar el contenido de humedad de esta.
- A continuación, se realizó el pesaje de la probeta en una balanza con exactitud de 0,01 g, obtención de la masa antes del secado.
- Se deposita la probeta dentro del horno de secado a temperatura constante de 103°C, por un tiempo de 24 horas.

La Figura 22 da a conocer la secuencia del proceso para determinar el contenido de humedad de una muestra posterior a un ensayo.



**Figura 22.** *Secuencia de elaboración de probeta, pesaje y secado.*

- Después de las primeras 24 horas, se debe disponer la probeta dentro del recipiente desecador para que no absorba la humedad del ambiente, se pesa la probeta en una balanza con exactitud de 0,01 g, se registra la masa y se deposita nuevamente en el horno a la misma temperatura de 103°C.
- A partir de este primer registro, se debe realizar registros a intervalos no inferiores a 2 horas, hasta obtener cambios mínimos en la medición (registros sin exceder los 0,01g), en ese punto se considera que la probeta se encuentra en estado anhidro.
- El porcentaje del contenido de humedad se calcula de acuerdo a la ecuación presentada a continuación.

$$CH = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100$$

Donde:

$m$  masa de la probeta antes del secado.

$m_0$  masa de la probeta después del secado

Estos valores deben tener una exactitud de 0,01 g. El CH calculado se debe tomar como representativo de un todo de la probeta ensayada, y el valor promedio del contenido de humedad es la media aritmética de los resultados obtenidos de las probetas individuales.

#### ***4.1.3 Resultados y análisis estadísticos de ensayo de contenido de humedad***

A continuación, se presentan los resultados obtenidos, una vez culminado los ensayos de contenido de humedad (CH), siguiendo la metodología descrita en la NTC 5525:

En la tabla 2 se presentan los resultados de CH para compresión paralela a la fibra.

*Tabla 2. Resultados de contenido de humedad para compresión paralela*

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD COMPRESION PARALELA</b>			
<b>PROBETA</b>	<b>PESO INICIAL (g)</b>	<b>PESO FINAL (g)</b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD %</b>
1CO1I	17,1	8,68	97%
1CO2I	14,85	7,05	108%
2CO1I	15,3	8,97	71%
2CO2I	13,22	8,39	58%
3CO1I	16,51	9,67	71%
3CO2I	14,14	8,23	72%
4CO1I	5,69	2,41	136%
4CO2I	20,97	8,81	138%
5CO1I	7,41	4,21	76%
5CO2I	7,85	4,52	74%
6CO1I	15,9	8,59	85%
6CO2I	10,76	6,28	71%
7CO1I	10,61	6,07	75%
7CO2I	8,14	4,71	73%
8CO1I	15,36	8,15	88%
8CO2I	8,18	4,75	72%
9CO1I	12,22	7,12	72%
9CO2I	8,6	4,81	79%
10CO1I	8,58	4,64	85%
10CO2I	9	4,68	92%
11CO1I	14	7,17	95%
11CO2I	17,99	8,99	100%
12CO1I	8,12	4,6	77%
12CO2I	8,09	4,6	76%
1CO1M	8,87	4,56	95%
1CO2M	12	6,11	96%
2CO1M	14,79	8,85	67%
2CO2M	19,01	11,48	66%
3CO1M	6,4	3,81	68%
3CO2M	6,55	3,85	70%
4CO1M	12,37	7,12	74%
4CO2M	7,58	4,42	71%
5CO1M	6,2	3,63	71%
5CO2M	5	2,89	73%
6CO1M	5,68	3,44	65%
6CO2M	10,69	5,91	81%
7CO1M	6,46	3,67	76%
7CO2M	5,27	3,05	73%
8CO1M	6,76	2,84	138%

<b>8CO2M</b>	5,55	3,11	78%
<b>9CO1M</b>	9,2	5,29	74%
<b>9CO2M</b>	11,51	6,68	72%
<b>10CO1M</b>	7,49	4,01	87%
<b>10CO2M</b>	3,2	1,8	78%
<b>11CO1M</b>	4,84	2,58	88%
<b>11CO2M</b>	6,5	3,21	102%
<b>12CO1M</b>	9,23	5,23	76%
<b>12CO2M</b>	4	2,28	75%
<b>1CO1S</b>	5,47	2,63	108%
<b>1CO2S</b>	14,85	7,05	111%
<b>2CO1S</b>	14,14	8,48	67%
<b>2CO2S</b>	11,99	7,02	71%
<b>3CO1S</b>	3,17	1,95	63%
<b>3CO2S</b>	3,28	2	64%
<b>4CO1S</b>	7,41	4,47	66%
<b>4CO2S</b>	6,59	3,94	67%
<b>5CO1S</b>	7,51	4,27	76%
<b>5CO2S</b>	4,06	2,34	74%
<b>6CO1S</b>	8,15	4,52	80%
<b>6CO2S</b>	5,6	3,29	70%
<b>7CO1S</b>	3,92	2,24	75%
<b>7CO2S</b>	5,02	2,92	72%
<b>8CO1S</b>	7,01	3,98	76%
<b>8CO2S</b>	9,62	5,36	79%
<b>9CO1S</b>	6,68	3,86	73%
<b>9CO2S</b>	4,35	2,46	77%
<b>10CO1S</b>	3,09	1,73	79%
<b>10CO2S</b>	5,65	3,11	82%
<b>11CO1S</b>	5,52	3,01	83%
<b>11CO2S</b>	6,79	3,57	90%
<b>12CO1S</b>	6,24	3,6	73%
<b>12CO2S</b>	7,7	4,5	71%

En la tabla 3 se presentan los resultados de CH para corte paralelo a la fibra.

*Tabla 3. Resultados de contenido de humedad para compresión paralela*

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD - CORTE PARALELO</b>			
<b>PROBETA</b>	<b>PESO INICIAL (g)</b>	<b>PESO FINAL (g)</b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD %</b>
1VO1I	9,17	3,51	161%
1VO2I	6,22	3,13	99%
2VO1I	2,64	1,58	67%
2VO2I	6,87	3,003	127%
3VO1I	5,86	3,4	72%
3VO2I	4,42	2,62	69%
4VO1I	5,11	2,9	76%
4VO2I	4,58	2,58	78%
5VO1I	10,84	5,82	86%
5VO2I	6,12	3,45	77%
6VO1I	13,35	7,17	86%
6VO2I	3,78	2,07	83%
7VO1I	10,47	5,99	75%
7VO2I	7,54	4,25	77%
8VO1I	4,06	2,06	97%
8VO2I	5,14	2,71	90%
9VO1I	9,54	5,4	77%
9VO2I	3,62	2,08	74%
10VO1I	4,53	2,33	94%
10VO2I	7,16	3,88	85%
11VO1I	7,44	3,76	98%
11VO2I	7,6	3,92	94%
12VO1I	4,4	2,43	81%
12VO2I	7	4,08	72%
1VO1M	18,01	9,23	95%
1VO2M	6,4	3,21	99%
2VO1M	15,02	8,69	73%
2VO2M	11,7	6,96	68%
3VO1M	7,58	4,3	76%
3VO2M	5,83	3,2	82%
4VO1M	11,21	6,26	79%
4VO2M	2,77	1,65	68%
5VO1M	10,77	5,64	91%
5VO2M	3,06	1,76	74%
6VO1M	6,67	3,57	87%

6VO2M	3,61	1,92	88%
7VO1M	4,94	2,79	77%
7VO2M	3,99	2,4	66%
8VO1M	14,35	7,4	94%
8VO2M	3,71	1,92	93%
9VO1M	7,86	4,31	82%
9VO2M	4,72	2,76	71%
10VO1M	6,45	3,09	109%
10VO2M	4	2,18	83%
11VO1M	11,61	5,83	99%
11VO2M	6,36	3,1	105%
12VO1M	10,22	5,52	85%
12VO2M	2,89	1,73	67%
1VO1S	14,28	6,64	115%
1VO2S	2,61	1,17	123%
2VO1S	15,75	8,82	79%
2VO2S	5,32	3,25	64%
3VO1S	5,89	3,3	78%
3VO2S	2,6	1,53	70%
4VO1S	5,34	3	78%
4VO2S	3,08	1,83	68%
5VO1S	2,56	1,27	102%
5VO2S	2,6	1,47	77%
6VO1S	6,07	3,23	88%
6VO2S	2,57	1,52	69%
7VO1S	2,48	1,35	84%
7VO2S	2,7	1,45	86%
8VO1S	7,88	4,28	84%
8VO2S	4,01	2,3	74%
9VO1S	8,91	4,71	89%
9VO2S	1,96	1,15	70%
10VO1S	6,81	3,32	105%
10VO2S	4,06	2,37	71%
11VO1S	10,48	5,12	105%
11VO2S	2,53	1,3	95%
12VO1S	6,75	3,48	94%
12VO2S	3,38	2,02	67%

De acuerdo a lo anterior, el valor del contenido de humedad determinado para el ensayo de compresión y corte paralelo muestran un promedio de 81% y 85% respectivamente, se evidencia que sus coeficientes de variación son relativamente bajos encontrándose en 20%

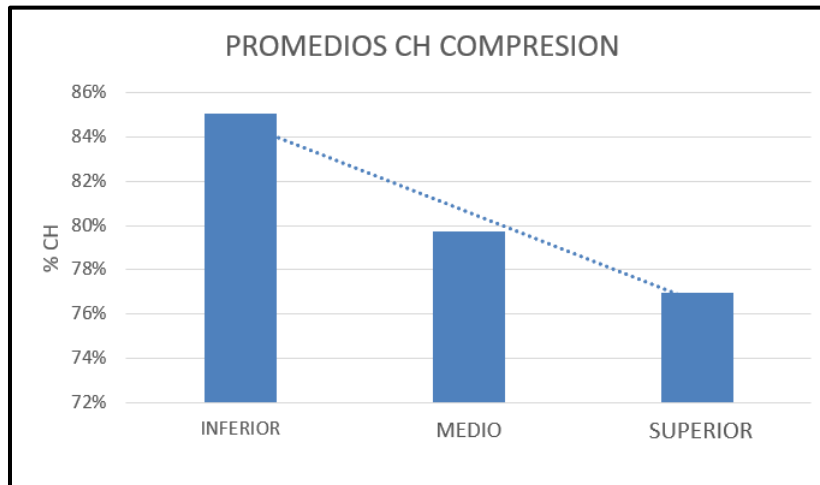
y 19% respectivamente, mostrando una correlación con su media aritmética menos dispersa, esto debido principalmente a que las probetas antes de su respectivo ensayo duraron inmersas en el agua aproximadamente el mismo tiempo, con diferencia de unas pocas horas entre ensayo y ensayo después de haber estado por más de tres semanas sumergidas en agua, dando como resultado datos de contenidos de humedad en un rango más homogéneo.

En la tabla 4 se presenta el promedio de resultados de CH en el ensayo de compresión paralela. Por cada parte de culmo (inferior, medio y superior).

**Tabla 4.** Promedios CH por parte de culmo ensayos de compresión paralela

	PARTE INFERIOR	PARTE MEDIA	PARTE SUPERIOR
<b>PROMEDIO / MEDIA</b>	85%	80%	77%
<b>VARIANZA</b>	4%	2%	1%
<b>DESVIACION ESTANDAR</b>	20%	16%	12%
<b>Coef. De variación</b>	23%	20%	15%

En la figura 23 se puede observar la tendencia a la baja de CH por cada sección del culmo, lo que quiere decir que la parte inferior o basal del culmo tiende a presentar más CH que la parte media y superior, podría atribuirse quizás a que a menor espesor y diámetro de las paredes menos contenido de humedad.



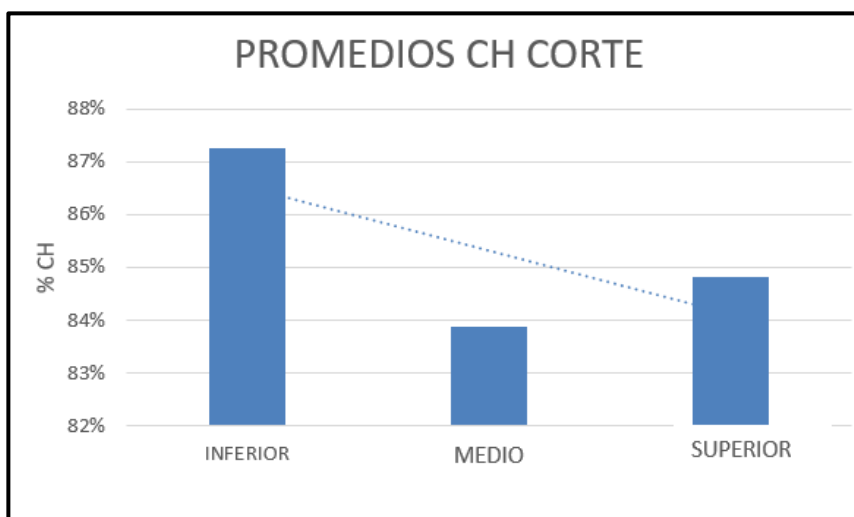
**Figura 23.** Análisis estadístico de CH para los ensayos de compresión paralela.

En la tabla 5 se presenta el promedio de resultados de CH en el ensayo de corte paralela. Por cada parte de culmo (inferior, medio y superior).

*Tabla 5. Promedios CH por parte de culmo ensayos de corte paralelo.*

	PARTE INFERIOR	PARTE MEDIA	PARTE SUPERIOR
<b>PROMEDIO / MEDIA</b>	87%	84%	85%
<b>VARIANZA</b>	4%	2%	3%
<b>DESVIACION ESTANDAR</b>	20%	12%	16%
<b>Coef. De variación</b>	23%	15%	19%

En la figura 24 al igual que en los resultados de compresión, la parte inferior o basal del culmo tiende a presentar más CH que la parte media y superior, en cambio estas dos últimas presentan una ligera variación entre ellas.



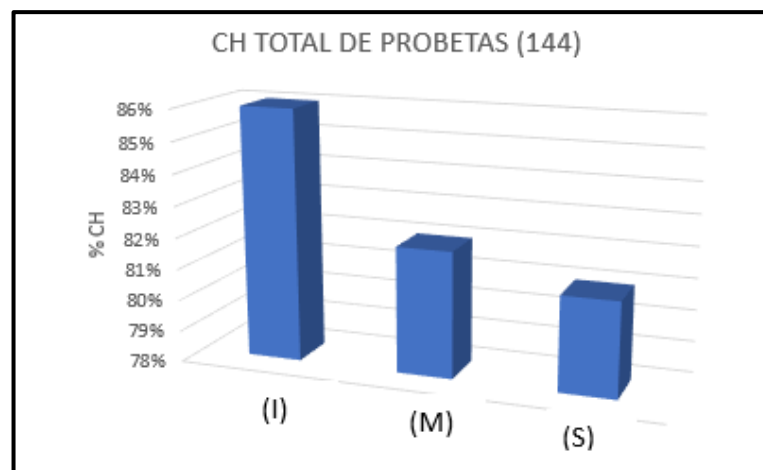
*Figura 24. Análisis estadístico de CH para los ensayos de corte paralelo.*

En la tabla 6 se presenta el promedio de resultados de CH en el ensayo de corte paralela. Por cada parte de culmo (inferior, medio y superior).

**Tabla 6.** Promedios CH por parte de culmo del total de probetas, compresión y corte.

	PARTE INFERIOR	PARTE MEDIA	PARTE SUPERIOR
<b>PROMEDIO / MEDIA</b>	86%	82%	81%
<b>VARIANZA</b>	4%	2%	2%
<b>DESVIACION ESTANDAR</b>	20%	14%	14%
<b>Coef. De variación</b>	23%	18%	17%

En la figura 25 se puede observar que la tendencia del CH para las partes inferiores de los culmos es mayor, se puede evidenciar que el contenido de CH se va reduciendo, a mayor altura menor contenido de CH.



**Figura 25.** Análisis estadístico de CH para los ensayos de corte paralelo.

## 4.2 Determinación de Densidad

El método implementado para determinar la densidad (masa/volumen) del Bambú *Phyllostachys aurea* para los ensayos mecánicos y físicos fue, usar la masa anhidra y el volumen húmedo (verde) los cuales no se ven afectados por las condiciones climáticas, el símbolo de la densidad es  $\rho$ .

Para determinar la densidad del Bambú *Phyllostachys aurea*, se siguieron los lineamientos

y procedimientos establecidos en la NTC 5525, basada en el principio de la determinación de la masa mediante el pesaje y del volumen a través de la medición de sus dimensiones, para el cálculo de la masa por unidad de volumen.

A continuación, se relaciona el equipo utilizado durante la realización del ensayo:

- Pie de rey, es un instrumento de medición con exactitud de 0,1 mm, (capacidad para determinar las dimensiones de las probetas)
- Balanza, con una exactitud de 0,01 g.
- Horno eléctrico, con la capacidad de secar el Bambú hasta obtener una condición absolutamente seca.

#### ***4.2.1 Preparación de probetas para ensayo de densidad***

Para determinar la masa por unidad de volumen en este ensayo, la forma de la probeta debe ser prismática, igualmente se permite preparar la muestra de ensayo a partir de una sección transversal total de las probetas, siempre y cuando el volumen se pueda medir con facilidad.

#### ***4.2.2 Metodología de ensayo de densidad NTC 5525***

Siguiendo la metodología de los lineamientos establecidos en la NTC 5525, el procedimiento realizado fue el siguiente.

- Primero se elaboran las probetas de las diferentes partes del Bambú *Phyllostachys aurea*, secciones inferiores (I), media (M) y superior (S) para cada uno de los doce Culmos, con forma prismática de aproximadamente 25 mm de ancho, 25 mm de alto y espesor igual al espesor de pared.
- una vez culminada la elaboración de las probetas, estas se sumergen en agua, durante un periodo mínimo de dos semanas para lograr el estado de saturación (verde), sin que se presenten cambios de humedecimiento y secado.

- Se continua con la extracción de las probetas del agua con el objetivo de medir sus dimensiones con exactitud de 0.1 mm y cálculo del volumen verde con exactitud de 10 mm<sup>3</sup>
- Se coloca la probeta dentro del horno de secado a temperatura constante de 103°C, por un tiempo de 24 horas.
- Posterior a las primeras 24 horas, se debe colocar la probeta dentro del recipiente desecador para que no absorba la humedad del ambiente, acto seguido se pesa la probeta en una balanza con exactitud de 0,01 g, se registra la masa y se deposita nuevamente en el horno a la misma temperatura de 103°C.
- A partir de este primer registro, se debe realizar registros a intervalos no inferiores a 2 horas, hasta obtener cambios mínimos en la medición (registros sin exceder los 0,01g), en ese punto se considera que la probeta se encuentra en estado anhidro.
- Determinar la masa en estado anhidro mediante el pesaje con exactitud de 0.01 g.
- Calcular la densidad básica ( $\rho$ ) por medio de la siguiente ecuación.

$$\rho = \left(\frac{m}{V}\right) \times 10^6$$

Donde:

$\rho$  densidad n Kg/m<sup>3</sup>

$m$  masa de la probeta seca en horno, dada en g.

$V$  volumen húmedo (verde) de la probeta, dada en mm<sup>3</sup>

Se debe calcular, con una exactitud de 10 kg/m<sup>3</sup>, la media aritmética de los resultados obtenidos para las probetas individuales, se registra este valor como el promedio de la densidad de las probetas ensayadas.

#### ***4.2.3 Resultados y análisis estadísticos ensayo de densidad***

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el ensayo de densidad, una vez realizada toda la metodología acorde a la NTC 5525.

En la tabla 7 se presentan las densidades de las probetas ensayadas a compresión paralela.

*Tabla 7. Densidades probetas ensayadas a compresión paralela.*

<b>DENSIDADES COMPRESIÓN PARALELA</b>			
<b>PROBETA</b>	<b>MASA (g)</b>	<b>VOLUMEN (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>DENSIDAD (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
1CO1I	8,68	15	578,667
1CO2I	7,05	11,9	592,437
2CO1I	8,97	12,3	729,268
2CO2I	8,39	10,94	766,910
3CO1I	9,67	13,19	733,131
3CO2I	8,23	11,86	693,929
4CO1I	2,41	4,93	488,844
4CO2I	8,81	12,05	731,120
5CO1I	4,21	6,07	693,575
5CO2I	4,52	6,38	708,464
6CO1I	8,59	12,98	661,787
6CO2I	6,28	8,93	703,247
7CO1I	6,07	8,92	680,493
7CO2I	4,71	6,77	695,716
8CO1I	8,15	12,73	640,220
8CO2I	4,75	7,68	618,490
9CO1I	7,12	10,41	683,958
9CO2I	4,81	7,27	661,623
10CO1I	4,64	7,01	661,912
10CO2I	4,68	7,37	635,007
11CO1I	7,17	11,73	611,253
11CO2I	8,99	15,06	596,946
12CO1I	4,6	6,84	672,515
12CO2I	4,6	6,66	690,691
1CO1M	4,56	7,9	577,215
1CO2M	6,11	10,04	608,566
2CO1M	8,85	11,91	743,073
2CO2M	11,48	18	637,778
3CO1M	3,81	5,18	735,521
3CO2M	3,85	5,32	723,684
4CO1M	7,12	9,98	713,427
4CO2M	4,42	6,11	723,404
5CO1M	3,63	5,04	720,238
5CO2M	2,89	4,04	715,347
6CO1M	3,44	5,03	683,897
6CO2M	5,91	8,85	667,797

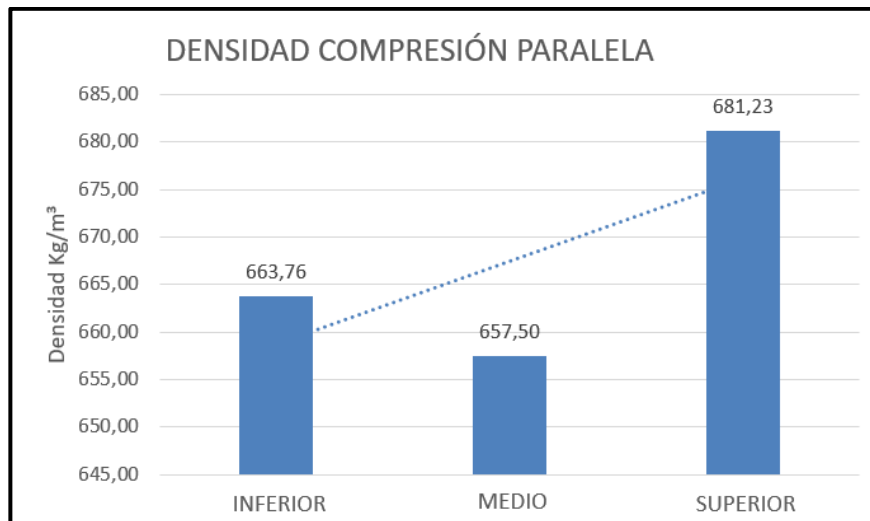
<b>7CO1M</b>	3,67	5,35	685,981
<b>7CO2M</b>	3,05	4,47	682,327
<b>8CO1M</b>	2,84	5,85	485,470
<b>8CO2M</b>	3,11	7,45	417,450
<b>9CO1M</b>	5,29	7,93	667,087
<b>9CO2M</b>	6,68	9,71	687,951
<b>10CO1M</b>	4,01	6,3	636,508
<b>10CO2M</b>	1,8	2,64	681,818
<b>11CO1M</b>	2,58	4,05	637,037
<b>11CO2M</b>	3,21	5,47	586,837
<b>12CO1M</b>	5,23	7,68	680,990
<b>12CO2M</b>	2,28	3,35	680,597
<b>1CO1S</b>	2,63	4,61	570,499
<b>1CO2S</b>	7,05	14,13	498,938
<b>2CO1S</b>	8,48	11,037	768,325
<b>2CO2S</b>	7,02	9,6	731,250
<b>3CO1S</b>	1,95	2,61	747,126
<b>3CO2S</b>	2	2,67	749,064
<b>4CO1S</b>	4,47	6,02	742,525
<b>4CO2S</b>	3,94	5,3	743,396
<b>5CO1S</b>	4,27	6,19	689,822
<b>5CO2S</b>	2,34	3,39	690,265
<b>6CO1S</b>	4,52	6,79	665,685
<b>6CO2S</b>	3,29	4,85	678,351
<b>7CO1S</b>	2,24	3,22	695,652
<b>7CO2S</b>	2,92	4,34	672,811
<b>8CO1S</b>	3,98	5,78	688,581
<b>8CO2S</b>	5,36	7,86	681,934
<b>9CO1S</b>	3,86	5,72	674,825
<b>9CO2S</b>	2,46	3,76	654,255
<b>10CO1S</b>	1,73	2,6	665,385
<b>10CO2S</b>	3,11	5,04	617,063
<b>11CO1S</b>	3,01	5,68	529,930
<b>11CO2S</b>	3,57	4,53	788,079
<b>12CO1S</b>	3,6	5,14	700,389
<b>12CO2S</b>	4,5	6,38	705,329

El promedio de la densidad para todas las probetas ensayadas a compresión paralela es de 667,496 Kg/m<sup>3</sup>. En la tabla 8 podemos ver los promedios de densidades para cada tramo del culmo (inferior, medio y superior).

**Tabla 8.** Densidades probetas ensayadas a compresión paralela por tramo del culmo

	MASA			DENSIDAD		
	PARTE INFERIOR	PARTE MEDIA	PARTE SUPERIOR	PARTE INFERIOR	PARTE MEDIA	PARTE SUPERIOR
<b>PROMEDIO / MEDIA</b>	6,50	4,58	<b>3,85</b>	663,76	657,50	<b>681,23</b>

En la figura 26 se puede observar que el promedio de densidades más alto se presenta en la parte superior de los culmos.



**Figura 26.** Análisis estadístico densidades para los ensayos de compresión paralela.

En la tabla 9 se presentan las densidades de las probetas ensayadas a corte paralelo.

*Tabla 9. Densidades probetas ensayadas a corte paralelo.*

<b>DENSIDADES CORTE PARALELO</b>			
<b>PROBETA</b>	<b>MASA (g)</b>	<b>VOLUMEN (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>DENSIDAD (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
1VO1I	3,51	8,08	434,406
1VO2I	3,13	5,29	591,682
2VO1I	1,58	16,87	93,657
2VO2I	3,003	5,99	501,336
3VO1I	3,4	4,89	695,297
3VO2I	2,62	3,64	719,780
4VO1I	2,9	4,28	677,570
4VO2I	2,58	3,79	680,739
5VO1I	5,82	9,08	640,969
5VO2I	3,45	5,1	676,471
6VO1I	7,17	11,21	639,607
6VO2I	2,07	3,18	650,943
7VO1I	5,99	8,63	694,090
7VO2I	4,25	6,28	676,752
8VO1I	2,06	3,41	604,106
8VO2I	2,71	4,4	615,909
9VO1I	5,4	7,81	691,421
9VO2I	2,08	3,04	684,211
10VO1I	2,33	3,78	616,402
10VO2I	3,88	6	646,667
11VO1I	3,76	6,26	600,639
11VO2I	3,92	6,37	615,385
12VO1I	2,43	3,64	667,582
12VO2I	4,08	5,78	705,882
1VO1M	9,23	16	576,875
1VO2M	3,21	5,4	594,444
2VO1M	8,69	12,44	698,553
2VO2M	6,96	9,43	738,070
3VO1M	4,3	6,33	679,305
3VO2M	3,2	3,88	824,742
4VO1M	6,26	9,36	668,803
4VO2M	1,65	2,31	714,286
5VO1M	5,64	9	626,667
5VO2M	1,76	2,55	690,196
6VO1M	3,57	5,62	635,231
6VO2M	1,92	3,11	617,363

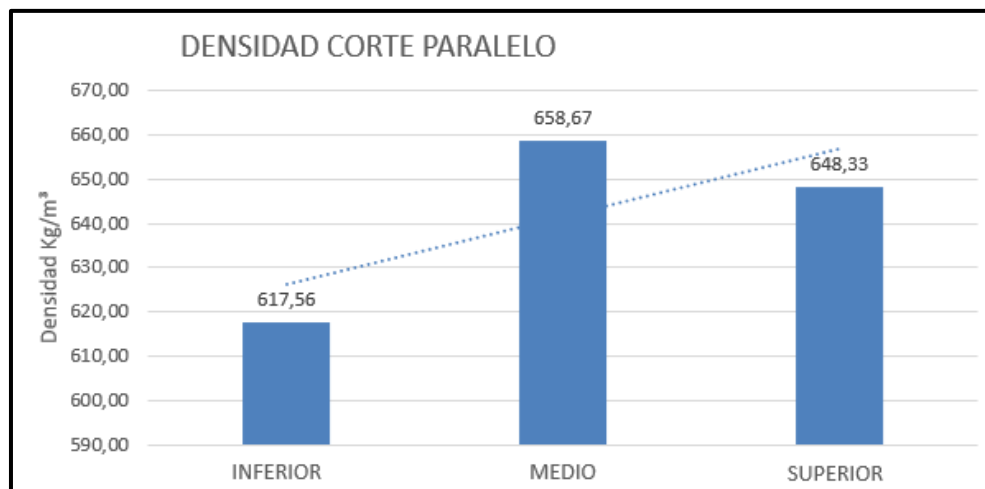
<b>7VO1M</b>	2,79	4,08	683,824
<b>7VO2M</b>	2,4	3,33	720,721
<b>8VO1M</b>	7,4	12,09	612,076
<b>8VO2M</b>	1,92	3,14	611,465
<b>9VO1M</b>	4,31	6,5	663,077
<b>9VO2M</b>	2,76	3,91	705,882
<b>10VO1M</b>	3,09	5,45	566,972
<b>10VO2M</b>	2,18	3,32	656,627
<b>11VO1M</b>	5,83	9,72	599,794
<b>11VO2M</b>	3,1	5,44	569,853
<b>12VO1M</b>	5,52	8,42	655,582
<b>12VO2M</b>	1,73	2,48	697,581
<b>1VO1S</b>	6,64	12,19	544,709
<b>1VO2S</b>	1,17	2,26	517,699
<b>2VO1S</b>	8,82	13,06	675,345
<b>2VO2S</b>	3,25	4,35	747,126
<b>3VO1S</b>	3,3	4,94	668,016
<b>3VO2S</b>	1,53	2,15	711,628
<b>4VO1S</b>	3	4,44	675,676
<b>4VO2S</b>	1,83	2,57	712,062
<b>5VO1S</b>	1,27	2,19	579,909
<b>5VO2S</b>	1,47	2,19	671,233
<b>6VO1S</b>	3,23	5,14	628,405
<b>6VO2S</b>	1,52	2,21	687,783
<b>7VO1S</b>	1,35	2,05	658,537
<b>7VO2S</b>	1,45	2,34	619,658
<b>8VO1S</b>	4,28	6,54	654,434
<b>8VO2S</b>	2,3	3,34	688,623
<b>9VO1S</b>	4,71	7,42	634,771
<b>9VO2S</b>	1,15	1,62	709,877
<b>10VO1S</b>	3,32	5,71	581,436
<b>10VO2S</b>	2,37	3,4	697,059
<b>11VO1S</b>	5,12	8,94	572,707
<b>11VO2S</b>	1,3	2,19	593,607
<b>12VO1S</b>	3,48	5,77	603,120
<b>12VO2S</b>	2,02	2,78	726,619

El promedio de la densidad para todas las probetas ensayadas a corte paralelo es de 641,521 Kg/m<sup>3</sup>. En la tabla 10 se pueden observar los promedios de densidades para cada tramo del culmo (inferior, medio y superior), se evidencia que la densidad es inversamente proporcional a la masa, ya que a mayor densidad la masa es más baja.

*Tabla 10. Densidades probetas ensayadas a corte paralelo por tramo del culmo.*

	MASA			DENSIDAD		
	PARTE INFERIOR	PARTE MEDIA	PARTE SUPERIOR	PARTE INFERIOR	PARTE MEDIA	PARTE SUPERIOR
<b>PROMEDIO / MEDIA</b>	3,51	4,14	2,91	617,56	658,67	648,33

En la figura 27 se puede observar que el promedio de densidades más alto se presenta en la parte media de los culmos.



*Figura 27. Análisis estadístico densidades para los ensayos de corte paralelo.*

En este caso las densidades encontradas por otros autores para la *guadua angustifolia*, que es la especie más utilizada en el sector de la construcción fueron; G. Angustifolia Mexicana va de 560 a 660 Kg/m<sup>3</sup> (Zaragoza-Hernández et al., 2015) y para la G. Angustifolia del municipio del Socorro Colombia es de 547 a 551 Kg/m<sup>3</sup> (Catalina & Escobar, 2018), lo que permite reconocer que la densidad del bambú *Phyllostachys aurea* es mayor.

### 4.3 Ensayo de compresión paralela a las fibras

Con el objetivo de determinar la resistencia última y módulo de elasticidad del Bambú *Phyllostachys aurea* procedente del municipio de Pacho del departamento de Cundinamarca, ante sollicitaciones de compresión paralela a las fibras, se ensayaron (72) probetas, ubicadas en las tres secciones de cada culmo de la siguiente manera: 2 probetas en la parte inferior (I), 2 probetas en la parte media (M), 2 probetas en la parte superior (S), siguiendo los procedimientos indicados en la NTC 5525. En la tabla 11 se relaciona la distribución de probetas según la sección:

*Tabla 11. Cantidades de probetas ensayo de compresión paralela*

SECCION	N° PROBETAS
INFERIOR	24
MEDIA	24
SUPERIOR	24
TOTAL	72

En la figura 28 se pueden observar los equipos que se relacionan a continuación y los cuales se utilizaron para los ensayos de compresión paralela.

- Calibrador, instrumento de medición con exactitud de 0,1 mm, (capacidad para determinar las dimensiones de las probetas).
- Máquina Universal de ensayos.
- Comparador de caratula.



*Figura 28. Equipos utilizados ensayo de compresión.*

#### ***4.3.1 Preparación de probetas para compresión paralela a las fibras***

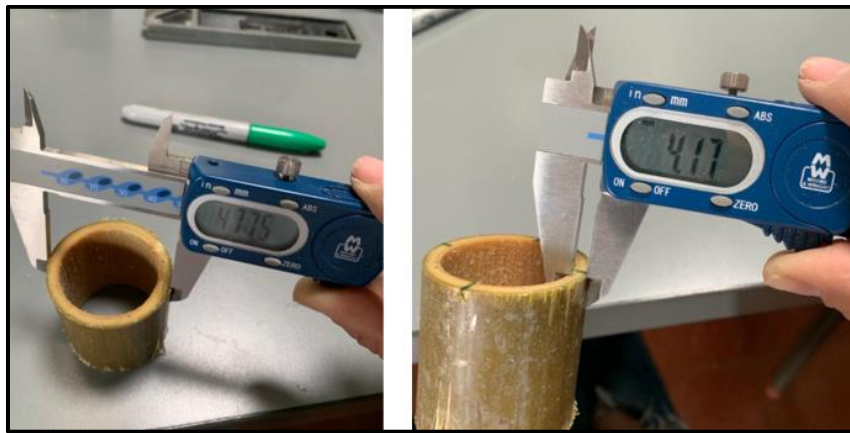
Para este ensayo se tomaron dos probetas de cada una de las secciones del culmo, inferior o basal (I), medio (M), superior (S), estas probetas se marcaron con las letras I, M y S respectivamente, se seleccionaron probetas sin nudos, cuya longitud es el doble de la longitud del diámetro externo; cabe aclarar que se debió hacer de esta longitud ya que los diámetros de los Culmos seleccionados no superan los 6 cm por lo tanto las probetas quedarían muy cortas para poder ensayarlas en la maquina universal. Posterior al corte las superficies deben ser planas, con una desviación máxima de 0,2 mm. Inmediatamente después las probetas se sumergen en agua por un mínimo de dos semanas para que se encuentren en estado de saturación en el momento de realizar el ensayo. En la figura 29 se ilustra el proceso de corte y alistado de las probetas para el ensayo de compresión paralela a la fibra.



*Figura 29. Preparación de probetas para ensayo de compresión paralela.*

#### **4.3.2 Metodología de ensayo de compresión paralelo a las fibras NTC 5525**

Antes que nada, se debe realizar la medición de las longitudes de cada probeta y los espesores de las paredes. En la figura 30 se ilustra la medición de las probetas con el calibrador.



*Figura 30. Medición de longitudes y espesores de probetas para ensayo de compresión paralela.*

Para la realización de este ensayo se siguió la metodología de los lineamientos señalados en la NTC 5525, a continuación, se describe el procedimiento:

- Se colocan el comparador.
- Se debe colocar la probeta de tal manera que el centro del cabezal móvil esté verticalmente

sobre el centro de la sección transversal.

- Se procede a aplicar una carga inicial no muy alta, aproximadamente de 1 kN, con el objetivo de acomodar la probeta.
- Se aplica la carga continuamente durante el ensayo para hacer que el cabezal móvil de la máquina siempre se desplace a una velocidad constante de 0,01 mm/s.
- Se registra la lectura final de la carga máxima, por la cual falla la probeta.

En la figura 31 se ilustra el montaje del comparador de caratula para iniciar el ensayo de compresión paralela a las fibras, como las probetas no superan de alto los 10 cm se debió utilizar un suplemento en hierro debajo de la probeta, para que el comparador pudiera tener el espacio suficiente para poder activarse.



*Figura 31. Montaje de dispositivos- ensayo compresión paralela a la fibra.*

Para determinar el esfuerzo ultimo de compresión se debe seguir la siguiente ecuación:

$$\sigma_{ult} = F_{ult} / A$$

Donde:

$\sigma_{ult}$  Esfuerzo último de compresión N/mm<sup>2</sup>

$F_{ult}$  Carga máxima a la cual falla la probeta en N.

$A$  área de la sección transversal en mm<sup>2</sup>

Seguidamente, se calcula el valor del esfuerzo admisible utilizando el procedimiento

descrito en la NSR-10 Titulo G - G.12.7.4. Los valores de esfuerzo admisibles se determinan a partir del valor característico, el cual se obtiene con la siguiente ecuación (G.12.7.1) NSR 10:

$$f_{kc} = f_{0,05i} \left[ 1 - \frac{2.7 s/m}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

$f_{kc}$  = Valor característico del esfuerzo para compresión paralela a la fibra

$f_{0,05i}$  = Valor correspondiente al percentil 5 de los datos de las pruebas de laboratorio en la sollicitación  $i$ .

$m$  = Valor promedio de los datos de la prueba de laboratorio.

$s$  = Desviación estándar de Valor característico en la sollicitación  $i$  los datos de las pruebas de laboratorio.

$\eta$  = numero de ensayos.

$c$  = Subíndice que depende del tipo de sollicitación (b para flexión, t para tracción paralela a las fibras, c para compresión paralela a las fibras, p para compresión perpendicular a las fibras, v para cortante paralelo a las fibras.

Habiendo determinado el valor característico para cada sollicitación, se procede a calcular los esfuerzos admisibles con la siguiente ecuación (G.12.7-2) NSR 10:

$$F_c = \frac{FC}{F_s \times FDC} f_{kc}$$

Donde:

$F_c$  = Esfuerzo admisible en la sollicitación  $c$ .

$f_{kc}$  = Valor característico en la sollicitación  $c$ .

$FC$  = Factor de reducción por deferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de aplicación de las cargas en la estructura.

$f_s$  = Factor de seguridad.

$FCD$  = Factor de duración carga.

$c$  = Subíndice que depende del tipo de sollicitación (b para flexión, t para tracción

paralela a las fibras, c para compresión paralela a las fibras, p para compresión perpendicular a las fibras, v para cortante paralelo a las fibras.

Para poder calcular los esfuerzos admisibles para cada sollicitación se debe tener en cuenta los factores de reducción que aparecen en la figura 32 de la tabla G.12.7-3 de la NSR-10.

Factor	Flexión	Tracción	Compresión	Compresión ⊥	Corte
FC	-	0.5	-	-	0.6
$F_s$	2.0	2.0	1.5	1.8	1.8
FDC	1.5	1.5	1.2	1.2	1.1

Figura 32 NSR-10, Tabla G.12.7-3. Factores de reducción

#### 4.3.3 Resultados y análisis estadísticos de la compresión paralela a las fibras

Según la NSR-10 Título G 12 a partir de los resultados obtenidos del procedimiento anterior se verifica la existencia de datos atípicos mediante el Criterio de Chauvenet, posteriormente se realiza una corrección del esfuerzo admisible teniendo en cuenta el contenido de humedad según la tabla G.12.7- 5 de la NSR-10, para reportar el resultado con un contenido de humedad del 12%, utilizado en el código colombiano de construcción sismo resistente para registrar los valores de los esfuerzos admisibles. En la figura 33 se identifican los coeficientes de modificación para cada una de las sollicitaciones.


Esfuerzos		CH ≤ 12%	CH = 13%	CH = 14%	CH = 15%	CH = 16%	CH = 17%	CH = 18%	CH ≥ 19%
Flexión	$F_b$	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Tracción	$F_t$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Compresión paralela	$F_c$	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Compresión perpendicular	$F_p$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Corte	$F_v$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Modulo de elasticidad	$E_{0.5}$	1.0	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90
	$E_{0.05}$								
	$E_{min}$								

Figura 33 tabla G.12.7- 5 de la NSR-10, Coeficiente de modificación por contenido de humedad ( $C_m$ )

Este procedimiento se lleva a cabo para las diferentes partes de los culmos inferiores o


basal (I), medio (M), Superior (S), con el fin de determinar el comportamiento del esfuerzo admisible ante solicitaciones de compresión paralela a las fibras a lo largo del culmo y para todo el culmo. En la tabla 12 se muestran los resultados obtenidos para esfuerzos admisibles de la parte inferior de los culmos para compresión paralela.

**Tabla 12.** Resultados de esfuerzo admisible (MPa), compresión paralela a las fibras parte Inferior

COMPRESION PARALELA							
PARTE INFERIOR DE LOS CULMOS							
Esfuerzo ultimo promedio (MPa)=	54,13						
Desviación estándar S (MPa)	13,28						
Datos atípicos-criterio Chauvenet							
K (para m=24 datos) =	2,24						
Mínimo aceptable =	24,39						
Máximo aceptable =	83,88						
Coefficiente de variación (%) =	24%						
Percentil 5% =	35,82						
Numero de datos	24						
VALOR CARACTERISTICO (MPa)		30,98					
Esfuerzo admisible (MPa)	17,21	CH % Promedio	83,86%	Coefficiente de modificación CH %	0,7	Esfuerzo admisible (MPa)	24,59


En la tabla 13 se muestran los resultados obtenidos para esfuerzos admisibles de la parte Media de los culmos para compresión paralela.

**Tabla 13.** Resultados de esfuerzo admisible (MPa), compresión paralela a las fibras parte Media.

COMPRESION PARALELA							
PARTE MEDIA DE LOS CULMOS							
Esfuerzo ultimo promedio (Mpa):	56,89						
Desviacion estandar S (Mpa)	8,82						
Datos atipicos-criterio Chauvenet							
K (para m=23 datos) =	2,24						
Minimo aceptable =	37,13						
Maximo aceptable =	76,65						
Coefficiente de variacion (%) =	24%						
Percentil 5% =	42,38						
Numero de datos	23						
VALOR CARACTERISTICO (Mpa)		38,68					
Esfuerzo admisible (Mpa)	21,49	CH % Promedio	77,22%	Coefficiente de modificacio CH %	0,7	Esfuerzo admisible (Mpa)	30,69


En la tabla 14 se muestran los resultados obtenidos para esfuerzos admisibles de la parte superior de los culmos para compresión paralela.

**Tabla 14.** Resultados de esfuerzo admisible (MPa), compresión paralela a las fibras parte Superior.

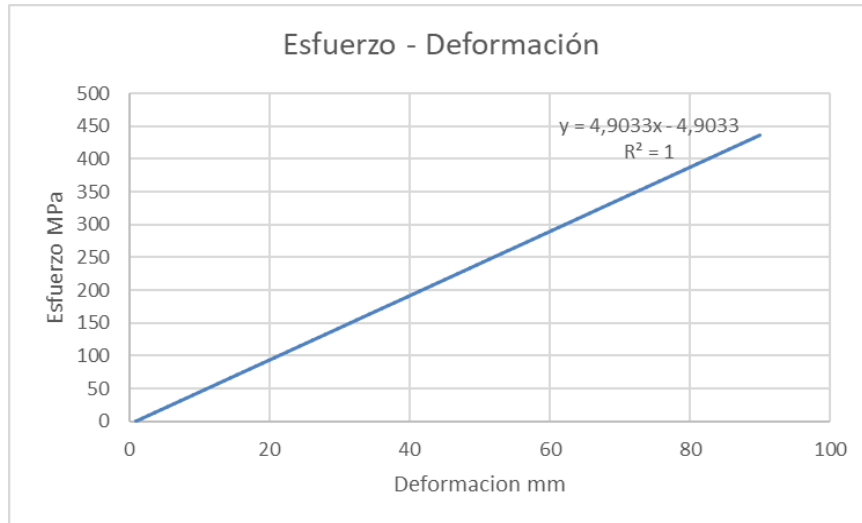
COMPRESION PARALELA							
PARTE SUPERIOR DE LOS CULMOS							
Esfuerzo ultimo promedio (Mpa)=	55,32						
Desviación estándar S (Mpa)	7,41						
Datos atípicos-criterio Chauvenet							
K (para m=24 datos) =	2,24						
Mínimo aceptable =	38,72						
Máximo aceptable =	71,93						
Coefficiente de variación (%) =	24%						
Percentil 5% =	41,09						
Numero de datos	24						
<b>VALOR CARACTERISTICO (Mpa)</b>	<b>38,05</b>						
Esfuerzo admisible (Mpa)	21,14	CH % Promedio	101,83%	Coefficiente de modificación CH %	0,7	Esfuerzo admisible (Mpa)	30,20

En la tabla 15 se muestran los resultados obtenidos para esfuerzos admisibles del total de las probetas ensayadas a compresión paralela.

**Tabla 15.** Resultados de esfuerzo admisible (MPa), compresión paralela a las fibras total de probetas.

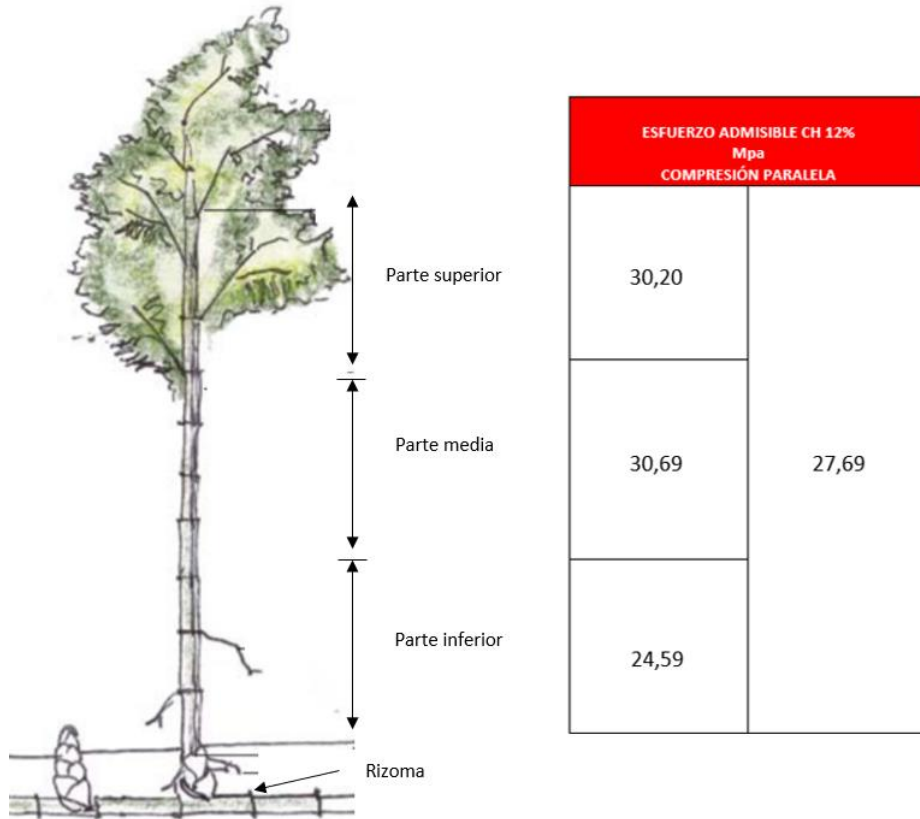
COMPRESION PARALELA							
TOTAL DE PROBETAS							
Esfuerzo ultimo promedio (Mpa)=	54,59						
Desviación estándar S (Mpa)	10,29						
Datos atípicos-criterio Chauvenet							
K (para m=72 datos) =	2,81						
Mínimo aceptable =	25,67						
Máximo aceptable =	83,52						
Coefficiente de variación (%) =	19%						
Percentil 5% =	37,06						
Numero de datos	72						
<b>VALOR CARACTERISTICO (Mpa)</b>	<b>34,83</b>						
Esfuerzo admisible (Mpa)	19,35	CH % Promedio	88,90%	Coefficiente de modificación CH %	0,7	Esfuerzo admisible (Mpa)	27,65

En la figura 34 se puede ver la curva esfuerzo deformación junto con su módulo de elasticidad.



**Figura 34** Curva esfuerzo deformación resultados de compresión paralela.

la figura 35 resume los esfuerzos admisibles por tramos de la totalidad de los culmos y el resultado total de todas las probetas.



*Figura 35. Esfuerzo admisibles-Compresión paralela a la fibra.*

Ver en análisis de resultados la comparación de esfuerzos admisibles de compresión paralelo vs otras especies.

#### 4.4 Ensayo de Corte paralelo a las fibras

Con el objetivo de determinar la resistencia ultima a corte paralelo a la fibra y esfuerzo admisible del Bambú *Phyllostachys aurea* procedente del municipio de Pacho en el departamento de Cundinamarca, se fallaron 72 probetas distribuidas en los tres segmentos de los Culmos, (inferior (I), media (M) y superior (S)), en la table 16 se puede ver su distribución a lo largo de los tramos del culmo.

*Tabla 16. Cantidad de probetas para ensayo de corte paralelo*

SECCION	N° PROBETAS	
	CON NUDO	SIN NUDO
INFERIOR	12	12
MEDIA	12	12
SUPERIOR	12	12
SUBTOTAL	36	36
TOTAL	72	

En la figura 36 se pueden observar los equipos que fueron utilizados en el ensayo de corte paralelo a las fibras y que aparecen relacionados a continuación:

- Calibrador Instrumento de medición con exactitud de 0,1 mm, (capacidad para determinar las dimensiones de las probetas)
- Máquina universal, con capacidad para medir la carga con exactitud de 1 % de la escala utilizada y la deflexión con exactitud de mm.
- Platos de corte (para este ensayo se debió fabricar un dispositivo de corte más pequeño que el existente en el laboratorio de la Universidad Nacional, acorde al tamaño de las probetas ya que estas son muy pequeñas).



*Figura 36. Equipos utilizados ensayo de corte.*

#### ***4.4.1 Preparación de probetas para corte paralelo a las fibras***

Para realizar este ensayo se tomaron las probetas de las tres secciones (inferior, media y superior) de cada culmo; con el objetivo de tener una muestra representativa de este, estas se marcaron con las letras (I), (M) y (S) respectivamente. Para este ensayo se fallaron el 50 % de las probetas con nudo y el 50 % restante sin nudo. Estas se cortaron con la longitud igual a su diámetro siguiendo los parámetros de la NTC 5525, se deben rectificar las superficies de los extremos de la probeta, comprobando que estén planas y en ángulo recto respecto a la longitud de la misma. El espesor de pared  $t$  y la altura  $L$  de la probeta se debe tomar en las cuatro áreas de corte y, por último, se sumergieron en agua aproximadamente por dos semanas sin cambios de humedecimiento y secado.

#### ***4.4.2 Metodología de ensayo Corte paralelo a las fibras NTC 5525***

Siguiendo la metodología de los lineamientos establecidos en la NTC 5525, el procedimiento realizado fue el siguiente.

Se ubica la probeta de tal manera que el centro del cabezal móvil esté verticalmente sobre el centro de la sección transversal de la misma. La figura 37 muestra cómo se debe ubicar la probeta en los platos para el ensayo de corte paralelo a las fibras.



***Figura 37. Montaje de ensayo de corte.***

A continuación, se comprueba que la probeta se encuentre centrada con relación a los cuartos de soporte y de carga.

- una vez verificado lo anterior se aplica una carga inicial, la cual no supere 1 kN, con el objetivo de acomodar la probeta.
- Se procede a iniciar con el ensayo aplicando una carga continua durante la prueba para lograr que el cabezal móvil de la máquina de ensayo se desplace a una velocidad constante de 0,01 mm/s.
- Por último, se registran las lecturas de la carga máxima a las cuales falla la probeta, así como la cantidad de áreas que fallaron.
- Para hallar la resistencia última de corte se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\sum(txL)}$$

Donde:

$\tau_{ult}$  resistencia última al corte, en MPa,

$F_{ult}$  valor máximo de la carga aplicada en la cual falla la probeta en N

$\sum(txL)$  suma de los cuatro productos de t y L.

Para calcular el valor del esfuerzo admisible se utiliza el procedimiento descrito en la NSR-10 Título G - G.12.7.4. Los valores de esfuerzo admisibles se determinan a partir del valor característico, el cual se obtiene con la siguiente ecuación G.12.7-1:

$$f_{kv} = f_{0,05i} \left[ 1 - \frac{2.7^s/m}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

$f_{kv}$  Valor característico en la sollicitación  $i$ .

$f_{0,05i}$  Valor correspondiente al percentil 5 de los datos de las pruebas de laboratorio en la sollicitación  $i$ .

$m$  Valor promedio de los datos de la prueba de laboratorio.

$s$  Desviación estándar de Valor característico en la sollicitación  $i$  los datos de las pruebas de laboratorio.

$\eta$  número de ensayos.

$v$  Subíndice que depende del tipo de sollicitación (b para flexión, t para tracción paralela a las fibras, c para compresión paralela a las fibras, p para compresión perpendicular a las fibras, v para cortante paralelo a las fibras).

Habiendo determinado el valor característico para cada sollicitación, se procede a calcular los esfuerzos admisibles con la siguiente ecuación (G.12.7-2) NSR 10:

$$F_i = \frac{FC}{F_s \times FDC} f_{kv}$$

Donde:

$F_v$  Esfuerzo admisible en la sollicitación  $v$ .

$f_{ki}$  Valor característico en la sollicitación  $v$ .

$FC$  Factor de reducción por deferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de aplicación de las cargas en la estructura.

$f_s$  Factor de seguridad.

$FCD$  Factor de duración carga.

$v$  Subíndice que depende del tipo de sollicitación (b para flexión, t para tracción paralela a las fibras, c para compresión paralela a las fibras, p para compresión perpendicular a las fibras, v para cortante paralelo a las fibras).

#### **4.4.3 Resultados y análisis estadísticos ensayo de corte paralelo a las fibras**

A partir de los resultados obtenidos del procedimiento anterior se procede a verificar la existencia de datos atípicos mediante el Criterio de Chauvenet, posteriormente se realiza una corrección del esfuerzo admisible teniendo en cuenta el contenido de humedad según la figura 38 se observa la tabla G.12.7- 5 de la NSR-10, donde se muestran los coeficientes de modificación con un contenido de humedad del 12%.

Esfuerzos		CH ≤ 12%	CH = 13%	CH = 14%	CH = 15%	CH = 16%	CH = 17%	CH = 18%	CH ≥ 19%
Flexión	$F_b$	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Tracción	$F_t$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Compresión paralela	$F_c$	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Compresión perpendicular	$F_p$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Corte	$F_y$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Modulo de elasticidad	$E_{0.5}$	1.0	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90
	$E_{0.05}$								
	$E_{min}$								

Figura 38. tabla G.12.7- 5 de la NSR-10, Coeficiente de modificación por contenido de humedad ( $C_m$ )

Este procedimiento se lleva a cabo para las diferentes secciones inferior o basal (I), medio (M), superior (S), con el fin de determinar el comportamiento del esfuerzo admisible ante sollicitaciones de corte paralelo a la fibra a lo largo del culmo y para todo el culmo.

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de Corte con nudo.

En la tabla 17 se muestran los resultados obtenidos para esfuerzos admisibles de la parte inferior de los culmos para corte con nudo paralelo a la fibra

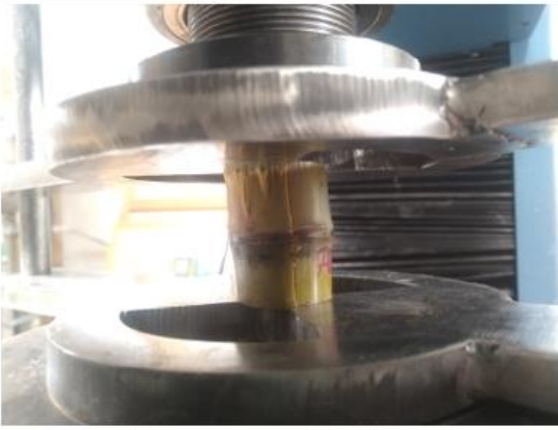
Tabla 17. Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras con nudo parte inferior

CORTE - CON NUDO							
<b>PARTE INFERIOR DE LOS CULMOS</b>							
Esfuerzo ultimo promedio (Mpa)=	10,62						
Desviación estándar S (Mpa)	3,30						
Datos atípicos-criterio Chauvenet							
K (para m=12 datos) =	2,45						
Mínimo aceptable =	3,91						
Máximo aceptable =	17,32						
Coefficiente de variación (%) =	31%						
Percentil 5% =	5,19						
Numero de datos	12						
<b>VALOR CARACTERISTICO (Mpa)</b>		<b>3,94</b>					
Esfuerzo admisible (Mpa)	1,19	CH % Promedio	88,92%	Coefficiente de modificación CH %	0,8	Esfuerzo admisible (Mpa)	1,49




En la tabla 18 se muestran los resultados obtenidos para esfuerzos admisibles de la parte media de los culmos para corte con nudo paralelo a la fibra.

**Tabla 18.** Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras con nudo parte Media.

CORTE - CON NUDO							
PARTE MEDIA DE LOS CULMOS							
Esfuerzo ultimo promedio (Mpa)=	10,89						
Desviación estándar S (Mpa)	2,27						
Datos atípicos-criterio Chauvenet							
K (para m=12 datos) =	2,03						
Mínimo aceptable =	6,28						
Máximo aceptable =	15,51						
Coefficiente de variación (%) =	21%						
Percentil 5% =	8,00						
Numero de datos	12						
<b>VALOR CARACTERISTICO (Mpa)</b>	<b>6,70</b>						
Esfuerzo admisible (Mpa)	2,03	CH % Promedio	87,25%	Coefficiente de modificación CH %	0,8	Esfuerzo admisible (Mpa)	2,54

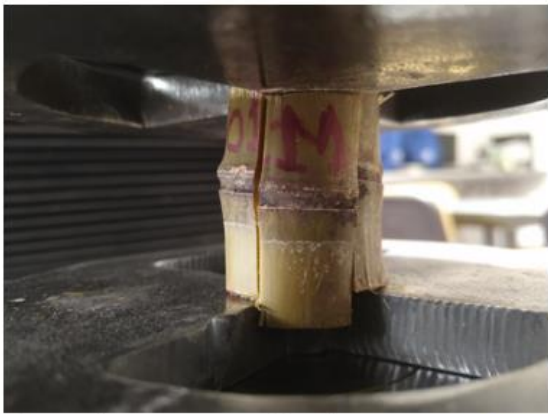
En la tabla 19 se muestran los resultados obtenidos para esfuerzos admisibles de la parte superior de los culmos para corte con nudo paralelo a la fibra.

**Tabla 19.** Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras parte Superior.

CORTE - CON NUDO							
PARTE SUPERIOR DE LOS CULMOS							
Esfuerzo ultimo promedio (Mpa)=	10,58						
Desviación estándar S (Mpa)	1,59						
Datos atípicos-criterio Chauvenet							
K (para m=12 datos) =	2,03						
Mínimo aceptable =	7,36						
Máximo aceptable =	13,81						
Coefficiente de variación (%) =	15%						
Percentil 5% =	8,84						
Numero de datos	12						
<b>VALOR CARACTERISTICO (Mpa)</b>	<b>7,81</b>						
Esfuerzo admisible (Mpa)	2,37	CH % Promedio	91,75%	Coefficiente de modificación CH %	0,8	Esfuerzo admisible (Mpa)	2,96

En la tabla 20 se muestran los resultados obtenidos para esfuerzos admisibles del total de las probetas ensayadas para corte con nudo paralelo a la fibra.


**Tabla 20.** Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras Total probetas

CORTE - CON NUDO							
TOTAL PROBETAS							
Esfuerzo ultimo promedio (Mpa)=	10,70						
Desviación estándar S (Mpa)	2,42						
Datos atípicos-criterio Chauvenet							
K (para m=36 datos) =	2,45						
Mínimo aceptable =	4,77						
Máximo aceptable =	16,63						
Coefficiente de variación (%) =	23%						
Percentil 5% =	7,43						
Numero de datos	36						
<b>VALOR CARACTERISTICO (Mpa)</b>	<b>6,68</b>						
Esfuerzo admisible (Mpa)	2,02						

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de Corte Sin nudo.


En la tabla 21 En la tabla se muestran los resultados obtenidos para esfuerzos admisibles de la parte inferior de los culmos para corte sin nudo paralelo a la fibra

**Tabla 21.** Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras Inferior sin nudo.

CORTE - SIN NUDO							
PARTE INFERIOR PROBETAS							
Esfuerzo ultimo promedio (Mpa)=	12,13						
Desviación estándar S (Mpa)	2,72						
Datos atípicos-criterio Chauvenet							
K (para m=12 datos) =	2,03						
Mínimo aceptable =	6,60						
Máximo aceptable =	17,65						
Coefficiente de variación (%) =	22%						
Percentil 5% =	8,11						
Numero de datos	12						
<b>VALOR CARACTERISTICO (Mpa)</b>	<b>6,69</b>						
Esfuerzo admisible (Mpa)	2,03						


En la tabla 22 En la tabla se muestran los resultados obtenidos para esfuerzos admisibles de la parte media de los culmos para corte sin nudo paralelo a la fibra

**Tabla 22.** Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras Medio sin nudo.

CORTE - SIN NUDO							
PARTE MEDIA PROBETAS							
Esfuerzo ultimo promedio (Mpa)=	11,23						
Desviación estándar S (Mpa)	3,38						
Datos atípicos-criterio Chauvenet							
K (para m=12 datos) =	2,03						
Mínimo aceptable =	4,38						
Máximo aceptable =	18,09						
Coefficiente de variación (%) =	30%						
Percentil 5% =	5,34						
Numero de datos	12						
<b>VALOR CARACTERISTICO (Mpa)</b>	<b>4,08</b>						
Esfuerzo admisible (Mpa)	1,24						CH % Promedio

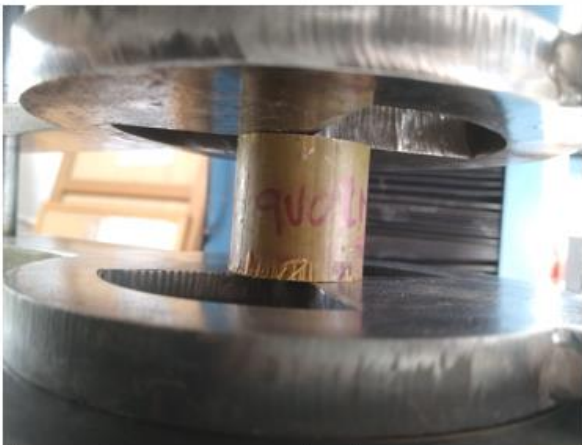
En la tabla 23 En la tabla se muestran los resultados obtenidos para esfuerzos admisibles de la parte superior de los culmos para corte sin nudo paralelo a la fibra

**Tabla 23.** Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras Superior sin nudo.

CORTE - SIN NUDO							
PARTE SUPERIOR PROBETAS							
Esfuerzo ultimo promedio (Mpa)=	10,47						
Desviación estándar S (Mpa)	2,24						
Datos atípicos-criterio Chauvenet							
K (para m=12 datos) =	2,03						
Mínimo aceptable =	5,94						
Máximo aceptable =	15,01						
Coefficiente de variación (%) =	21%						
Percentil 5% =	6,75						
Numero de datos	12						
<b>VALOR CARACTERISTICO (Mpa)</b>	<b>5,63</b>						
Esfuerzo admisible (Mpa)	1,71						CH % Promedio


En la tabla 24 se muestran los resultados obtenidos para esfuerzos admisibles del total de las probetas ensayadas para corte con nudo paralelo a la fibra.

**Tabla 24.** Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras Total probetas sin nudo.

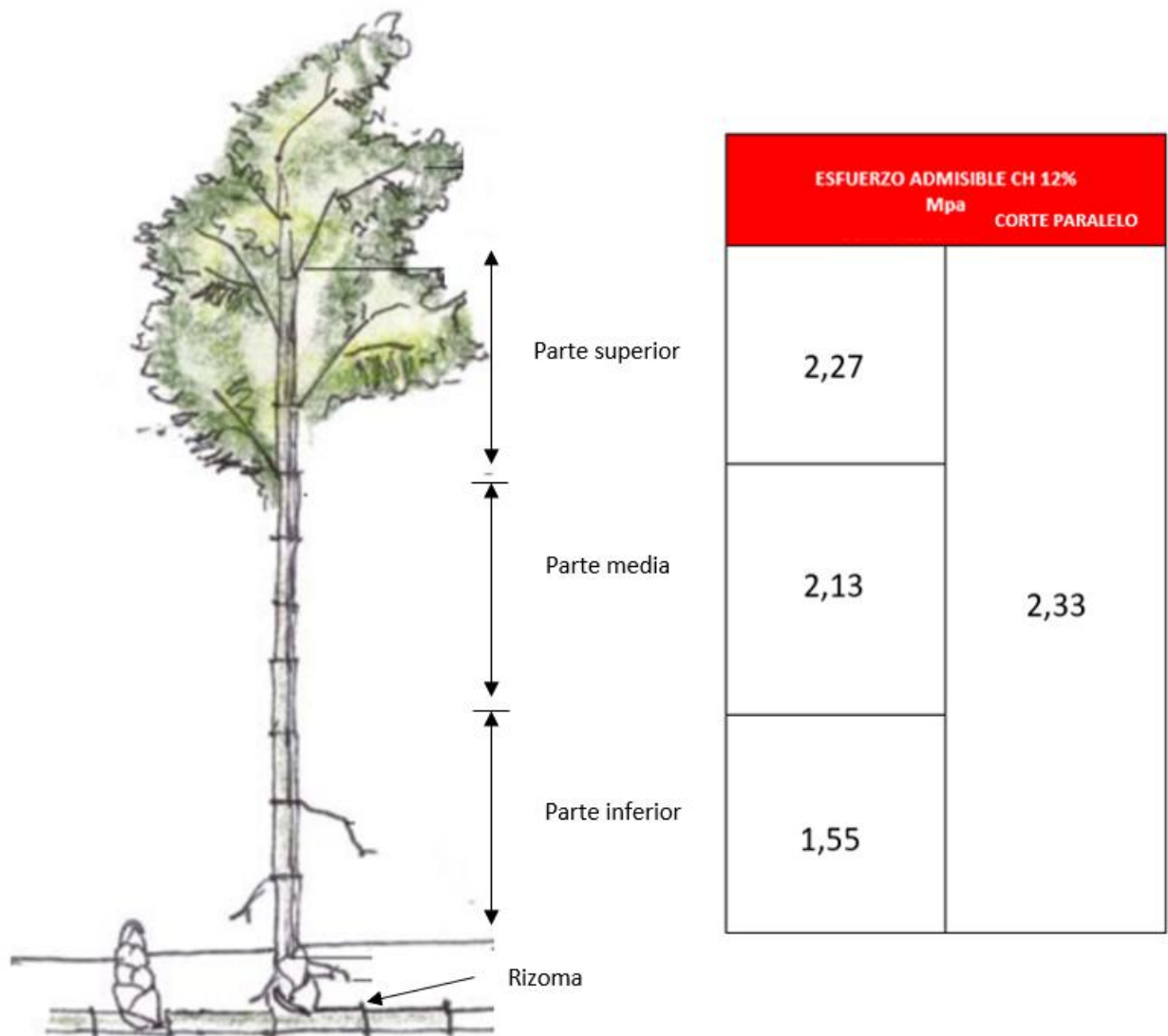
CORTE - SIN NUDO							
TOTAL PROBETAS							
Esfuerzo ultimo promedio (Mpa)=	11,28						
Desviación estándar S (Mpa)	2,82						
Datos atípicos-criterio Chauvenet							
K (para m=36 datos) =	2,45						
Mínimo aceptable =	4,37						
Máximo aceptable =	18,19						
Coefficiente de variación (%) =	25%						
Percentil 5% =	6,77						
Numero de datos	36						
<b>VALOR CARACTERISTICO (Mpa)</b>	<b>6,00</b>						
Esfuerzo admisible (Mpa)	1,82	CH % Promedio	81,21%	Coefficiente de modificación CH %	0,8	Esfuerzo admisible (Mpa)	2,27

En la figura 25 A continuación, se presenta el resumen de los resultados del total de los ensayos de Corte paralelo a la fibra.

**Tabla 25.** Resultados de esfuerzo admisible (MPa), Corte paralelo a las fibras Total probetas .

CORTE							
TOTAL PROBETAS							
Esfuerzo ultimo promedio (Mpa)=	10,99						
Desviación estándar S (Mpa)	2,63						
Datos atípicos-criterio Chauvenet							
K (para m=72 datos) =	2,69						
Mínimo aceptable =	3,92						
Máximo aceptable =	18,05						
Coefficiente de variación (%) =	24%						
Percentil 5% =	6,65						
Numero de datos	72						
<b>VALOR CARACTERISTICO (Mpa)</b>	<b>6,14</b>						
Esfuerzo admisible (Mpa)	1,86	CH % Promedio	85,26%	Coefficiente de modificación CH %	0,8	Esfuerzo admisible (Mpa)	2,33

Una vez culminado el análisis de los ensayos de corte paralelo a las fibras , en la figura 39 se presenta el resumen de resultados obtenidos tanto para el total de probetas como para cada sección.



*Figura 39. Esfuerzo admisibles-Corte paralelo a la fibra.*

Ver en análisis de resultados la comparación de esfuerzos admisibles de corte paralelo vs otras especies.

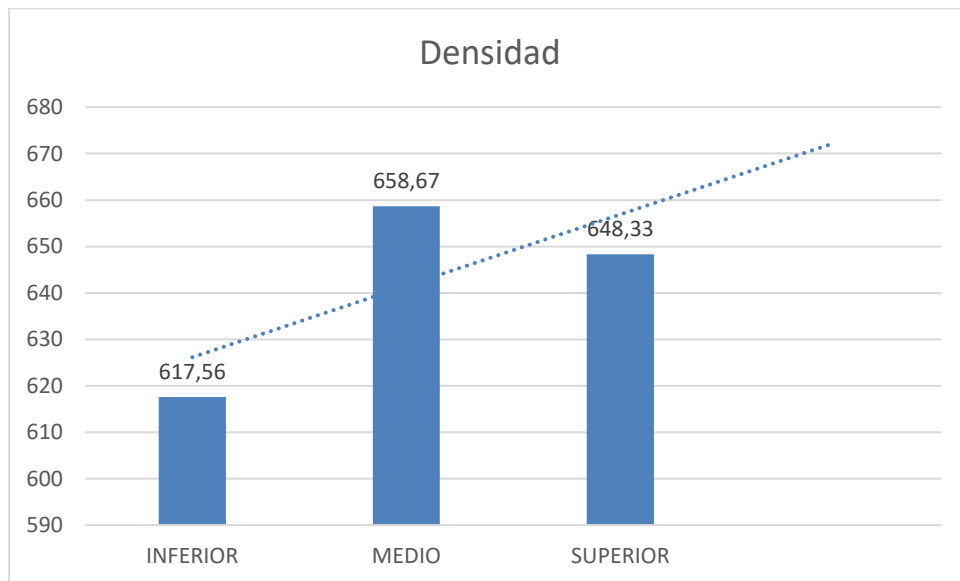
## 5. Análisis de resultados

A continuación, se presentan los análisis de los resultados por cada característica física y mecánica, junto con la comparación ante otros ensayos de *Phyllostachys aurea* y otras especies.

- Densidad:

La densidad de El bambú *Phyllostachys aurea* varía a lo largo del culmo, en la parte inferior o basal se encontró una densidad de  $617.56 \text{ kg/m}^3$ , en la parte media una densidad de  $658.67 \text{ kg/m}^3$  y en la parte superior una densidad de  $648.33 \text{ kg/m}^3$  Obteniendo una densidad para todo el culmo de  $641.52 \text{ kg/m}^3$ .

La figura 40 muestra que no hay relación entre la densidad y la posición del culmo (inferior, medio y superior), ya que no es lineal el incremento, siendo la parte media la de mayor densidad.



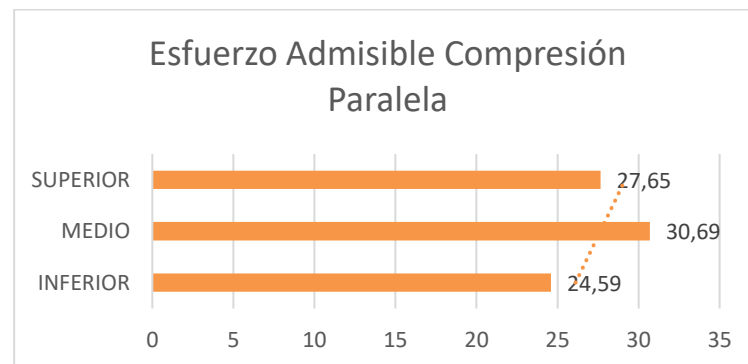
**Figura 40.** Análisis estadístico resultados de densidades.

- Esfuerzo admisible a compresión paralela a las fibras:

El esfuerzo admisible ante esfuerzos de compresión paralela a las fibras El bambú *Phyllostachys aurea* varía a lo largo del culmo, en la parte inferior o basal se encontró un

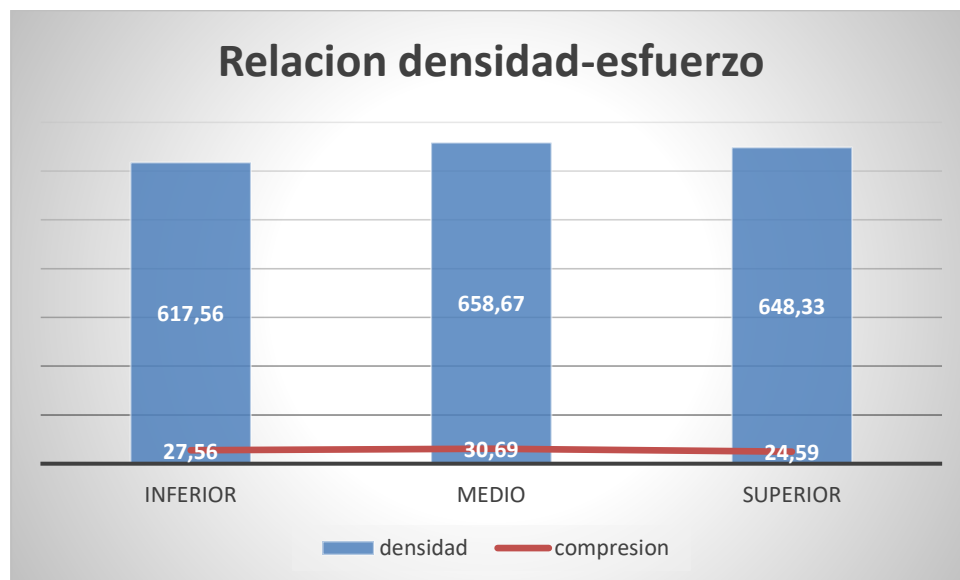
esfuerzo admisible de 24.59 MPa, en la parte media un esfuerzo admisible de 30.69 MPa y en la parte superior un esfuerzo admisible de 30.20 MPa. Obteniendo un esfuerzo admisible para todo el culmo de 27.65 MPa.

La figura 41 muestra que el esfuerzo admisible más alto para compresión paralela se presentó en las probetas que provenían de la parte media de los culmos, lo que deja ver una relación entre la densidad y el esfuerzo.



**Figura 41.** Análisis estadístico resultados esfuerzos admisibles compresión paralela.

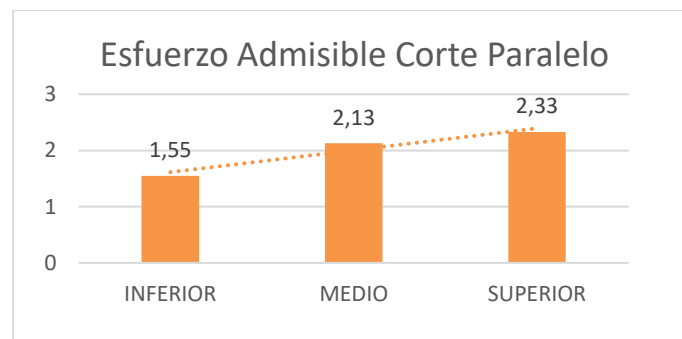
La figura 42 muestra la relación que hay entre la densidad y la resistencia a la compresión, donde a mayor densidad mayor es la resistencia.



**Figura 42.** Análisis estadístico resultados densidad Vs resistencia a la compresión.

- Esfuerzo admisible a corte paralelo a las fibras:

El esfuerzo admisible ante esfuerzos de corte paralelo a las fibras del bambú *Phyllostachys aurea* varía a lo largo del culmo, en la parte inferior o basal se encontró un esfuerzo admisible de 1.55 MPa, en la parte media un esfuerzo admisible de 2.13 MPa y en la parte superior un esfuerzo admisible de 2.27 MPa. Obteniendo un esfuerzo admisible para todo el culmo de 2.33 MPa. La figura 43 muestra que el esfuerzo admisible para corte paralelo es lineal.



**Figura 43.** Análisis estadístico resultados esfuerzos admisibles corte paralelo.

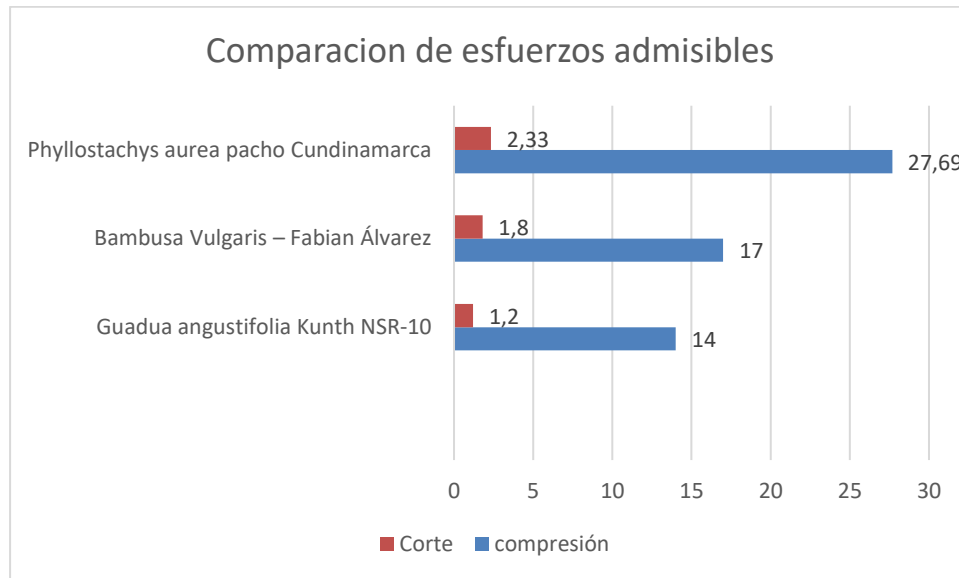
- Comparación entre el bambú *Phyllostachys aurea* y la *Guadua angustifolia* Kunth y la *Bambusa Vulgaris*:

En la tabla 26 se muestran los resultados de esfuerzos admisibles para de la *Guadua angustifolia* Kunth, *Bambusa Vulgaris* y la *Phyllostachys aurea* de Pacho, Cundinamarca.

**Tabla 26.** Comparación de esfuerzos admisibles compresión paralela .

Especie	Esfuerzos admisibles (MPa), CH=12%	
	Compresión paralela	Corte
<i>Guadua angustifolia</i> Kunth NSR-10	14	1,2
<i>Bambusa Vulgaris</i> – Fabian Álvarez	17	1,8
<i>Phyllostachys aurea</i> pacho Cundinamarca	27,69	2,33

La figura 44 ilustra que el bambú *Phyllostachys aurea* es el que presente más altos resultados de esfuerzos admisibles, tanto para compresión paralela como para corte paralelo.



**Figura 44.** Análisis estadístico resultados esfuerzos admisibles y corte paralelo Vs otras especies.

- En la tabla 27 se presentan los resultados obtenidos del bambú *Phyllostachys aurea* del municipio de Pacho, Cundinamarca y la *Phyllostachys aurea* de Santo Domingo, Ecuador.

En este caso se compara los resultados para esfuerzo último en (MPa) que se obtuvieron en los dos estudios.

*Tabla 27. Comparación de esfuerzos máximo a compresión paralela .*

<b>Especie</b>	<b>Esfuerzo ultimo a compresión (MPa)</b>
<b><i>Phyllostachys aurea</i> - Pacho Cundinamarca</b>	54,59
<b><i>Phyllostachys aurea</i> - Santo Domingo Ecuador</b>	54,55

Se puede observar que la resistencia obtenida en los dos estudios del bambú *Phyllostachys aurea*, son similares. Con lo anterior se podría pensar que las demás características también podrían ser similares.

## 6. Conclusiones

Los hallazgos indican que la explotación adecuada del bambú podría ayudar a reducir la escasez de vivienda digna de las poblaciones vulnerables en Colombia.

El presente estudio revela que el bambú de la especie *Phyllostachys aurea* tiene un potencial promisorio para ser utilizado como material de construcción sostenible ya que tiene un buen desempeño en propiedades de resistencia, pudiendo ser utilizado en reticulados espaciales o para conformación de cerchas en estructuras ligeras.

Dado lo anterior se presenta lo concluido para cada ensayo:

Según los resultados obtenidos para la resistencia a compresión se puede ver la clara relación que hay con la densidad de las probetas, demostrando que a mayor densidad mayor es su resistencia, siendo la sección media la de mayor resistencia con 30.69 MPa y una densidad de 658.67 kg/m<sup>3</sup>.

Los resultados arrojados en los ensayos de compresión demuestran que el esfuerzo admisible promedio ( 27.69 MPa) es más alto que los de la *G. Angustifolia* Kunth (14 MPa) que aparecen en la NSR-10, así como para de la *Bambusa Vulgaris* del estudio del Ing. Fabian Alvares con (17 MPa).

El esfuerzo admisible promedio para corte paralelo de la *Phyllostachys aurea* ( 2.33 MPa) estando por encima un 48.49% que el de la *Angustifolia* Kunth (1.2 MPa) y un 22.77 % más alto que el de la *Bambusa Vulgaris* del estudio del Ing. Fabian Alvares con (1.8 MPa).

Se evidencia que la variación en los resultados en cuanto a resistencia a la compresión para las diferentes secciones de los culmos ensayados esta entre el 9.9% entre la sección inferior ( 27.65 MPa) y la sección media (30.69 MPa) y entre esta misma sección y la sección superior (24.59 MPa) una variación del 19.87%.

En los resultados de resistencia al corte paralelo podemos ver que la resistencia más alta se presenta en la parte superior de los culmo con 2.33 MPa en promedio registrando una variación entre la sección superior y la inferior (1.55 MPa) de un 33.47% y entre la sección superior y la sección media (2.13 MPa) del 8.58%.

Los resultados de esfuerzos admisibles para corte paralelo son más altos para las probetas con nudo con 2.53 MPa que para las probetas sin nudo con 2,27 MPa.

## 7. Recomendaciones

Se recomienda continuar este estudio realizando ensayos de flexión, tracción y compresión perpendicular a la fibra para poder tener un panorama mucho más amplio de su desempeño estructuralmente y de cómo podría ser utilizada en el sector de la construcción de una manera que se garantice el aprovechamiento de las características mecánicas del material.

Por otro lado, es importante caracterizar el bambú *Phyllostachys aurea* de otras regiones del país, con el objetivo de tener una muestra más amplia, lo cual garantice que los valores obtenidos de la especie tengan la menor incertidumbre posible. Adicional se aconseja que de manera paralela a la caracterización se tenga en cuenta las propiedades del suelo para así estudiar las variables ambientales durante los periodos de crecimiento.

## **Comentarios finales**

En cuanto a la ejecución de los ensayos mecánicos: para este tipo de investigaciones en general se debe procurar mucha atención a la manipulación del material dentro del laboratorio, particularmente para controlar o conservar el contenido de humedad de las probetas unas respecto a las otras, para que no haya una gran diferencia a la hora del ensayo y varíen los resultados abruptamente, principalmente en el caso que se requiera hacer una comparación entre el contenido de humedad de cada muestra con su respectiva resistencia última. La diferencia drástica de contenido de humedad de las muestras se puede controlar no sacando del tanque de inmersión gran cantidad de probetas, 10 o 15 unidades a la vez para el ensayo, sino tres o cuatro, considerando que unas probetas demoran más en fallar que otras.

Para poder realizar los ensayos a las probetas del bambú *Phyllostachys aurea*, se requirió la fabricación de dispositivos especiales, ya que como el promedio de los diámetros de todas las probetas no sobrepasa los 50 mm, quedan muy cortas para los dispositivos existentes en este momento en el laboratorio de maderas de la universidad Nacional, sede Bogotá.

## 8. Referencias

- Acevedo Agudelo, h., Vásquez Hernández, a., & Ramírez Cardona, d. (2012). sostenibilidad: actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 15(1), 105-118. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/30825/30933>
- Caiza Guanotuña, N. B. (2020). *Phyllostachys aurea en estructuras ligeras. Estudio de caso: cubierta de flexión inactiva para espacio público urbano* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Cardenas, L., & Salinas, N. (2007). *Libro rojo de plantas de Colombia Especies maderables amenazadas* Primera parte (Vol. Primera Parte). Obtenido de <https://www.sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/LRMADERABLES.pdf>
- Colombia co. (2012). Colombia hace parte de los 17 países megadiversos del mundo. *Colombia co.* Obtenido de <http://www.colombia.co/esta-es-colombia/colombia-hace-parte-de-los-17-paises-megadiversos-del-mundo/>
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana / Unión Temporal Construcción Sostenible S.A y Fundación FIDHAP (Consultor). – Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012.
- Creswell, J. W. (2007). *Qualitative Inquiry & Research Design. Chosing Among Five Approaches.* (Second edition ed.): Sage Publications. United States.
- De Quindío, G. (2020). *ROBERTO JAIRO JARAMILLO CÁRDENAS.*
- Descamps, T., & Laplume, D. *NUEVOS MATERIALES Y FORMAS ARQUITECTÓNICAS PARA LAS CONSTRUCCIONES DE BAMBÚ EN ECUADOR.*
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2017). *Metodología de la investigación* (Sexta Edición ed.). México: McGraw Hill.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2007). *NTC 5525 -.* Metodos de ensayo para determinar las propiedades fisicas y mecanicas de la Guadua Nagustifolia Kunth. NTC 5525. Bogota.
- La cronica del quindio. (2015). *LA CRONICA del quindio.* Obtenido de <http://www.cronicadelquindio.com/noticia-completa-titulo-cedro-rbol-que-se-puede-encontrar-en-el-quindo-entre-las-especies-en-peligro-seccion-la-general-nota-90689.htm>

- ¿Cuál es el panorama de la importación de acero en Colombia? - SICEX - Investigación de Mercados. (2021). <https://sicex.com/blog/panorama-de-la-importacion-de-acero-en-colombia/>
- Agr Elmer Roberto Lopéz Rodríguez, I., Agr Carlos Francisco Anzuetto del Valle, I., Julio César Gordillo Coloma, L., Julio Francisco Reyna de León, I., Hernán Adolfo Sarmiento Quiroa Representante Suplente del Sector Privado Agrícola Lauriano Figueroa Quiñonez, I., & Agr Alvaro Dionel Orellana Polanco Presidente Licda Lidia Guadalupe Tello de la Fuente Secretaria Ing Agr Adán Obispo Rodas Cifuentes Vocal Ing Agr Mario Antonio Morales Montoya, I. (n.d.). *Manual para el cultivo de bambú Miembros de la Honorable Junta Directiva del ICTA Comité Editorial del ICTA*.
- Catalina, L., & Escobar, S. (2018). *Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de la Guadua angustifolia kunth del municipio de Socorro, Santander-Colombia*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69554>
- De Quindío, G. (2020). *ROBERTO JAIRO JARAMILLO CÁRDENAS*. <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/PDEA/Quindío.pdf#search=Búsqueda...bambu dorado>
- Información general - Alcaldía Municipal de Pacho Cundinamarca*. (n.d.). Retrieved August 10, 2021, from <http://www.pacho-cundinamarca.gov.co/municipio/informacion-general?q=clima>
- La Facultad De Química Farmacéutica, R. DE, Mejía G, A. I., Gallardo, C. C., Jairo VALLEJO, J. O., Ramírez, G. L., Arboleda, C. E., Susana DURANGO, E. A., Jaramillo Y, F. A., & Cadavid, E. T. (n.d.). *PLANTAS DEL GÉNERO BAMBUSA: IMPORTANCIA Y APLICACIONES EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA, COSMÉTICA Y ALIMENTARIA PLANTS OF THE GENUS BAMBUSA: IMPORTANCE AND APPLICATION IN THE PHARMACEUTICAL, COSMETIC AND FOOD INDUSTRY*.
- Leonardo, C., & Pinilla, A. (2013). *Determinación de los valores de esfuerzos admisibles del bambú Guadua angustifolia Kunth del departamento de Tolima, Colombia*.
- LISSETTE SANCHEZ CRUZ, M. (2002). *CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE COLMOS INTEIROS DE BAMBU DA ESPÉCIE PHYLLOSTACHYS AUREA: COMPORTAMENTO À FLAMBAGEM*. <https://doi.org/10.17771/PUCRIO.ACAD.3846>
- Londoño, X., & Londoño, X. (2011). El bambú en Colombia. *Biotecnología Vegetal*, 11(3). <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/485>
- Paula Soler Soler. (2017). *uso del bambú en la arquitectura contemporánea*. Tesis de Grado. <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106203/SOLER - CSA-F0111 Uso del bambú en la arquitectura contemporánea.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zaragoza-Hernández, I., Rubén Ordóñez-Candelaria, V., Bárcenas-Pazos, G. M., Máxima Borja-De La Rosa, A., & Zamudio-Sánchez, F. J. (2015). *PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA*

GUADUA MEXICANA (*Guadua aculeata*) PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF A  
MEXICAN GUADUA (*Guadua aculeata*). *Ciencia y Tecnología*, 17(3), 505–516.

<https://doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000045>

Vasata, A. C. D. P. (2020). *Análise das propriedades estáticas e dinâmicas das espécies de Bambu bambusa tuldoides e Phyllostachys aurea* (Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

Widmer, Y. (1991). Situación del bambú en América Latina, con énfasis en América Central y Costa Rica.

## **9. Anexos**

