

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LA GUADUA
ANGUSTIFOLIA KUNT PROVENIENTE DE LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO (META).



JUAN PABLO RINCÓN LEGUIZAMÓN



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2024

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LA GUADUA
ANGUSTIFOLIA KUNT PROVENIENTE DE LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO (META).

JUAN PABLO RINCÓN LEGUIZAMÓN

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor

Mg. BREGY HASSLER CHOQUE JIMÉNEZ

Magister en Estructuras

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2024

Autoridades Académicas

F. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O. P.

Rector General

F. Eduardo GONZALEZ GIL, O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.

Rector Seccional Villavicencio

F. Rodrigo GARCIA JARA, O. P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

Mg. Luis Fernando DÍAZ CRUZ

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

Agradecimientos

En un tono de profundo agradecimiento, no puedo dejar de reconocer a Dios que ha iluminado mi camino a lo largo de esta trayectoria, por ser la fuente inagotable de fortaleza y esperanza que me ha permitido afrontar los desafíos y celebrar los logros. Su gracia ha sido mi guía constante, y por eso le rindo gracias por la oportunidad de emprender este nuevo capítulo en mi vida.

Agradezco profundamente a mis padres, Martha Yaneth Leguizamon y Lino Alfonso Rincon, quienes han sido el sólido apoyo a lo largo de mi carrera y los pilares fundamentales que, con su dedicación, han contribuido a forjar la persona que soy. Expreso mi gratitud a mis hermanas, Paola Rincon, Jennifer Rincon, Diana Rincon y a mi hermano Edwin Rincon, por siempre estar dispuestas a respaldar mis ideas y reflexiones en el contexto de esta investigación.

Quisiera extender mi reconocimiento a Don Jairo Eudoro Ballesteros, propietario de la finca Moniyamena, por su disposición, amabilidad y el tiempo que generosamente dedicó para facilitarnos el acceso a los culmos de guadua Angustifolia que fueron fundamentales para nuestra investigación.

Asimismo, agradecerle al Ingeniero Bregy Hassler Choque, mi tutor, cuya orientación y asesoramiento resultaron fundamentales para el desarrollo exitoso de esta investigación. Su motivación inicial hacia este tema y sus sólidos conocimientos fueron inspiradores a lo largo de todo el proceso.

Agradezco a mis compañeros de estudio, cuya colaboración y apoyo fueron elementos clave para superar los obstáculos académicos a lo largo de mi carrera. Su contribución ha sido invaluable.

Contenido

	Pág.
Resumen	14
Abstract.....	15
Introducción.....	16
1. Formulación del problema.....	18
1.1. Descripción del problema.....	18
1.2. Formulación del problema	18
2. Objetivos	19
2.1. Objetivo general	19
2.2. Objetivos Específicos.....	19
3. Justificación.....	20
4. Estado del arte	22
5. Marco de referencia.....	24
5.1. Marco Teórico	24
5.1.1 Características de la guadua angustifolia Kunt.....	24
5.1.2 Grado de madurez	25
5.1.3 Contenido de humedad y microestructura	25
5.2. Propagación vegetativa de Guadua angustifolia Kunth	26
5.2.1 Propagación por chusques	26
5.2.2 Propagación por reproducción sexual	27
5.2.3 Propagación por rizoma	27
5.2.4 Propagación por riendas.....	28
5.3. Tipos de fallas	28
5.3.1 Falla por aplastamiento	28
5.3.2 Falla por pandeo a las fibras en dirección exterior	29
5.3.3 Falla por compresión perpendicular a las fibras	30
5.3.4 Falla por cortante	30

5.3.5	Falla a flexión	31
5.3.6	Falla a tensión	32
5.4.	Marco Normativo	33
5.5.	Marco Geográfico	33
5.5.1	Zona de realización del proyecto	34
6.	Metodología.....	36
6.1.	Permisos de extracción y movilización.....	36
6.2.	Selección del material	36
6.2.1	Estado de madures	37
6.3.	Clasificación.....	37
6.4.	Corte del material	38
6.5.	Transporte del material.....	39
6.6.	Acopio	40
6.7.	Rotulado	41
6.8.	Trozado de probetas	41
6.9.	Saturación del Material	42
6.10.	Caracterización Mecánica.....	43
6.10.1	Criterio de Chauvenet	43
6.10.2	Cálculo del valor característico.....	44
6.10.3	Determinación del esfuerzo admisible.....	45
6.10.4	Factores de reducción de valores de esfuerzo admisible y módulo de elasticidad ..	46
6.11.	Ensayo de compresión paralela a las fibras	47
6.11.1	Esfuerzo ultimo de compresión paralela a las fibras	49
6.11.2	Módulo de elasticidad a compresión paralela a las fibras.....	50
6.12.	Ensayo de compresión perpendicular a las fibras.....	51
6.12.1	Esfuerzo ultimo de compresión perpendicular a las fibras	52
6.13.	Ensayo de corte paralelo a las fibras	53
6.13.1	Esfuerzo ultimo de cortante paralelo a las fibras	55
6.14.	Ensayo de tensión paralelo a las fibras.....	55
6.14.1	Esfuerzo ultimo de tensión paralela a las fibras.....	57

6.14.2	Módulo de elasticidad de tensión paralela a las fibras.....	58
6.15.	Ensayo a flexión	59
6.15.1	Esfuerzo ultimo a flexión.....	60
6.15.2	Módulo de elasticidad a flexión.....	61
6.16.	Caracterización Física.....	62
6.16.1	Ensayo de contenido de humedad.....	62
6.16.2	Determinación del contenido de humedad.....	63
7.	Resultados y Análisis de datos	65
7.1.	Ensayo de compresión paralela a las fibras.....	65
7.1.1	Esfuerzo ultimo a la compresión paralela a las fibras.....	66
7.1.2	Esfuerzo admisible a compresión paralela a las fibras	68
7.1.3	Módulo de elasticidad a compresión paralela a las fibras.....	69
7.2.	Ensayo de compresión perpendicular a las fibras.	71
7.2.1	Esfuerzo ultimo a compresión perpendicular a las fibras	72
7.2.2	Esfuerzo admisible a compresión perpendicular a las fibras	74
7.3.	Ensayo de corte paralelo a las fibras	75
7.3.1	Esfuerzo ultimo a corte paralelo a las fibras	76
7.3.2	Esfuerzo admisible a cortante paralela a las fibras	78
7.4.	Ensayo de tensión paralela a las fibras.....	80
7.4.1	Esfuerzo ultimo a tensión paralelo a las fibras	81
7.4.2	Esfuerzo admisible a tensión paralela a las fibras	83
7.4.3	Módulo de elasticidad a tensión paralela a las fibras.....	84
7.5.	Ensayo a flexión	87
7.5.1	Esfuerzo ultimo a flexión.....	87
7.5.2	Esfuerzo admisible a flexión.....	89
7.5.3	Módulo de elasticidad a flexión.....	91
7.6.	Análisis de esfuerzos admisibles en las secciones del culmo	93
7.6.1	Comparación de esfuerzo admisible a tensión paralela	93
7.6.2	Comparación de esfuerzo admisible a corte paralelo	94
7.6.3	Comparación de esfuerzo admisible a flexión	96
7.6.4	Comparación de esfuerzo admisible a compresión paralela	96

7.7. Ensayo de contenido de humedad	97
7.8. Análisis de la procedencia de las investigaciones conforme a la ubicación geográfica .	98
Conclusiones	100
Referencias bibliográficas	102
Anexos	102

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Normas técnicas y decretos.....	33
Tabla 2 Distribución de probetas para cada ensayo mecánico	43
Tabla 3 Coeficientes de Chauvenet.....	44
Tabla 4 Factores de reducción	46
Tabla 5 Coeficientes de modificación por contenido de Humedad	46
Tabla 6 Equilibrio de Contenido de Humedad, ECH.....	47
Tabla 7 Esfuerzos admisibles mínimos, CH=12%	47
Tabla 8 Modulo de elasticidad, CH=12%.....	47
Tabla 9 Distribución y cantidades de probetas del ensayo de compresión paralela	48
Tabla 10 Distribución y cantidades de probetas del ensayo de compresión perpendicular.....	51
Tabla 11 Distribución y cantidades de probetas del ensayo de corte paralelo.....	53
Tabla 12 Distribución y cantidades de probetas del ensayo de tension paralela.	55
Tabla 13 Distribución y cantidades de probetas del ensayo a flexion	59
Tabla 14 Resultados obtenidos del ensayo de compresión paralela a las fibras.	65
Tabla 15 Resultados del análisis estadístico de esfuerzo ultimo de compresión paralela.	66
Tabla 16 Comparación de datos estadísticos de esfuerzo ultimo a compresión paralela.	67
Tabla 17 Esfuerzo admisible compresión paralela de cada sección del culmo.	68
Tabla 18 Esfuerzo admisible con factor de reduccion a compresión paralela.	68
Tabla 19 Resultados del análisis estadístico del módulo de elasticidad a compresión paralela. ...	69
Tabla 20 Correcion del modulo de elastcidad a compresión paralela.	70
Tabla 21 Comparación de datos estadísticos del módulo de elasticidad a compresión paralela. ...	70
Tabla 22 Resultados obtenidos del ensayo de compresión perpendicular a las fibras.....	72
Tabla 23 Resultados del análisis estadístico de esfuerzo ultimo a compresión perpendicular.	72
Tabla 24 Comparación de datos estadísticos de esfuerzo ultimo a compresión perpendicular. ...	73
Tabla 25 Esfuerzo admisible a compresión perpendicular de cada sección del culmo.	74
Tabla 26 Esfuerzo admisible con factor de reducción a compresión perpendicular.....	75
Tabla 27 Resultados obtenidos del ensayo de corte paralela a las fibras.....	76

Tabla 28 Resultados del análisis estadístico de esfuerzo último del ensayo de corte paralelo.....	77
Tabla 29 Comparación de datos estadísticos de esfuerzo ultimo de corte paralelo	77
Tabla 30 Esfuerzo admisible a cortante paralela de cada sección del culmo.	79
Tabla 31 Esfuerzo admisible con factor de reducción a cortante paralela.....	79
Tabla 32 Resultados obtenidos del ensayo de tensión paralela a las fibras	81
Tabla 33 Resultados del análisis estadístico de esfuerzo último del ensayo a tensión paralela	81
Tabla 34 Comparación de datos estadísticos de esfuerzo ultimo a tensión paralela	82
Tabla 35 Esfuerzo admisible a tensión paralela de cada sección del culmo.....	83
Tabla 36 Esfuerzo admisible con factor de reducción a tensión paralela	84
Tabla 37 Resultados del análisis estadístico del módulo de elasticidad a tensión paralela	85
Tabla 38 Corrección del módulo de elasticidad a tensión paralela.....	85
Tabla 39 Comparación de datos estadísticos del módulo de elasticidad a tensión paralela	86
Tabla 40 Resultados obtenidos del ensayo a flexión	87
Tabla 41 Resultados del análisis estadístico de esfuerzo ultimo a flexión	87
Tabla 42 Comparación de los datos estadísticos de esfuerzo ultimo a flexión.....	88
Tabla 43 Esfuerzo admisible a flexión de cada sección del culmo.....	89
Tabla 44 Esfuerzo admisible con factor de reducción a flexión	90
Tabla 45 Resultados del análisis estadístico del módulo de elasticidad a flexión	91
Tabla 46 Corrección del módulo de elasticidad a flexión.....	91
Tabla 47 Comparación de los datos estadísticos del módulo de elasticidad a flexión	92
Tabla 48 Comparación de esfuerzos admisibles a tensión paralela a las fibras.....	94
Tabla 49 Comparación de esfuerzos admisibles a corte paralelo a las fibras	95
Tabla 50 Comparación de esfuerzos admisibles a compresión paralela a las fibras	96
Tabla 51 Comparación de resultados de contenido de humedad.....	98
Tabla 52 Características geográficas donde se ha extraído la guadua angustifolia kunt	99

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Crecimiento y partes de la guadua angustifolia kunt.....	24
Figura 2 Distribución de vasos basculantes de un culmo de guadua angustifolia	26
Figura 3 Plántulas madre de guadua angustifolia kunt	27
Figura 4 Propagación vegetativa de guadua angustifolia por medio del rizoma	28
Figura 5 Falla de probeta por aplastamiento	29
Figura 6 Falla de probeta por pandeo a las fibras en dirección exterior	29
Figura 7 Falla de probeta por compresión perpendicular	30
Figura 8 Falla de probeta por cortante	31
Figura 9 Falla de porción de culmo a flexión	31
Figura 10 Falla de probeta por cargas a tensión	32
Figura 11 Municipio de Villavicencio Meta en Colombia	34
Figura 12 Lugar de extracción. Guadua de la Finca Moniyamena.....	35
Figura 13 Demarcación de la Finca Moniyamena	35
Figura 14 Permiso de salvoconducto de extracción.....	36
Figura 15 Culmo con características de madurez	37
Figura 16 Características físicas de un culmo de guadua angustifolia	38
Figura 17 Corte a ras del culmo de guadua angustifolia.....	39
Figura 18 Cargue de culmos de guadua angustifolia kunt.....	39
Figura 19 Acopio de culmos de guadua angustifolia kunt.....	40
Figura 20 Rotulado empleado para la identificación de las probetas	41
Figura 21 Trozado de probetas	42
Figura 22 Probetas sumergidas en agua.....	42
Figura 23 Representación de probetas para el ensayo de compresión paralela a las fibras.....	48
Figura 24 Montaje de probeta para el ensayo de compresión paralela a las fibras.....	49
Figura 25 Grafica del módulo de elasticidad a compresión paralela	50
Figura 26 Representación de probetas para el ensayo de compresión perpendicular	52
Figura 27 Montaje de probeta para el ensayo de compresión perpendicular.....	52

Figura 28 Representación de probetas para el ensayo de corte paralelo a las fibras	54
Figura 29 Montaje de probeta para el ensayo de corte paralelo a las fibras.	54
Figura 30 Representacion de probetas para el ensayo de tension paralela a las fibras	56
Figura 31 Montaje de la probeta para el ensayo a tension paralela a las fibras	57
Figura 32 Grafica del módulo de elasticidad de tensión paralela a las fibras	58
Figura 33 Esquema del montaje para el ensayo a flexión.....	59
Figura 34 Montaje de la probeta para el ensayo a flexión	60
Figura 35 Implementos utilizados en el ensayo de contenido de humedad	62
Figura 36 Selección de probetas y secado	63
Figura 37 Gráfico comparativo de esfuerzos últimos a compresión paralela.	67
Figura 38 Comparacion de esfuerzos admisibles a compresión paralela.	69
Figura 39 Comparación de módulos de elasticidad a compresión paralela.	71
Figura 40 Gráfico comparativo de esfuerzos últimos a compresión perpendicular.....	74
Figura 41 Gráfico comparativo de esfuerzos admisibles a compresión perpendicular.	75
Figura 42 Gráfico comparativo de esfuerzos últimos a corte paralelo.	78
Figura 43 Gráfico comparativo de esfuerzos admisibles a corte paralelo.	80
Figura 44 Gráfico comparativo de esfuerzos últimos a tensión paralela.	83
Figura 45 Gráfico comparativo de esfuerzos admisibles a tensión paralela	84
Figura 46 Gráfico comparativo del módulo de elasticidad a tensión paralela	86
Figura 47 Gráfico comparativo de esfuerzos últimos a flexión	89
Figura 48 Gráfico comparativo de esfuerzos admisible a flexión.	90
Figura 49 Gráfico comparativo del módulo de elasticidad a flexión.....	93
Figura 50 Grafico comparativo de esfuerzos admisibles a tensión paralela por porción	94
Figura 51 Grafico comparativo de esfuerzos admisibles a corte paralelo por porción.....	95
Figura 52 Grafico comparativo de esfuerzos admisibles a compresión paralela por porción	97

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo 1 Datos de entrada para el ensayo a compresión paralela.....	105
Anexo 2 Datos de entrada para el ensayo a compresión perpendicular	106
Anexo 3 Datos de entrada para el ensayo a corte paralelo	107

Resumen

La guadua angustifolia se destaca como una de las 20 mejores especies de bambú a nivel mundial, gracias a su rápido crecimiento y alta productividad. Además de estas propiedades, la guadua angustifolia posee características favorables que la hacen altamente valorada en diversas aplicaciones, destacando en la construcción sostenible y otras industrias debido a su resistencia y versatilidad.

La presente investigación tiene como objetivo general, determinar las características físicas y mecánicas de la guadua angustifolia Kunt proveniente de la ciudad de Villavicencio (Meta) y su capacidad para cumplir con los parámetros mínimos establecidos en la Norma Sismo Resistente NSR-10, con el fin de determinar su viabilidad como material estructural alternativo en la construcción de viviendas, especialmente en el contexto de la creciente problemática de déficit de vivienda en Colombia, particularmente en áreas rurales y comunidades de bajos ingresos, donde la falta de viviendas adecuadas es un problema persistente.

Para llevar a cabo esta investigación, se utilizaron 8 culmos de guadua angustifolia Kunt, cada uno con una longitud de 10 metros, extraídos de la Finca Moniyamena en la vereda Las Mercedes, ubicada en el Km 14 de la vía a Acacias en Villavicencio, Meta. Estos culmos se dividieron en tres secciones: Cepa(inferior), Basa(media) y Sobrebasas(superior). Se realizaron varios ensayos, incluyendo pruebas de compresión axial, flexión, corte paralelo a las fibras (con y sin nudos) y tensión paralela a las fibras, utilizando un total de 193 probetas para caracterizar las propiedades de la guadua. Además de estos ensayos, se llevaron a cabo pruebas de contenido de humedad. Es importante destacar que los culmos de guadua no fueron sometidos a ningún tratamiento de secado y se sumergieron durante al menos 2 semanas, como lo establece la normativa correspondiente.

Palabras Clave: Guadua angustifolia Kunt, Viviendas alternativas, Villavicencio (Meta), Características físicas, Culmos, Cepa.

Abstract

Guadua angustifolia stands out as one of the top 20 bamboo species worldwide, thanks to its fast growth and high productivity. In addition to these properties, guadua angustifolia has favourable characteristics that make it highly valued in various applications, especially in sustainable construction and other industries due to its strength and versatility.

Aim of this research is to determine the physical and mechanical characteristics of guadua angustifolia Kunt from Villavicencio (Meta) and its capacity to comply with the minimum parameters established in the Seismic Resistant Standard NSR-10, in order to determine its viability as an alternative structural material in housing construction, especially in the context of the growing housing deficit problem in Colombia, particularly in rural areas and low-income communities, where the lack of adequate housing is a persistent problem.

To carry out this research, 8 guadua angustifolia Kunt canes were used, each one with a length of 7 meters, extracted from the Moniyamena farm in the Las Mercedes village, located at Km 14 of the road to Acacias in Villavicencio, Meta. These culms were divided into three sections: Cepa(lower), Basa(middle) and Sobrebasa(upper). Several tests were carried out, including axial compression, bending, shearing parallel to the fibers (with and without knots) and tension parallel to the fibers, using a total of 193 specimens to characterize the properties of the guadua. In addition to these tests, density and moisture content tests were carried out. It is important to note that the guadua culms were not subjected to any drying treatment and were submerged for at least 2 weeks, as established by the corresponding regulations.

Key Word: Guadua angustifolia Kunt, Alternative housing, Villavicencio (Meta), physical characteristics, Culms, Strain.

Introducción

En el año 1822, el científico alemán Karl Sigmund Kunth hizo el hallazgo de una especie del bambú, llamada *Guadua angustifolia* Kunth. La denominación "guadua", concebida y adoptada por las comunidades autóctonas de Colombia, se convirtió en el nombre distintivo que resalta la singularidad de este bambú (Medina, 2018). La guadua, especie de bambú, tiene su hábitat natural en Ecuador, Colombia y Venezuela. Está presente en una gran parte de territorio que cubre el país de Colombia, cubriendo un área estimada de 51.500 ha (hectárea), en el que se distribuye en 46.250 ha naturales y 5.250 ha en plantaciones (Camargo García & Kleinn, 2010).

En Colombia actualmente los lugares y densidades donde se pueden encontrar la guadua son Quindío con un (44%), Cauca (13%), Valle (14%), Risaralda (12%), Antioquia (4%), Meta (11%). En donde el valle del cauca y el eje cafetero son las regiones en las que se tiene un mayor aprovechamiento de esta especie (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, 2021).

Las características importantes y relevantes que nos ofrece la guadua es el rápido crecimiento, fácil renovación y ser biodegradable, así como capacidad de absorber carbono. Asimismo, el material puede desempeñar un papel importante en la industria de la construcción, artesanía y medicina y de hecho se ha estimado que algunas especies de bambú podrían tener una tasa de uso cuatro veces más grande que la madera (Flander & Rovers, 2009).

Para el contexto de la construcción con el uso como material de *guadua angustifolia*, se entiende que el uso aplicado sirve para implementar una característica sostenible en Colombia y a su vez, el uso de materiales renovables. Cabe resaltar que el interés por la *Guadua angustifolia* Kunth nace de la buena respuesta estructural de las edificaciones construidas con este material a la actividad sísmica en el Eje Cafetero (Sapuyes et al., 2018).

Debido a la anatomía de la caña, la guadua muestra un comportamiento viscoelástico y anisotrópico (sus propiedades mecánicas son diferentes en diferentes direcciones) que brinda propiedades como material elástico y moldeable que puede tomar cualquier forma. Sin embargo, las particularidades son más importantes a lo largo de la caña, pues la densidad aumenta con la altura gracias a la forma cónica de la guadua (Correal & Juliana Arbeláez, 2010). Además, la edad de la cosecha es un factor fundamental en las propiedades físicas y mecánicas de la guadua. La mayor resistencia respecto a la edad del material varía entre especies de bambú, pero se suele saber que todas las especies maduran tras 3 años (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, 2021).

Actualmente, Colombia ha investigado poco el uso de la guadua angustifolia en la construcción. Este proyecto se propone caracterizar la guadua angustifolia Kunth en ciudad de Villavicencio, basándose en las especificaciones técnicas proporcionadas por la norma NTC 5525, con el objetivo de determinar si la guadua cumple con los requisitos mínimos exigidos por la NSR 10 y así mismo ofrecer una posible solución al déficit de viviendas en Villavicencio, Meta, mediante una alternativa de construcción, que reduciría significativamente los costos de construcción de viviendas, lo que beneficia a las personas de bajos recursos. Esto les brinda la posibilidad de acceder a viviendas asequibles y seguras.

En Villavicencio, el valor de un culmo de guadua angustifolia sin ningún tratamiento es de 0.046 SMLDV por metro lineal. No obstante, las normativas nacionales han generado obstáculos para su aprovechamiento. Actualmente, se están gestionando medidas para facilitar la utilización de este recurso, a través de normativas que aún se encuentran en proceso de espera.

Para llevar a cabo esta investigación, se revisaron normas técnicas relevantes, como la NTC 5300 ("Cosecha y postcosecha del culmo de Guadua angustifolia Kunth"), la NTC 5301 ("Preservación y secado del Culmo de Guadua angustifolia Kunth"), y la NTC 5302 ("Propagación vegetativa de Guadua angustifolia Kunth").

1. Formulación del problema

1.1. Descripción del problema

El déficit de vivienda en Colombia es una problemática que ha afectado al país durante muchos años. Según cifras del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en 2020 el déficit habitacional en Colombia fue de 6,7 millones de viviendas, un 31.4%. El déficit se concentra en zonas rurales y urbanas de bajos ingresos. En 2018 el departamento del Meta presentaba un déficit habitacional cuantitativo del 19,7%, lo que significa que alrededor de 63.722 hogares en la región no tenían una vivienda adecuada en cuanto a calidad, espacio y servicios básicos, por los altos costos de los materiales convencionales utilizados en la construcción.

Sin embargo, la guadua angustifolia es un material de construcción sostenible, renovable y económico que puede ser una alternativa para construir viviendas asequibles en estas áreas. Este material de construcción es resistente, duradero y fácil de trabajar, además de ser un renovable ya que puede cultivarse en zonas rurales, lo que significa que no es necesario importar materiales de construcción de otros países (Toro-Arango et al., 2023).

Es importante considerar que la construcción de viviendas en guadua requiere de conocimientos especializados y técnicas específicas para garantizar la calidad y seguridad de las estructuras construidas. Debido a que la guadua angustifolia necesita ser tratada adecuadamente para evitar la infestación de plagas y la degradación por la acción del clima y la humedad (Sánchez Trujillo et al., 2018) .

1.2. Formulación del problema

¿Qué aspectos del comportamiento estructural de la guadua angustifolia proveniente de la ciudad de Villavicencio (Meta) presenta una variabilidad significativa en sus propiedades físicas y mecánicas requeridas para cumplir con los parámetros mínimos establecidos en la Norma Sismo Resistente NSR-10?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Determinar las características físicas y mecánicas de la guadua angustifolia proveniente de la ciudad de Villavicencio (Meta) y su capacidad para cumplir con los parámetros mínimos establecidos en la Norma Sismo Resistente NSR-10, con el fin de determinar su viabilidad como material estructural alternativo en la construcción de viviendas.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas de la guadua angustifolia, tales como su contenido de humedad.
- Evaluar las propiedades mecánicas de la guadua angustifolia, mediante ensayos resistencia a la flexión, compresión y tracción en todas las direcciones posibles de la fibra.
- Evaluar la calidad de la guadua angustifolia de la ciudad de Villavicencio (Meta) y su potencial uso en la construcción.
- Analizar la variabilidad en las propiedades de la guadua en función de la ubicación geográfica de la plantación y su edad.

3. Justificación

La construcción de viviendas en guadua angustifolia puede ser una solución viable para abordar el déficit de vivienda en el departamento del Meta, especialmente en áreas rurales y en zonas donde se puede encontrar este tipo de material de construcción en una alta densidad. La información disponible sobre las características físico-mecánicas del material en el departamento es limitada, por tanto, se debe de revisar que estos materiales satisfagan el reglamento NSR-10, más específicamente el título G.12 y estándares de construcción como NTC 5525 que regulan la construcción con guadua.

Según cifras del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) en los últimos años ha habido un aumento en la demanda de la guadua como material de construcción sostenible y ecológico en Colombia, lo que ha llevado a un aumento en la producción y comercialización de este material en el país. En este sentido, el gobierno colombiano ha implementado políticas de fomento a la producción y uso de guadua en la construcción, lo que ha contribuido al crecimiento de esta industria como lo dicta la resolución 000009 del 2021.

La construcción de viviendas en guadua también puede generar importantes beneficios sociales y económicos para las comunidades locales, ya que esta alternativa puede reducir significativamente los costos en comparación con las viviendas convencionales, llegando a una disminución de hasta el 50% por metro cuadrado construido (Contreras Mamby & Vaglianti Bernal, 2018). Esta reducción en los costos puede hacer que sea más accesible para personas de bajos recursos construir sus propias viviendas, incluso con un presupuesto limitado.

Además de los beneficios económicos, la construcción con guadua angustifolia puede impulsar el desarrollo de habilidades y conocimientos técnicos en el campo de la construcción, lo que contribuye a la capacitación de la mano de obra local. Asimismo, promueve la conservación de los bosques al utilizar un recurso renovable y sostenible, como la guadua, en lugar de otros materiales que podrían causar una mayor deforestación. Esto, a su vez, contribuye a la preservación de la biodiversidad en la región.

La explotación de la guadua angustifolia podría parecer que causa un impacto ambiental negativo, pero, en realidad, sucede todo lo contrario. La particularidad de esta especie es que, cuando se maneja de manera adecuada, su capacidad de rebrote se fortalece, aumentando su densidad poblacional. Por lo tanto, si no se realiza una explotación controlada, su capacidad de

reproducción sería bastante limitada. Esto demuestra que un manejo responsable de la guadua angustifolia puede contribuir a su sostenibilidad y al mismo tiempo minimizar su impacto ambiental.

La caracterización de las guaduas se ha hecho en el centro de la región andina de Colombia, por lo que las analizadas vienen de lugares con características climáticas y de humedad similares. En consecuencia, en el país aún hay varias zonas o departamentos, con sus características particulares, en los que no se ha realizado este proceso de investigación y no hay datos al respecto.

4. Estado del arte

En Colombia se han desarrollado investigaciones sobre las características físico-mecánicas de la guadua angustifolia proveniente de los departamentos de Santander, Boyacá, Cundinamarca, entre otros. En busca caracterizar los diferentes comportamientos físico-mecánicos de las diferentes regiones del país, y así generar una ficha técnica sobre lo que posiblemente podríamos encontrar a lo largo y ancho del país.

En el estudio realizado en Oiba Santander se realizó un estudio sobre la caracterización físico-mecánica de la guadua angustifolia, donde se comparó y analizó importantes hallazgos que demostraron que la absorción de humedad de la guadua del sector es mucho mayor que en otras investigaciones realizadas en otros departamentos, con lo cual redujo significativamente sus valores de resistencia. En otra medida los valores de esfuerzo mínimo para los ensayos de tensión y compresión de la guadua de Santander no cumplieron con los requisitos mínimos dictados por la norma NSR-10 (Estefan, 2016).

En la investigación realizada en el municipio de La Victoria, Boyacá, realizo un estudio sobre las características físico-mecánicas de la guadua angustifolia Kunt, este concluye que cumple con el requisito de esfuerzo a corte paralelo a las fibras según el NSR-10, pero no alcanzó los valores requeridos en otros tipos de esfuerzos establecidos por el reglamento nacional. Esto ha sido una constante en todas las evaluaciones realizadas en el país hasta la fecha (Rueda Vega, 2023).

De igual manera, se encontró que los resultados de la guadua de La Victoria son muy similares a los de la guadua de Socorro (Sánchez, 2018), lo que coincide con que estas guaduas se extraían de lugares con un clima y una altura sobre el nivel del mar parecidas.

En este estudio se realizaron ensayos de compresión, flexión y tracción en muestras de guadua angustifolia para evaluar su resistencia y rigidez como alternativa para la construcción de puentes peatonales. Los resultados mostraron que la guadua es un material adecuado para la construcción de puentes de luz media y baja (Augusto Lamus Báez et al., 2014).

En esta investigación, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo para evaluar la viabilidad técnica y económica de construir una vivienda de 150 metros cuadrados empleando dos sistemas de construcción distintos. El enfoque principal de la investigación ha sido comparar los costos entre la construcción convencional y la construcción en guadua. Los resultados de este análisis revelan una reducción sustancial de aproximadamente el 50% en los costos totales al optar por la

construcción en guadua en lugar del enfoque tradicional (Dulfay, C. M. M. 2018). Este resultado demuestra la eficacia económica del sistema de construcción basado en guadua y su capacidad para ofrecer una alternativa rentable en el campo de la construcción.

La distribución de la *Guadua angustifolia* se ve limitada por varios factores climáticos. Su rango óptimo de temperatura oscila entre los 20°C y los 26°C, y temperaturas más bajas afectan negativamente el crecimiento de los tallos y el desarrollo vegetativo cuando se cultiva en áreas con temperaturas fuera de este rango. En cuanto a la altitud, esta especie crece en Colombia desde el nivel del mar hasta los 2.000 metros, pero su desarrollo óptimo se logra entre los 1000 y 1,600 metros sobre el nivel del mar. La precipitación también es crucial, ya que la guadua crece deficientemente en áreas con menos de 1.200 mm de precipitación anual, siendo los mejores resultados observados en lugares con precipitaciones de entre 2.000 mm y 2.500 mm anuales. Por último, la humedad relativa, que varía entre el 75% y el 85%, es un factor esencial para el desarrollo de los bosques de guadua (Gustavo Teneche, 2016).

Para llevar a cabo la investigación y el desarrollo de ensayos de laboratorio de la *guadua angustifolia*, se utiliza como base la norma NTC-5525. Dicha norma establece los procedimientos estandarizados que se emplean en Colombia para la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de la guadua.

5. Marco de referencia

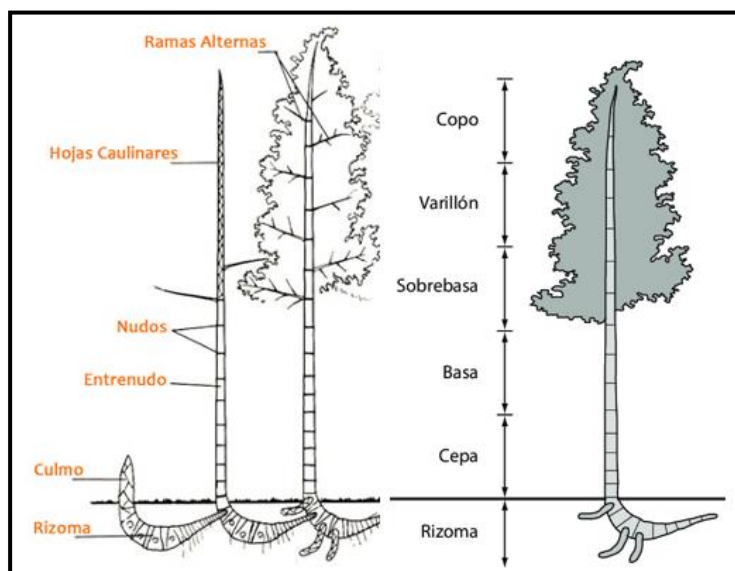
5.1. Marco Teórico

5.1.1 Características de la *guadua angustifolia* Kunt

La *Guadua angustifolia* muestra variaciones en sus propiedades mecánicas, que están ligadas a factores geográficos, altitudinales, condiciones de humedad, patrones de lluvia, duración de la exposición solar, entre otros. Uno de los aspectos más destacados es su capacidad para absorber y liberar humedad del entorno, conocida como hidroscoopia.

La hidroscoopia de la *Guadua angustifolia* constituye un atributo crucial que incide en sus características físicas y mecánicas. Este fenómeno implica la capacidad del material para ajustar su contenido de humedad en respuesta a las condiciones ambientales. La interacción con variables climáticas, como la humedad relativa y la precipitación, influye en la capacidad de la *guadua* para absorber o liberar agua, lo que a su vez puede tener implicaciones significativas en su resistencia y durabilidad.

Figura 1 Crecimiento y partes de la *guadua angustifolia* kunt



Nota Adaptado de (Gernot Minke,2010; Martin Estrada ,2010).

La *Guadua angustifolia*, al carecer de tejido de cambium, no experimenta un aumento en su diámetro con el paso del tiempo, ya que emerge del suelo con un diámetro establecido. Este atributo implica que el tallo de la guadua mantiene su forma original a lo largo de su vida.

5.1.2 *Grado de madurez*

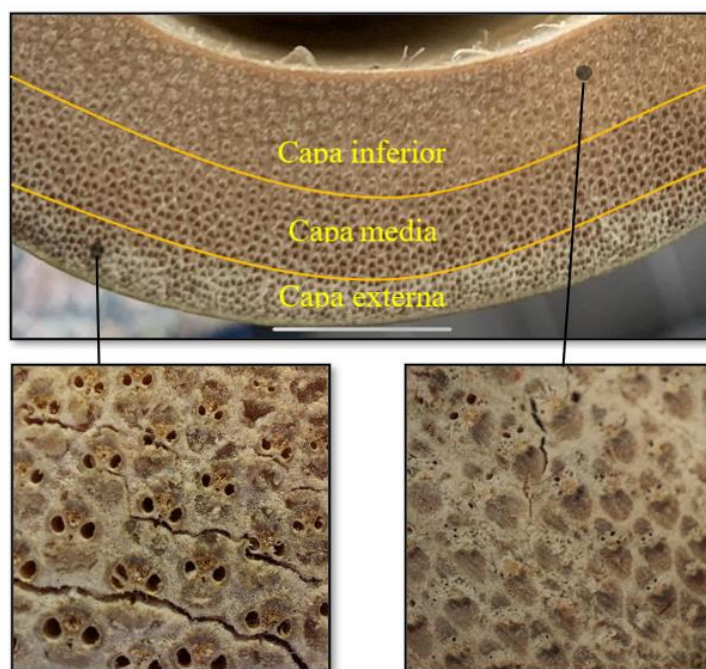
Durante los primeros seis meses, la guadua experimenta un crecimiento acelerado, alcanzando hasta 15 cm diarios, protegida por hojas caulinares. Su altura final, que oscila entre 20 y 30 metros, se logra en este período, destacando por un color verde intenso en el tallo. Después, comienza el desarrollo de ramas laterales y follaje. Durante los siguientes años, la planta contribuye significativamente a la fijación de CO₂ ambiental, aportando biomasa al terreno y consolidando su estructura leñosa.

Después de aproximadamente cuatro años, el culmo presenta un color verde claro opaco, con evidente presencia de líquenes en su corteza exterior. En este punto, se considera que el tallo ha alcanzado la madurez idónea para su uso como material estructural, y se procede al corte.

5.1.3 *Contenido de humedad y microestructura*

La composición de la guadua *angustifolia* incluye un 40% de fibras de celulosa, un 50% de células parenquimatosas y un 10% de vasos vasculares, según señala (MADRUNAL, 2010). Esta estructura exhibe una relación inversamente proporcional con su contenido de humedad. Por consiguiente, es imperativo realizar un análisis exhaustivo del comportamiento de la guadua en condiciones de saturación hídrica.

Figura 2 Distribución de vasos basculantes de un culmo de guadua angustifolia



En el caso de las especies de bambú, se observa una reducción proporcional en el tamaño de los vasos vasculares desde la base hasta la periferia, como ilustra la Figura 2. Simultáneamente, se registra un aumento en el tejido parenquimático, contribuyendo así a un aumento continuo en la densidad del material. (Faid & Aponte, 2016).

5.2. Propagación vegetativa de Guadua angustifolia Kunth

La guadua angustifolia es conocida por su capacidad para propagarse eficientemente a través de técnicas vegetativas, lo que permite la reproducción rápida y la conservación de las características deseables de la planta. A continuación, se muestra algunos de los métodos comunes de propagación vegetativa para Guadua angustifolia.

5.2.1 Propagación por chusques

Este método de propagación involucra la división de plántulas madres que han sido previamente establecidas en bancos de propagación. Después de aproximadamente 90 días, estas

plántulas madres tienen la capacidad de generar entre siete y quince nuevas plántulas. En Colombia, este método se destaca como uno de los mecanismos más eficaces y ampliamente utilizados para la propagación de la guadua angustifolia. La división de plántulas proporciona una manera eficiente de multiplicar el material vegetal y contribuye significativamente a la expansión y renovación de guadales.

Figura 3 Plántulas madre de guadua angustifolia kunt



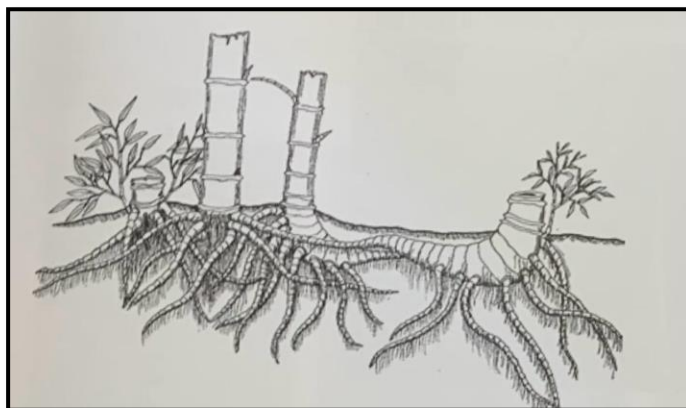
5.2.2 Propagación por reproducción sexual

La guadua angustifolia puede florecer dos veces durante el año, específicamente en marzo a mayo y de agosto a octubre. No obstante, la producción de semillas es notablemente limitada, ya que un gran porcentaje de las flores son parasitadas en su estado biche. Este fenómeno impide el desarrollo normal de las semillas, lo que resulta en una baja efectividad de este método. Por su escasa eficacia, el aprovechamiento de este proceso de floración para la propagación de la guadua es menos común que otros métodos disponibles.

5.2.3 Propagación por rizoma

Un corte preciso, realizado justo sobre el primer nudo sin causar su ruptura, inicia un proceso de transferencia rizomática de energía. Este proceso conduce a la formación de un nuevo culmo-rizoma, asegurando la continuidad del ciclo productivo.

Figura 4 Propagación vegetativa de guadua angustifolia por medio del rizoma



Nota: adaptado de (Camargo, J.C, 2006)

5.2.4 Propagación por riendas

Este método de propagación se basa en la utilización de riendas jóvenes que emergen del tercio basal de la guadua. Estas riendas, cuya longitud se extiende hasta tocar el suelo, experimentan un proceso de enterramiento natural, dando lugar a la formación de una célula germinal que da origen a un nuevo guadua. Aunque este método ocurre de manera espontánea, también existe una variante que se lleva a cabo de forma manual. En esta modalidad, las riendas se cortan en segmentos de 15 cm de longitud, seleccionados de la porción media de la rienda. Los segmentos resultantes se sumergen en agua tras ser cortados, y luego se colocan en un recipiente con sustrato rico en materia orgánica. Después, este conjunto se traslada a una bolsa diseñada para contener material orgánico, preparándolo para la plantación posterior.

5.3. Tipos de fallas

5.3.1 Falla por aplastamiento

Durante los ensayos de compresión paralela a las fibras, pueden surgir fallas que superan la capacidad del material para resistirlas. En esta situación, el material experimenta un colapso o deformación bajo cargas de compresión, dando lugar a la formación de grietas y un abultamiento

en la parte superior e inferior del culmo, como se ilustra en la Figura 5. Estos fenómenos son ocasionados por el contacto con los platos de compresión utilizados en el ensayo.

Figura 5 Falla de probeta por aplastamiento



Nota: Imagen número 3 fue obtenida de (Salazar Jaramillo et al., 2016).

5.3.2 Falla por pandeo a las fibras en dirección exterior

Este tipo de falla es común en ensayos de compresión paralela a las fibras, ya que en estos casos la carga aplicada excede la capacidad de resistencia del material, provocando un comportamiento de pandeo lateral en las fibras, como se ilustra en la Figura 6. En esta situación, las fibras se doblan en dirección externa al culmo, generando deformaciones que pueden llevar a la deformación plástica o incluso a la fractura del material.

Figura 6 Falla de probeta por pandeo a las fibras en dirección exterior

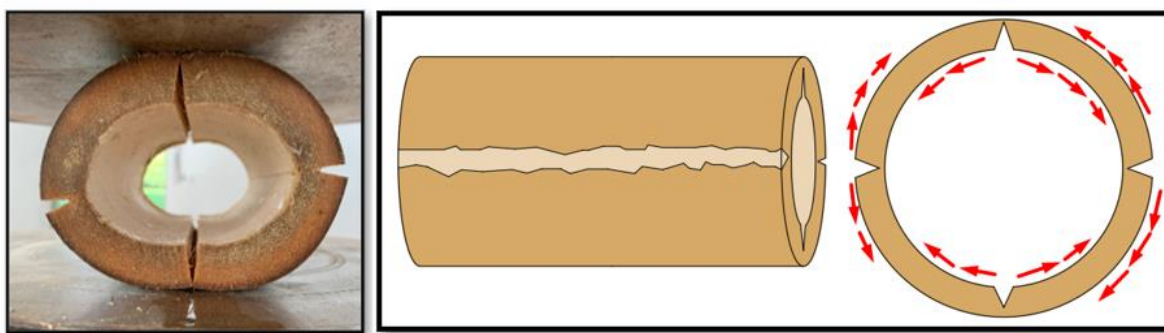


Nota: Imagen número 3 fue obtenida de (Salazar Jaramillo et al., 2016).

5.3.3 Falla por compresión perpendicular a las fibras

El comportamiento de las probetas utilizadas en el ensayo reveló la formación de fisuras perpendiculares entre sí en cuatro secciones del culmo, como se muestra en la Figura 7. La observación del comportamiento y el fallo del culmo permite concluir que estas fisuras se generaron debido a fuerzas internas de tracción. Estas fuerzas de tracción, originadas internamente, provocan fisuras verticales, mientras que externamente generan fisuras horizontales. Este fenómeno puede ser atribuido a la disposición unidireccional de las fibras en la guadua. La presencia de fuerzas internas de tracción ejerce tensiones opuestas en las fibras, dando como resultado la formación de fisuras tanto en dirección vertical como horizontal en las secciones del culmo.

Figura 7 Falla de probeta por compresión perpendicular



5.3.4 Falla por cortante

La falla por cortante, también conocida como corte, se produce cuando se aplica una fuerza que actúa en direcciones opuestas a través de dos secciones adyacentes, como es el caso de las dos platinas de acero en este contexto. Este fenómeno provoca el deslizamiento relativo entre las secciones, tal como se observa en la Figura 8. Este tipo de falla se manifiesta en estructuras cuando las fuerzas tangenciales aplicadas superan la capacidad del material para resistirlas. En este escenario, la falta de resistencia del material a las fuerzas cortantes provoca el desplazamiento lateral de las secciones, dando lugar a la falla por cortante.

Figura 8 Falla de probeta por cortante

5.3.5 Falla a flexión

Antes de que ocurra la falla completa, la guadua sometida a cargas de flexión experimenta deformaciones notables, manifestadas en curvaturas, indicando que la estructura se está estirando más allá de su capacidad de resistencia. A medida que la carga de flexión aumenta, se desarrollan fisuras en la guadua, especialmente en los puntos de mayor esfuerzo, que suelen ubicarse en el punto medio de la probeta. Estas fisuras son señales reveladoras de la debilidad estructural y sugieren que la guadua está alcanzando su límite de resistencia.

La falla a flexión se manifiesta como una rotura o fractura en la guadua cuando la carga aplicada excede su capacidad para resistir las fuerzas de flexión, tal como se ilustra en la Figura 9. Este fenómeno evidencia que la guadua ha llegado a un punto crítico donde no puede soportar la carga aplicada y, como resultado, se produce la ruptura estructural.

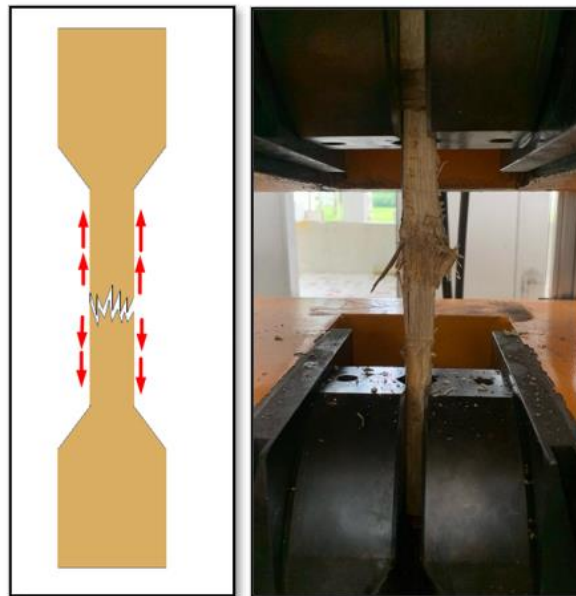
Figura 9 Falla de porción de culmo a flexión

5.3.6 Falla a tensión

La falla por tensión se origina a partir de dos fuerzas perpendiculares y opuestas entre sí, como se ilustra en la Figura 10. Inicialmente, la probeta sometida a fuerzas de tracción experimenta una deformación elástica, lo que implica que se estira temporalmente en respuesta a la carga aplicada. A medida que la carga de tracción persiste, la probeta llega a un punto de cedencia, donde la deformación ya no es completamente elástica, y puede ocurrir una deformación plástica permanente.

Con el aumento de la carga, el material puede desarrollar fisuras o llegar al punto de fractura, especialmente si no puede soportar la tensión aplicada. Este escenario puede dar lugar a una fractura repentina, con la consecuente separación de las secciones de la probeta. En algunos casos, la falla se manifiesta con una fisura diagonal, lo que añade una característica específica a la configuración de la fractura. Este tipo de falla es indicativo de la incapacidad del material para resistir las fuerzas de tracción aplicadas, resultando en la ruptura de la probeta.

Figura 10 Falla de probeta por cargas a tensión



5.4. Marco Normativo

Este estudio se realizó cumpliendo las normativas y decretos mencionados a continuación, garantizando su adecuada realización y cumplimiento.

Tabla 1 Normas técnicas y decretos

Norma	Descripción
NTC 5525	Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua angustifolia Kunt.
NTC 5300	Cosecha y postcosecha del Culmo de Guadua angustifolia Kunth.
NTC 5301	Preservación y secado del Culmo de Guadua angustifolia Kunth.
NTC 5302	Propagación vegetativa de Guadua angustifolia Kunth.
Norma Unificada en Guadua	Reglamentación para el manejo, aprovechamiento y establecimiento de guadua, Caña Brava y Bambúes.
NSR-10 TITULO G.12	Estructuras en Guadua.
NSR-10	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10
LEY 2206 DE 2022	Titulo II. Política de conservación, aprovechamiento y uso.
RESOLUCIÓN 1909 DE 2017	Salvoconducto Único Nacional en Línea para la movilización de especímenes de la diversidad biológica.
ISO 22157 del 2019	Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de las cañas de bambú.

5.5. Marco Geográfico

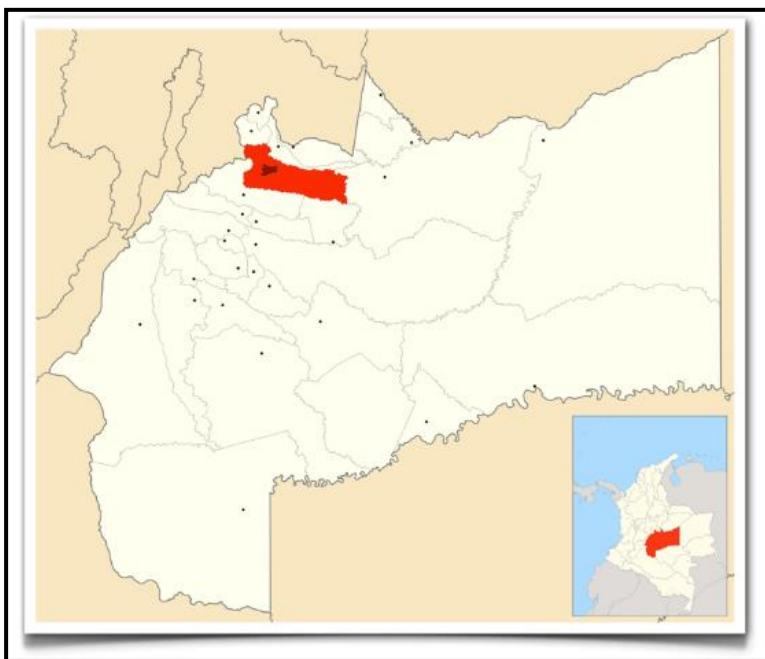
Villavicencio, como capital del departamento del Meta en Colombia, se sitúa estratégicamente en el núcleo de los Llanos Orientales del país. La ciudad tiene gran relevancia regional, respaldada por su crecimiento económico sostenido, su papel como epicentro administrativo del departamento y su destacada posición en los sectores petrolero y ganadero.

La precipitación anual en Villavicencio alcanza aproximadamente los 4000 mm, con un promedio de 247 días de lluvia al año, según datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y

Estudios Ambientales (IDEAM) en 2022. Las temperaturas oscilan entre 21°C y 31°C, configurando un clima característico de la región.

En cuanto a la humedad relativa, esta se mantiene en un rango del 77 al 88%, registrando niveles más elevados durante los meses de abril y noviembre, mientras que alcanza valores menores en julio y agosto.

Figura 11 Municipio de Villavicencio Meta en Colombia



Nota: Adaptado de (Milenioscuro 2012).

5.5.1 Zona de realización del proyecto

La *Guadua angustifolia* Kunt utilizada en el marco de esta investigación fue recolectada en la Finca Moniyamena, localizada en la vereda Las Mercedes, específicamente en el Kilómetro 14 de la vía a Acacias, en la ciudad de Villavicencio. La altitud de esta ubicación es de 483 metros sobre el nivel del mar.

Figura 12 Lugar de extracción. Guadua de la Finca Moniyamena



Las coordenadas geográficas exactas de la finca son 4°3'33.90"N de latitud y 73°42'34.53"O de longitud. Estas coordenadas se proporcionan con el propósito de proporcionar de dar una precisa ubicación geoespacial que contribuye a la identificación y contextualización exacta de la procedencia de la Guadua angustifolia Kunt utilizada en el estudio.

Figura 13 Demarcación de la Finca Moniyamena



Nota: Adaptado de (Google Maps,2023).

6. Metodología

6.1. Permisos de extracción y movilización

La normativa concerniente a la extracción y transporte de guadua está sujeta a variaciones de acuerdo con las disposiciones legales específicas de cada país, región o departamento. Colombia se han establecido regulaciones y requisitos para conservar los recursos naturales y promover prácticas sostenibles en dichas actividades. Cormacarena, la "Corporación para el Desarrollo Sostenible del área de Manejo Especial La Macarena", se erige como la entidad competente para la emisión de salvoconductos que autorizan tanto la extracción como el transporte de guadua. La duración de estos permisos varía, con un tiempo aproximado de dos meses para la obtención del salvoconducto de extracción y un plazo de tres días para el permiso de transporte.

Figura 14 Permiso de salvoconducto de extracción

PM-GA.3.23.13400

Villavicencio

Señor,
JAIRO EUDORO BALLESTEROS
Teléfono: 3114815498
Dirección: Km 14 vía Acacias, vereda Las Mercedes Villa Claudia, Finca Moniyamena,
Villavicencio
Correo: ingablorincon@gmail.com
Villavicencio

ASUNTO: Remisión concepto técnico PM-GA.3.44.23.2813 del 02 de noviembre de 2023 en atención al radicado No 24400 del 29 de septiembre de 2023

Cordial saludo,

Me permito informarle que al tenor de lo dispuesto en los artículos comprendidos entre el 2.2.1.1.9.1 y el 2.2.1.1.9.6 del Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 del 25 de mayo de 2015, y concordante con lo dispuesto en la ley 1437 de 2011, la cual en su artículo 20 tipifica los casos en que se procede a proteger los derechos fundamentales, así mismo de conformidad con lo conceptualizado por los funcionarios en la visita de inspección ocular realizada el día 14 de junio de 2023, se verificó la necesidad de una tala por riesgo de caída en infraestructura cercana y población circundante.

Dadas las características especiales, se AUTORIZA el tratamiento silvicultural de 1 (uno) rodal de guadua donde se realizará la poda de 8 (ocho) culmos que suman 0.8 m³ ubicados en zona privada, mediante el Concepto técnico PM-GA.3.44.23.2813 del 02 de noviembre de 2023, el cual se indica en el siguiente cuadro:

Tabla 1. Tratamiento silvicultural autorizado

No	Nombre Común	Nombre científico	Cantidad de tallos (culmos)	Volumen por tallo (m³)	Volumen total (m³)	Grado de Amenaza
Rodal #1	Bambu	Guadua angustifolia Kunth	8	0.1	0.8	Alta

6.2. Selección del material

Tras la identificación del cultivo de Guadua angustifolia, procedimos a la selección de los 8 culmos con la asistencia de un experto en el ámbito de la guadua. Esta persona especializada

colaboró en la elección de los culmos que mostraban la madurez adecuada para su aprovechamiento.

6.2.1 Estado de madures

Las características distintivas del estado de madurez se evidencian en la tonalidad verdosa clara de la Guadua, acompañada de manchas de líquenes y la ausencia de pubescencia en la superficie del culmo como se observa en la

Figura 15. Además, se observa la carencia de hojas caulinares a lo largo de su extensión. Al cumplir con estas características, se puede inferir que el culmo ha alcanzado la madurez, indicando un rango de edad estimado entre 3 y 5 años.

Figura 15 Culmo con características de madurez



6.3. Clasificación

Para la clasificación del material, tenemos en cuenta varios aspectos:

- Los culmos elegidos deben mostrar un estado saludable, sin evidencia de daños causados por hongos e insectos, como perforaciones u otros signos de infestación.

- Es crucial que los culmos seleccionados estén libres de defectos notables, tales como rajaduras, perforaciones y otros daños físico-mecánicos, que podrían comprometer su integridad estructural.

Figura 16 Características físicas de un culmo de guadua angustifolia



6.4. Corte del material

El corte de cada culmo de guadua se realizó a ras por encima del primer o segundo nudo, con el fin de que el guadua pueda rebrotar en este punto y así evitar la acumulación de agua, siguiendo las directrices establecidas por la Norma Técnica Colombiana NTC 5300. Además, se implementó la práctica de realizar el corte durante la fase de luna menguante, conforme a creencias tradicionales arraigadas en la agricultura y la silvicultura. De acuerdo con esta perspectiva, la elección de la luna menguante se fundamenta en la concepción de que, durante este período, la influencia lunar facilita el movimiento descendente del agua hacia las raíces, optimizando así las condiciones de la guadua para su óptimo aprovechamiento.

Figura 17 Corte a ras del culmo de guadua angustifolia



Posterior al corte del culmo de la *Guadua angustifolia* Kunt, se inicia el proceso de medición y clasificación de sus componentes fundamentales. Estos se dividen en tres partes distintivas: la Cepa (Inferior), con una longitud aproximada de 3 metros; la Basa (Media), con una longitud aproximada de 4 metros; y la Sobrebasa (Superior), con una longitud estimada de 3 metros. Es esencial resaltar que estas medidas son aproximadas y sirven como referencia en la clasificación precisa de cada segmento del culmo.

6.5. Transporte del material

Desde el momento en que se efectúa el corte de los culmos de guadua, es imperativo implementar prácticas que minimicen el deterioro del material, tanto durante las operaciones de carga y descarga como a lo largo del transporte. Para prevenir posibles daños, se recomienda evitar acumulaciones o disposiciones de más de 2.4 metros de altura, para evitar la compresión del material. Dada la limitada amplitud del vehículo de transporte, se optó por transportar los culmos en posición horizontal, alternando su disposición basal y apical. Después, la guadua se trasladó al laboratorio de la Universidad Santo Tomás en Villavicencio, Meta.

Figura 18 Cargue de culmos de guadua angustifolia kunt



6.6. Acopio

La Guadua Angustifolia, se resguardo en las instalaciones de la Universidad Santo Tomás en Villavicencio, Meta. Este almacenamiento se lleva a cabo en un entorno sombreado que excluye la presencia de insectos, mitigando así cualquier amenaza potencial para la integridad del material. La disposición de los culmos se realiza mediante apilamiento. Además, se mantiene un control preciso de las condiciones ambientales, con una temperatura relativa de 25 grados Celsius y una humedad relativa del 75%. garantizando las condiciones óptimas de almacenamiento para la Guadua Angustifolia, preservando sus propiedades y calidad.

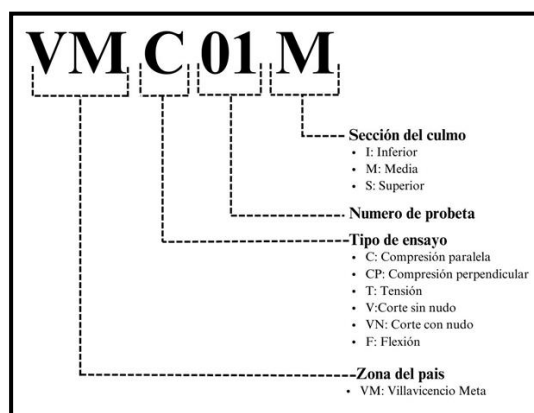
Figura 19 Acopio de culmos de guadua angustifolia kunt



6.7. Rotulado

Cada una de las probetas fue debidamente etiquetada de acuerdo con la Figura 20, previo a su seccionamiento, con el propósito de identificar de manera precisa la sección correspondiente, el número asignado, el tipo de ensayo al que serán sometidas, así como la región geográfica de origen de cada probeta a analizar.

Figura 20 Rotulado empleado para la identificación de las probetas



6.8. Trozado de probetas

Los culmos de guadua se transportaron a una carpintería, debido a que no se contaba con las herramientas adecuadas para realizar los complejos cortes que se requerían para cada ensayo, posteriormente, se procedió al corte de las probetas destinadas a pruebas de compresión, corte y flexión mediante una sierra ingleteadora, mientras que las probetas destinadas a ensayos de tensión fueron cortadas con una sierra sinfín.

Figura 21 Trozado de probetas

Después de los cortes, se trasladó de inmediato las muestras de vuelta a las instalaciones de la Universidad Santo Tomás para preservar sus propiedades físicas sin afectarse de manera significativa.

6.9. Saturación del Material

Se envolvían las probetas en bolsas para evitar que estas flotaran. Es importante señalar que, para las probetas destinadas al ensayo de flexión, se aplicó un contrapeso de manera cuidadosa para sumergirlas completamente sin comprometer su integridad. En estas condiciones, el conjunto de probetas se mantuvo inmersión durante un período mínimo de 15 días, para alcanzar el grado de saturación máxima de estas.

Figura 22 Probetas sumergidas en agua

6.10. Caracterización Mecánica

La metodología empleada para llevar a cabo la caracterización mecánica de los ensayos de flexión, compresión, tensión y corte se ejecutó conforme a las especificaciones estipuladas en la norma NTC 5525. Cada una de las muestras fue sometida a pruebas utilizando la máquina Universal Testing Machine (UTM-001/LCD) – ALFA, con una capacidad de 2000 kN (200 toneladas), para la cual se requirió un montaje específico para cada tipo de ensayo. En total, se realizaron 193 ensayos mecánicos, distribuidos según se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2 Distribución de probetas para cada ensayo mecánico

Ensayo	Cantidad de Probetas
Corte	67
Flexión	12
Tensión paralela	36
Compresión paralela	40
Compresión perpendicular	38
Total	193

Todas las probetas fueron sometidas a ensayos de acuerdo con las pautas establecidas en la norma NTC 5525, aplicando una carga constante a una velocidad de 0.01 mm/s. Se garantizó que las probetas no presentaran deformaciones ni inclinaciones notables, y se aseguró de que la desviación máxima no excediera los 0.2 mm. Este protocolo riguroso cumple con los estándares establecidos para asegurar la integridad y la precisión de los resultados obtenidos durante la evaluación de las propiedades mecánicas de las probetas.

6.10.1 Criterio de Chauvenet

Se procedió a analizar mediante el método de Chauvenet todos los datos de esfuerzo último, esfuerzo admisible y contenido de humedad obtenidos de las probetas ensayadas. El propósito de este método es evaluar si un dato experimental dentro de un conjunto de datos experimentales es considerado atípico o típico. En este contexto, el resultado de la Ecuación 1 debe ser menor o igual a los valores establecidos por los coeficientes de Chauvenet para ser considerado un dato típico,

como se indica en la Tabla 3. Estos coeficientes están directamente vinculados a la cantidad de datos a medir.

Ecuación 1

$$K_n = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

Donde:

K_n = Es el coeficiente de Chauvenet.

x = Es el valor de cada dato que conforman el conjunto de datos.

$\bar{x}$ = Es el promedio del conjunto de datos.

s = Es la Desviación estándar del conjunto de datos.

Tabla 3 Coeficientes de Chauvenet

n	kn	n	kn
2	1,15	15	2,13
3	1,35	20	2,24
4	1,54	25	2,33
5	1,65	30	2,4
6	1,73	40	2,48
7	1,8	50	2,57
8	1,86	100	2,61
9	1,92	300	3,14
10	1,96	500	3,29

6.10.2 Cálculo del valor característico

Después de realizar el análisis estadístico individual de cada ensayo con el objetivo de calcular el esfuerzo admisible, se requiere inicialmente la determinación del valor característico de la sollicitación mediante la aplicación de la Ecuación 2, la cual proviene de la normativa NSR-10 del capítulo G.12.7-1.

Ecuación 2

$$f_{ki} = f_{0.05i} \left[1 - \frac{2.7 * \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

f_{ki} = Es el valor característico del conjunto de datos de la sollicitación i .

$f_{0.05i}$ = Es el valor correspondiente al percentil 5 de los datos de la sollicitación i .

m = Es el promedio del conjunto de datos.

s = Es la desviación estándar del conjunto de datos.

n = Numero de datos del ensayo evaluados.

i = Subíndice que varían según el tipo de sollicitación, siendo t para tracción paralela a las fibras, b para flexión, v para cortante paralelo a las fibras, c para compresión paralela a las fibras y p para compresión perpendicular a las fibras.

6.10.3 Determinación del esfuerzo admisible

Una vez definido el valor característico para cada modalidad de sollicitación, se inicia el proceso de determinación del esfuerzo asociado a cada ensayo realizado. Este cálculo se realiza aplicando la Ecuación 3, la cual proviene de la normativa NSR-10, específicamente en el capítulo G.12.7-2.

Ecuación 3

$$F_i = \frac{FC}{F_s * FDC} * f_{ki}$$

Donde:

F_i = Es el valor del esfuerzo admisible de la sollicitación i .

f_{ki} = Es el valor característico del conjunto de datos de la sollicitación i .

FC = Es el factor de reducción por diferencias entre las condiciones de los ensayos y las condiciones reales de aplicación de las cargas en la estructura ubicados en la Tabla 4.

F_s = Es el factor de seguridad de la sollicitación, véase la Tabla 4.

FDS = Es el factor de duración de carga, véase la Tabla 4.

i = Subíndice que varían según el tipo de sollicitación, siendo t para tracción paralela a las fibras, b para flexión, v para cortante paralelo a las fibras, c para compresión paralela a las fibras y p para compresión perpendicular a las fibras.

Tabla 4 Factores de reducción

Factor	Flexión	Tracción	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte
FC	1,0	0,5	1,0	1,0	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

Nota: Adaptado de NSR-10 Título G.12 (2010).

6.10.4 Factores de reducción de valores de esfuerzo admisible y módulo de elasticidad

La especie de bambú *Guadua angustifolia* kunt, de acuerdo con la Norma Sismo Resistente NSR-10, exhibe variaciones en su resistencia en relación con el grado de humedad o saturación del material. Por lo tanto, se deben tener en cuenta factores de reducción según lo indicado en la Tabla 5, con el fin de aplicar un factor de seguridad adicional a los valores de esfuerzo admisible y módulo de elasticidad. Esto se debe a que, si las condiciones ambientales en el lugar donde se realizará la construcción generan variaciones en el contenido de humedad por encima del 12%, se debe aplicar el factor de reducción correspondiente.

Tabla 5 Coeficientes de modificación por contenido de Humedad

Esfuerzo	CH≤12 %	CH=13 %	CH=14 %	CH=15 %	CH=16 %	CH=17 %	CH=18 %	CH≥19 %
Flexión	1,0	0,96	0,91	0,87	0,83	0,79	0,74	0,70
Tracción	1,0	0,97	0,94	0,91	0,89	0,86	0,83	0,80
Compresión paralela	1,0	0,96	0,91	0,97	0,83	0,79	0,74	0,70
Compresión perpendicular	1,0	0,97	0,94	0,91	0,89	0,86	0,83	0,80
Corte	1,0	0,97	0,94	0,91	0,89	0,86	0,83	0,80
Módulo de elasticidad	1,0	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90

Nota: Adaptado de NSR-10 Título G.12 (2010).

A modo de referencia, se presenta en la Tabla 6 la información relativa a la humedad relativa, temperatura y contenido de humedad para cada ciudad específica, permitiendo una contextualización más precisa y la adecuada aplicación de los factores de reducción correspondientes.

Tabla 6 Equilibrio de Contenido de Humedad, ECH

Ciudad	HR%	T°C	ECH%
Armenia	77	22	15
Barranquilla	76	28	14
Bogotá	80	11	16
Bucaramanga	75	22	14
Cali	75	24	12
Medellín	68	21	12
Villavicencio	75	25	14
Tunja	80	13	16

Nota: Adaptado de NSR-10 Título G.12. Tabla G-D-1 (2010).

Cada tipo de ensayo debe cumplir con los esfuerzos admisibles indicados en la Tabla 7, así como con los módulos de elasticidad establecidos en la Tabla 8, de acuerdo con las especificaciones de la Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10).

Tabla 7 Esfuerzos admisibles mínimos, CH=12%

Unidad	Flexión	Tracción	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte
(Mpa)	15	18	14	1,4	1,2

Nota: Adaptado de NSR-10 Título G.12 (2010).

Tabla 8 Modulo de elasticidad, CH=12%

Unidad	Modulo promedio	Modulo percentil 5	Modulo mínimo
(Mpa)	9500	7500	4000

Nota: Adaptado de NSR-10 Título G.12 (2010).

6.11. Ensayo de compresión paralela a las fibras

Cada probeta designada para la realización del ensayo de compresión paralela a las fibras tiene como objetivo la evaluación de la resistencia última, el esfuerzo admisible y el módulo de

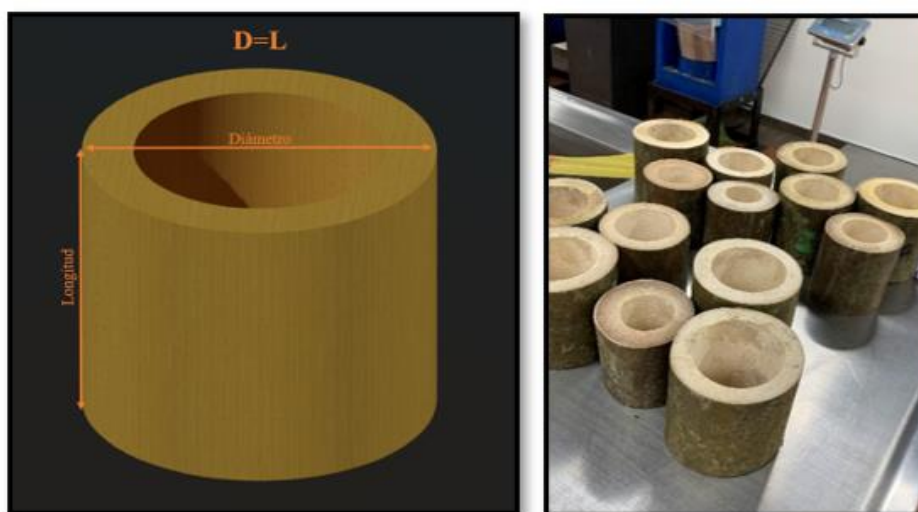
elasticidad de la guadua angustifolia kunt proveniente de la ciudad de Villavicencio, Meta. En la ejecución de dicho ensayo, se adquirieron un total de 40 probetas, las cuales fueron distribuidas en tres secciones distintas: inferior, media y superior, según se detalla en la Tabla 9.

Tabla 9 Distribución y cantidades de probetas del ensayo de compresión paralela

Sección	Cantidad de probetas
Inferior	14
Media	13
Superior	13
Total	40

El ensayo se llevó a cabo conforme a las directrices establecidas en la norma NTC 5525, aplicando una carga constante a una velocidad de 0.01 mm/s. Estos ensayos de compresión axial se realizaron en probetas exentas de nudos, con una longitud equivalente al diámetro externo, asegurándose de que dichas probetas no exhibieran deformaciones ni inclinaciones, y que la desviación máxima no superara los 0.2 mm.

Figura 23 Representación de probetas para el ensayo de compresión paralela a las fibras



A continuación, cada probeta fue posicionado en sentido vertical sobre la placa de carga, tal como se ilustra en la Figura 24. Para distribuir uniformemente la carga sobre el espécimen se

aplicó una carga inicial de magnitud reducida. Este procedimiento se realizó para obtener más tarde datos precisos sobre la resistencia última y la deformación del elemento.

Figura 24 Montaje de probeta para el ensayo de compresión paralela a las fibras



6.11.1 Esfuerzo ultimo de compresión paralela a las fibras

El procedimiento para poder determinar el esfuerzo ultimo de compresión paralela a las fibras se halló utilizando la Ecuación 4 obtenida de la NTC 5525.

Ecuación 4

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

Donde:

σ_{ult} = Es el esfuerzo último de compresión, en MPa (N/mm²)

F_{ult} = La carga máxima que provoca el fallo de la probeta, en N.

A = Área de sección transversal de la probeta, en mm².

Para el cálculo del área de sección transversal para el ensayo de compresión paralelo a las fibras se determina utilizando la Ecuación 5 obtenida de la NTC 5525.

Ecuación 5

$$(\pi / 4) \times [D^2 - (D - 2t)^2]$$

Donde:

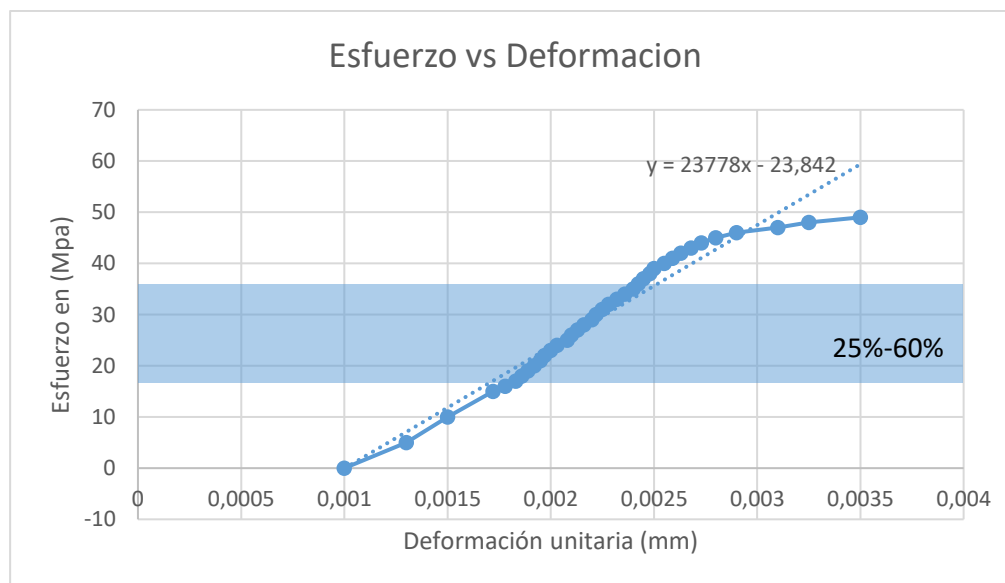
D = Diámetro externo del culmo en mm, este se debe tomar dos veces, en direcciones perpendiculares entre sí.

t = Es el espesor de la pared en mm, este se tiene que tomar cuatro veces en los mismos en los que se midió el diámetro dos veces.

6.11.2 Módulo de elasticidad a compresión paralela a las fibras

El módulo de elasticidad se determina mediante la construcción de un gráfico que relaciona los datos de esfuerzo (en Mpa) y deformación (en mm). Estos datos se obtienen a partir de un diagrama de dispersión que se crea utilizando las muestras o probetas a las cuales se desea calcular el módulo de elasticidad. Como se observa en la Figura 25.

Figura 25 Grafica del módulo de elasticidad a compresión paralela



De acuerdo con la norma técnica NTC 5525, el cálculo del módulo de elasticidad se basa en el promedio de las lecturas obtenidas de los deformímetros, estableciendo una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación. Se recomienda utilizar un rango de lecturas comprendido entre el 10 % y el 60 % de la capacidad máxima del material. En este caso específico, se ha seleccionado un rango que va del 25 % al 60 %, ya que valores inferiores al 25 % y por encima del 60 % presentan

variaciones significativas en los resultados obtenidos. Estos porcentajes de referencia son similares a los recomendados por la norma ISO 22157:2019.

6.12. Ensayo de compresión perpendicular a las fibras

En el ensayo de compresión perpendicular a las fibras, a pesar de no estar contemplado en las normas internacionales NTC 5525 o ISO 22157:2019, se llevó a cabo con el propósito de evaluar la respuesta de la guadua angustifolia kunt ante cargas concentradas aplicadas de manera perpendicular. Dado que este material presenta sus fibras orientadas únicamente en sentido longitudinal, se consideró relevante explorar su comportamiento en dicha condición.

El ensayo se ejecutó utilizando un total de 38 probetas, las cuales fueron distribuidas en tres secciones diferentes: inferior, media y superior, como se detalla en la Tabla 10. Con el objetivo de evaluar de la resistencia última, el esfuerzo admisible de la guadua angustifolia kunt proveniente de la ciudad de Villavicencio, Meta.

Tabla 10 Distribución y cantidades de probetas del ensayo de compresión perpendicular

Sección	Cantidad de probetas
Inferior	12
Media	13
Superior	13
Total	38

El ensayo se ejecutó conforme a las directrices utilizadas por, (Catalina & Escobar, 2018; Estefan, 2016; Rueda Vega, 2023). Los ensayos de compresión perpendicular se llevaron a cabo en probetas sin nudos, con una longitud de 17 cm. Se garantizó que estas probetas estuvieran libres de deformaciones o inclinaciones, y se estableció un límite máximo de desviación de 0.2 mm para asegurar la integridad del proceso experimental.

Figura 26 Representación de probetas para el ensayo de compresión perpendicular



A continuación, cada probeta fue posicionado en sentido horizontal sobre la placa de carga, tal como se ilustra en la Figura 27. Para distribuir uniformemente la carga sobre el espécimen se aplicó una carga inicial de magnitud reducida. Este procedimiento se realizó para obtener más tarde datos precisos sobre la resistencia última y la deformación del elemento.

Figura 27 Montaje de probeta para el ensayo de compresion perpendicular



6.12.1 Esfuerzo ultimo de compresión perpendicular a las fibras

El procedimiento para poder determinar el esfuerzo ultimo de compresión perpendicular a las fibras se halló utilizando la Ecuación 6 obtenida de (Catalina & Escobar, 2018; Estefan, 2016; Rueda Vega, 2023). Esta permite la comparación de las ya antes mencionadas tesis.

Ecuación 6

$$\sigma_{ucp} = \frac{3 * D_{ext} * F_{ult}}{2 * L * t^2}$$

Donde:

σ_{ucp} = Es el esfuerzo ultimo de compresión perpendicular a las fibras, en MPa (N/mm²).

F_{ult} = La carga máxima que provoca el fallo de la probeta, en N.

D_{ext} = Es el promedio del diámetro externo del culmo en mm, este se debe tomar dos veces, en direcciones perpendiculares entre sí.

L = Es la longitud promedio de la probeta en mm, este se debe tomar cuatro veces en los mismos en los que se midió el diámetro dos veces.

t = Es el espesor promedio de la probeta en mm, este se debe tomar cuatro veces en los mismos en los que se midió la longitud.

6.13. Ensayo de corte paralelo a las fibras

Cada probeta designada para la realización del ensayo de corte paralela a las fibras tiene como objetivo la evaluación de la resistencia última, el esfuerzo admisible de la guadua angustifolia kunt proveniente de la ciudad de Villavicencio, Meta. En la ejecución de dicho ensayo se utilizaron 67 probetas, de las cuales son 36 son probetas son con nudo y 31 probetas son sin nudo. las cuales fueron distribuidas en tres secciones distintas: inferior, media y superior, según se detalla en la Tabla 11.

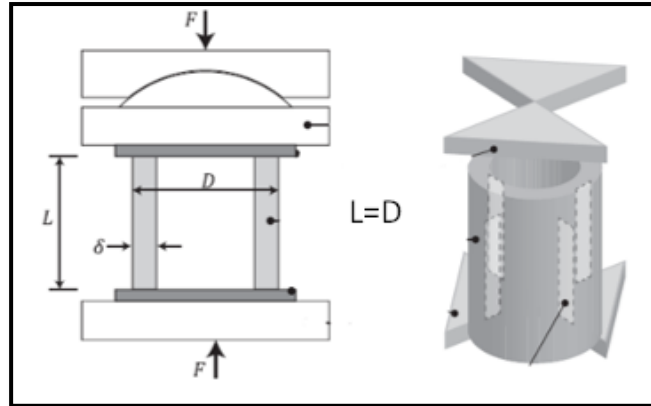
Tabla 11 Distribución y cantidades de probetas del ensayo de corte paralelo

Sección	Con nudo	Sin nudo
Inferior	12	9
Media	12	12
Superior	12	10
Total	67	

Los ensayos se llevaron a cabo utilizando la máquina de compresión mencionada en la sección 6.10 de la presente investigación. Durante el proceso, las probetas se colocaron de manera que abarcasen dos cuartas partes opuestas de su superficie en los extremos superiores e inferiores,

como se ilustra en la Figura 28. Esta disposición tiene como objetivo generar cuatro áreas de corte distintas. Las dimensiones de las probetas se mantuvieron con una longitud equivalente al diámetro externo de las mismas.

Figura 28 Representación de probetas para el ensayo de corte paralelo a las fibras



Nota: Modificado de ISO 22157, (2019)

Se administró una carga inicial de baja magnitud con el propósito de acondicionar la probeta, garantizando que esta carga se distribuyera de manera uniforme en toda la extensión de la probeta. Se consideró esencial que las láminas estuvieran alineadas de manera recta y perpendicularmente entre la placa superior e inferior.

Figura 29 Montaje de probeta para el ensayo de corte paralelo a las fibras.



Sin nudo

Con nudo

6.13.1 Esfuerzo ultimo de cortante paralelo a las fibras

El procedimiento para poder determinar el esfuerzo ultimo de cortante paralelo a las fibras se halló utilizando la Ecuación 7 obtenida de la NTC 5525.

Ecuación 7

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\sum t * L}$$

En donde

τ_{ult} = Es la resistencia última de corte, en MPa (N/mm²).

F_{ult} = La carga máxima que provoca el fallo de la probeta, en N.

L = Es la longitud de la probeta en mm, se determina tomando cuatro mediciones en direcciones perpendiculares entre sí.

t = Es el espesor promedio de la probeta en mm, se determina tomando cuatro mediciones en los mismos puntos en los que se midió la longitud.

$\sum t * L$ = Es la suma de los cuatro productos de t y L , en mm^2 .

6.14. Ensayo de tensión paralelo a las fibras

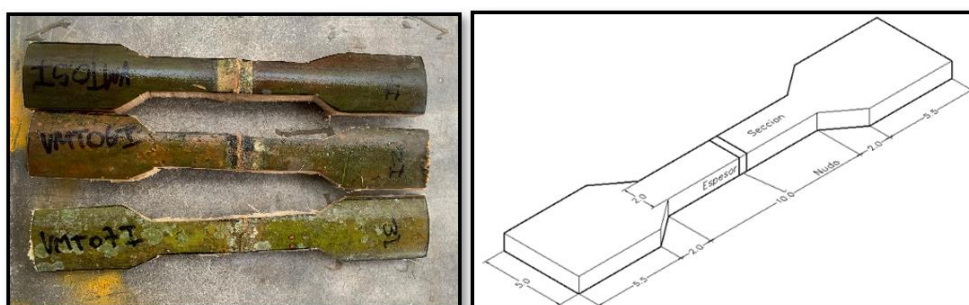
Cada probeta designada para la realización del ensayo de tensión paralela a las fibras tiene como objetivo la evaluación de la resistencia última, el esfuerzo admisible y el módulo de elasticidad de la guadua angustifolia kunt proveniente de la ciudad de Villavicencio, Meta. En la ejecución de dicho ensayo, se adquirieron un total de 36 probetas, las cuales fueron distribuidas en tres secciones distintas: inferior, media y superior, según se detalla en la Tabla 12.

Tabla 12 Distribución y cantidades de probetas del ensayo de tension paralela.

Sección	Cantidad de probetas
Inferior	12
Media	12
Superior	12
Total	36

La preparación de las muestras destinadas al ensayo de tensión paralela a las fibras implica la inclusión de un nudo. Es fundamental que la orientación general de las fibras coincida de manera paralela con el eje longitudinal de la sección de ensayo de la probeta. La sección de ensayo debe tener una configuración rectangular, con dimensiones iguales al espesor de la pared. En la dirección tangencial, se sitúa en un rango de 10 mm a 20 mm, y la longitud de la porción de ensayo debe oscilar entre 50 mm y 100 mm. En el presente caso, se adoptaron medidas de 20 mm en la dirección tangencial y 100 mm de longitud, conforme se ilustra en la Figura 30.

Figura 30 Representación de probetas para el ensayo de tensión paralela a las fibras



Nota: las medidas que se muestran en la ilustración están en cm.

El ensayo se llevó a cabo empleando la sección inferior de la Máquina Universal de Ensayos (UTM-001/LCD) – ALFA. Esta máquina, diseñada para evaluar la resistencia a la tracción, utiliza pinzas accionadas hidráulicamente mediante dos cilindros auxiliares independientes. Estos cilindros están controlados por válvulas hidráulicas separadas para generar una carga de tensión constante. El propósito de este sistema es inducir la falla en el centro de la probeta o porción de ensayo, como se indica en la Figura 31.

Figura 31 Montaje de la probeta para el ensayo a tensión paralela a las fibras



6.14.1 Esfuerzo ultimo de tensión paralela a las fibras

El procedimiento para poder determinar el esfuerzo ultimo de tensión paralela a las fibras se halló utilizando la Ecuación 8 obtenida de la NTC 5525.

Ecuación 8

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

Donde:

σ_{ult} = Es el esfuerzo último de tensión, en MPa (N/mm²)

F_{ult} = La carga máxima que provoca el fallo de la probeta, en N.

A = Área media de sección transversal de la porción del ensayo, en mm².

Para el cálculo del área media de sección transversal para el ensayo de tensión paralela a las fibras se determina utilizando la Ecuación 9.

Ecuación 9

$$A = \frac{\sum t * Seccion}{3}$$

Donde:

$\sum t * Seccion$ = Es la suma de los tres productos de t y sección, en mm².

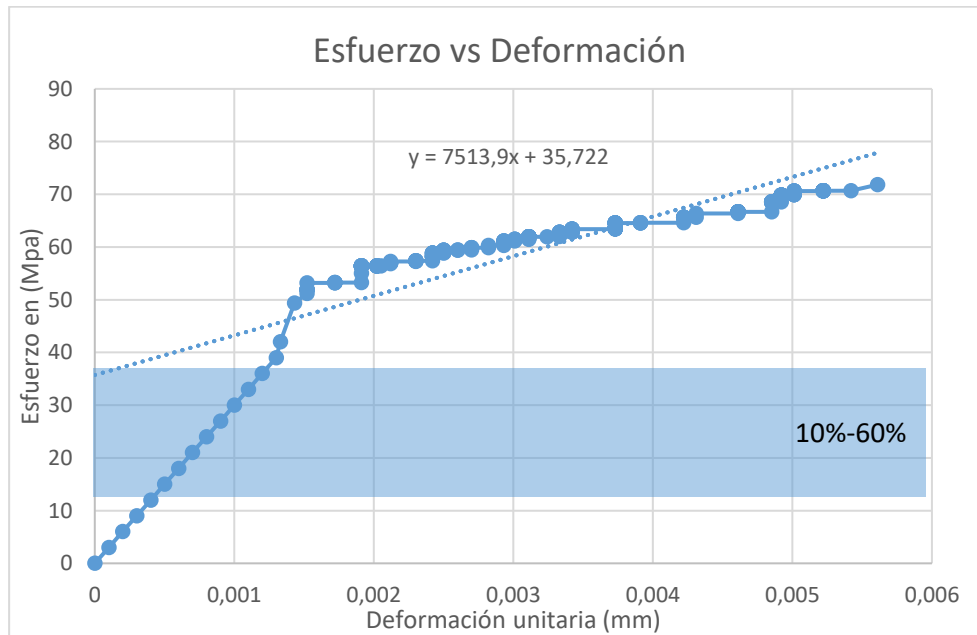
t = Es el espesor de la probeta en (mm), este se tiene que tomar tres veces.

A = Área media de sección transversal, en mm^2 .

6.14.2 Módulo de elasticidad de tensión paralela a las fibras

El módulo de elasticidad se determina mediante la construcción de un gráfico que relaciona los datos de esfuerzo (en Mpa) y deformación (en mm). Estos datos se obtienen a partir de un diagrama de dispersión que se crea utilizando las muestras o probetas a las cuales se desea calcular el módulo de elasticidad. Como se observa en la Figura 32.

Figura 32 Grafica del módulo de elasticidad de tensión paralela a las fibras



De acuerdo con la norma técnica NTC 5525, el cálculo del módulo de elasticidad se basa en el promedio de las lecturas obtenidas de los deformímetros, estableciendo una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación. Se recomienda usar un rango de lecturas entre el 10 % y el 60 % de la capacidad máxima del material, ya que valores superiores al 60 % presentan variaciones significativas en los resultados obtenidos.

6.15. Ensayo a flexión

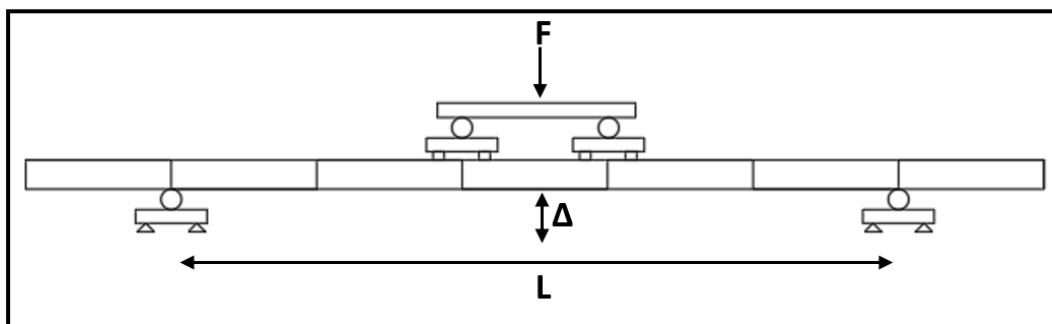
Cada probeta designada para la realización del ensayo a flexión paralela a las fibras tiene como objetivo la evaluación de la resistencia última, el esfuerzo admisible y el módulo de elasticidad de la guadua angustifolia kunt proveniente de la ciudad de Villavicencio, Meta. En la ejecución de dicho ensayo, se adquirieron un total de 8 probetas, las cuales fueron distribuidas en tres secciones distintas: inferior, media y superior, según se detalla en la Tabla 13.

Tabla 13 Distribución y cantidades de probetas del ensayo a flexion

Sección	Cantidad de probetas
Inferior	3
Media	2
Superior	3
Total	8

La preparación de las probetas destinadas al ensayo de flexión debe realizarse con apoyo en 4 puntos, como se ilustra en la Figura 33. La norma NTC 5525 establece que estas probetas deben tener una longitud que sea al menos 30 veces mayor que su diámetro externo. En consecuencia, se requerían culmos con una longitud superior a los 3 metros. La longitud total del culmo debe ser igual a la mencionada anteriormente, más una longitud adicional que garantice al menos un entrenudo después del apoyo en cada extremo.

Figura 33 Esquema del montaje para el ensayo a flexión



Es importante destacar que, durante el desarrollo de esta investigación, no se disponía del equipo adecuado para posicionar las cargas de manera precisa en los apoyos indicados. Por lo tanto,

se tomó la decisión de adaptar un nuevo molde, en el cual los apoyos inferiores estaban separados por una distancia de 50 cm entre sí, y los apoyos superiores estaban situados a 25 cm de los apoyos inferiores, cada uno, como se observa en la Figura 34. Es relevante señalar que en esta adaptación no se tuvo en cuenta la longitud de 30 veces el diámetro externo de la probeta, como especifica la norma NTC 5525. Este ajuste se realizó con la finalidad de superar limitaciones técnicas y permitir la ejecución del ensayo, aunque con algunas variaciones con respecto a las indicaciones normativas.

Figura 34 Montaje de la probeta para el ensayo a flexión



6.15.1 Esfuerzo ultimo a flexión

Con el objetivo de calcular el esfuerzo ultimo a flexión, se requiere inicialmente la determinación del momento de inercia mediante la aplicación de la Ecuación 10 , la cual proviene de la normativa NTC5525.

Ecuación 10

$$I_B = \frac{\pi}{64} * [D^4 - (D - 2t)^4]$$

Donde:

I_B = Momento de inercia.

D = Es el promedio del diámetro externo del culmo en mm, se determina tomando dos mediciones, en direcciones perpendiculares entre sí.

t = Es el espesor de la probeta en mm, se determina tomando ocho mediciones en los mismos en los puntos que se midió el diámetro dos veces.

Cuando se define el momento de inercia, se inicia el proceso de determinación del esfuerzo final a flexión asociado a cada ensayo realizado. Este cálculo se realiza aplicando la Ecuación 11, la cual proviene de la normativa ya antes mencionada.

Ecuación 11

$$\sigma_{ult} = F * L * \frac{D/2}{6} * \frac{1}{I_B}$$

Donde:

σ_{ult} = Es el esfuerzo último a flexión, en MPa (N/mm²).

F = La carga máxima que provoca el fallo de la probeta, en N.

L = Luz libre (o espacio de separación entre cada apoyo), en mm.

D = Es el promedio del diámetro externo del culmo en mm, se determina tomando dos mediciones, en direcciones perpendiculares entre sí.

I_B = Momento de inercia.

6.15.2 Módulo de elasticidad a flexión

El módulo de elasticidad (también conocido como Módulo de Young) a flexión fue determinado mediante la aplicación de la Ecuación 12, la cual está derivada de la normativa previamente mencionada.

Ecuación 12

$$E = \frac{23 * F * L^3}{1296 * \delta * I_B}$$

Donde:

E = Es el módulo de elasticidad, en N/mm².

F = La carga máxima que provoca el fallo de la probeta, en N.

L = Luz libre (o espacio de separación entre cada apoyo), en mm.

I_B = Momento de inercia.

δ = Es la deflexión máxima en el punto medio de la luz, en mm.

6.16. Caracterización Física

Las probetas para determinar el contenido de humedad deben modificarse inmediatamente tras cada ensayo mecánico, siendo equivalente las utilizadas en los ensayos de características mecánicas. La geometría de la probeta adopta una forma prismática, con una anchura de 25 mm, una altura de 25 mm y un espesor t idéntico al de la pared del material. Para preservar la integridad de las muestras, estas deben ser extraídas justo después al sitio de fallo.

6.16.1 Ensayo de contenido de humedad

En el proceso de preparación de las muestras destinadas a la determinación del contenido de humedad, se empleó una balanza con una precisión de 0.01 gramos, un horno de secado mantenido a una temperatura constante de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, y guantes térmicos para la extracción de las muestras, tal como se ilustra en la Figura 35.

Figura 35 Implementos utilizados en el ensayo de contenido de humedad



Después de extraer la muestra de la probeta inmediatamente después del punto de fallo, se procede a su pesaje individual usando una balanza para cada probeta ensayada. Hasta alcanzar un número significativo de probetas de todos los ensayos, se conservaron en envases herméticos para preservar su contenido de humedad y prevenir posibles alteraciones. Después, se somete a un proceso de secado en un horno.

Figura 36 Selección de probetas y secado



Transcurridas 24 horas desde el inicio del proceso de secado en el horno, las muestras son pesadas en intervalos de 2 horas. Cabe destacar que, una vez retiradas del horno y pesadas, las muestras se almacenan en un frasco sellado para preservar su contenido de humedad. Este procedimiento se repite hasta que la diferencia entre las determinaciones de masa sucesivas no excede los 0,01 g.

6.16.2 Determinación del contenido de humedad

El método para calcular el contenido de humedad de las probetas sometidas a ensayos mecánicos se determinó empleando la Ecuación 13, la cual está derivada de la norma técnica colombiana NTC 5525.

Ecuación 13

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

Donde:

CH = Contenido de Humedad, en %

m = Masa de probeta antes del secado, en gr

m_o = Masa de probeta Después del secado, en gr

7. Resultados y Análisis de datos

7.1. Ensayo de compresión paralela a las fibras

Los datos consignados en la Tabla 14 reflejan los resultados obtenidos durante los ensayos de compresión paralela a las fibras llevados a cabo en el marco de la presente investigación. Se registraron los valores de esfuerzo último (σ_{uf}), módulo de elasticidad (Eprom) y contenido de humedad (CH) para cada una de las probetas sometidas a ensayo. Es importante señalar que, debido a limitaciones en la Máquina Universal de Ensayos (UTM-001/LCD) – ALFA, no se logró generar la gráfica de esfuerzo versus deformación en todas las probetas, lo que afectó la obtención de datos de módulo de elasticidad en algunos casos.

Con respecto al análisis estadístico de los datos de esfuerzo último, se excluyó la probeta VMC09M basándose en los valores atípicos identificados mediante la aplicación de los Coeficientes de Chauvenet, como se detalla en la Tabla 3. Los detalles específicos de los valores de los ensayos de compresión paralela a las fibras están disponibles en el anexo 1.

Tabla 14 Resultados obtenidos del ensayo de compresión paralela a las fibras.

Sección inferior				Sección media				Sección superior			
Probeta	σ_{uf} (MPa)	Eprom (MPa)	CH%	Probeta	σ_{uf} (MPa)	Eprom (MPa)	CH%	Probeta	σ_{uf} (MPa)	Eprom (MPa)	CH%
VMC01I	34,80	14498,81	109,44	VMC01M	27,58	12950,61	105,45	VMC01S	46,56		84,93
VMC02I	46,74		87,83	VMC02M	38,97		88,13	VMC02S	38,63	15575,75	98,64
VMC03I	35,86		107,16	VMC03M	29,45		100,41	VMC03S	46,31		91,57
VMC04I	38,02		108,68	VMC04M	27,32	12828,48	131,27	VMC04S	40,16		77,42
VMC05I	46,21	15935,04	95,11	VMC05M	30,75		123,26	VMC05S	46,29		84,34
VMC06I	48,19		102,38	VMC06M	34,41		115,88	VMC06S	49,87	14247,40	78,75
VMC07I	41,06		130,12	VMC07M	33,20		84,23	VMC07S	38,24		99,29
VMC08I	40,04		119,64	VMC08M	44,38	16256,87	102,83	VMC08S	49,13		66,04
VMC09I	27,16		97,58	VMC09M	33,52		126,89	VMC09S	41,57	16048,51	76,71
VMC10I	50,02		79,88	VMC10M	31,88	13982,91	112,27	VMC10S	44,12		98,92
VMC11I	48,82		137,14	VMC11M	32,95		102,11	VMC11S	38,47		91,86
VMC12I	45,18		92,01	VMC12M	33,36	14377,42	98,66	VMC12S	36,37		74,00
VMC13I	39,58	15830,61	114,29	VMC13M	46,69		113,06	VMC13S	48,09		94,54

7.1.1 Esfuerzo ultimo a la compresión paralela a las fibras

Al revisar los datos estadísticos presentes en la Tabla 15, se destaca que las secciones inferiores (42.37 MPa) y superior (43.37 MPa) exhiben valores de esfuerzo último significativamente superiores en comparación con la sección media (34.19 MPa). Esta disparidad se traduce en un incremento porcentual del 23.92% para la porción inferior y del 26.85% para la porción superior con respecto a la sección media. El valor promedio ponderado de esfuerzo último alcanza los 39,98 MPa, evidenciando una variación global del 16,93 % respecto a la sección media.

Tabla 15 Resultados del análisis estadístico de esfuerzo ultimo de compresión paralela.

Datos estadísticos	Sección inferior	Sección media	Sección superior	Total
Numero de datos	14	13	13	40
Promedio (MPa)	42,37	34,19	43,37	39,98
Desviación estándar (MPa)	5,16	5,66	9,66	6,83
Coefficiente de variación (%)	12,18	16,57	22,28	17,01
Percentil 5 (MPa)	35,43	27,48	37,49	33,47
Valor característico (MPa)	32,03	24,06	33,60	29,90

El análisis de los datos presentados en la Tabla 16 revela que las guaduas provenientes de Villavicencio, Tolima, Guaduas, La Victoria y Socorro exhiben coeficientes de variación notablemente similares, todos por debajo del 30%. Esta consistencia en los coeficientes de variación sugiere que los datos asociados con estas fuentes de guadua son homogéneos y presentan una variabilidad relativamente baja en comparación con la investigación de Oiba.

Contrariamente, se observa que Oiba obtuvo un coeficiente de variación del 36%, indicando una mayor variabilidad en los datos asociados con esta fuente específica de guadua. Esta disparidad en el coeficiente de variación sugería una mayor heterogeneidad en los datos de esta muestra, lo que puede atribuirse a diversas razones como variaciones en las condiciones de crecimiento, métodos de recolección, o características específicas del material.

Guaduas exhibe la menor variabilidad (coeficiente de variación del 15%). El percentil 5 revela que Oiba tiene un 5% de datos con resistencias excepcionalmente bajas (6.56 MPa), y el valor característico indica que Oiba también posee la resistencia más baja esperada (5.83 MPa).

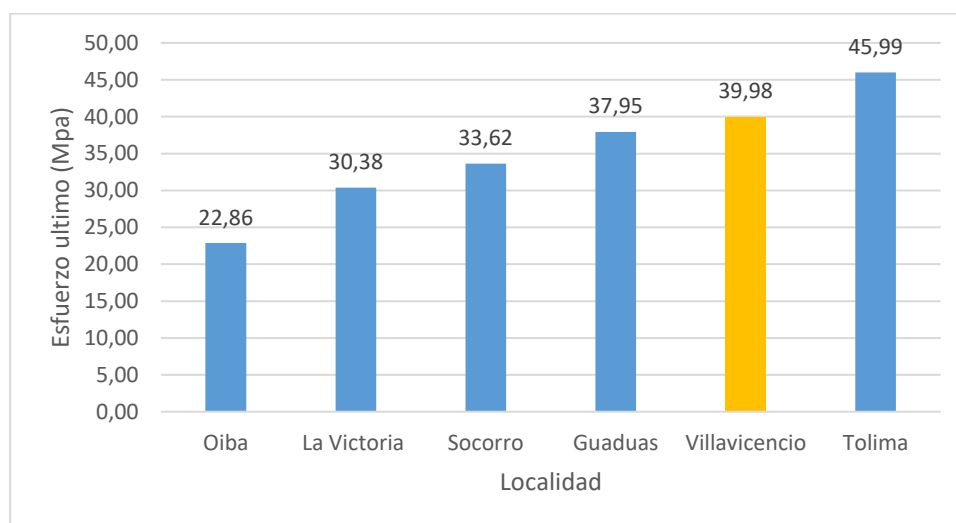
Tabla 16 Comparación de datos estadísticos de esfuerzo ultimo a compresión paralela.

Datos estadísticos	La Victoria	Guaduas	Socorro	Oiba	Tolima	Villavicencio
Numero de datos	77	77	75	77	28	40
Promedio (MPa)	30,38	37,95	33,62	22,86	45,99	39,98
Desviación estándar (MPa)	5,81	5,59	6,95	8,21	8,04	6,83
Coeficiente de variación (%)	19,00	15,00	21,00	36,00	17,47	17,01
Percentil 5 (MPa)	23,15	29,43	23,52	6,56	34,80	33,47
Valor característico (MPa)	21,78	28,10	22,00	5,83	31,69	29,90

En la investigación de esfuerzo último a compresión paralela a las fibras, se destacan como valores más representativos los obtenidos para la ciudad de Villavicencio (39.98 MPa) y Tolima (45.99 MPa), como se ilustra en la Figura 37.

El análisis revela un patrón ascendente en los resultados de esfuerzo último en las secciones inferior (42.37MPa) y superior (43.37MPa) de Villavicencio, mientras que en la sección media (34.19MPa) se observa un comportamiento descendente. Por otro lado, la ciudad de La Victoria exhibe una tendencia decreciente en los valores de esfuerzo último de la sección inferior a la superior, con mediciones de 30.76 MPa, 30.41 MPa y 30.16 MPa para las secciones inferior, media y superior, respectivamente. En contraste, la localidad de Oiba presenta un comportamiento ascendente en los valores de esfuerzo último a compresión paralela, con mediciones de 18.46 MPa, 23.19 MPa y 26.94 MPa en las secciones inferior, media y superior.

Figura 37 Gráfico comparativo de esfuerzos últimos a compresión paralela.



7.1.2 Esfuerzo admisible a compresión paralela a las fibras

Los valores de esfuerzo admisible, detallados en la Tabla 17, revelan que en la porción inferior se obtiene un valor de 17.80 MPa, en la porción superior se registra un valor de 18.67 MPa, mientras que en la porción media se observa un valor menor de 13.37 MPa. El promedio total de esfuerzo admisible se sitúa en 16.61 MPa, sin tener en cuenta los factores de reducción estipulados en la Tabla 5 .

Tabla 17 Esfuerzo admisible compresión paralela de cada sección del culmo.

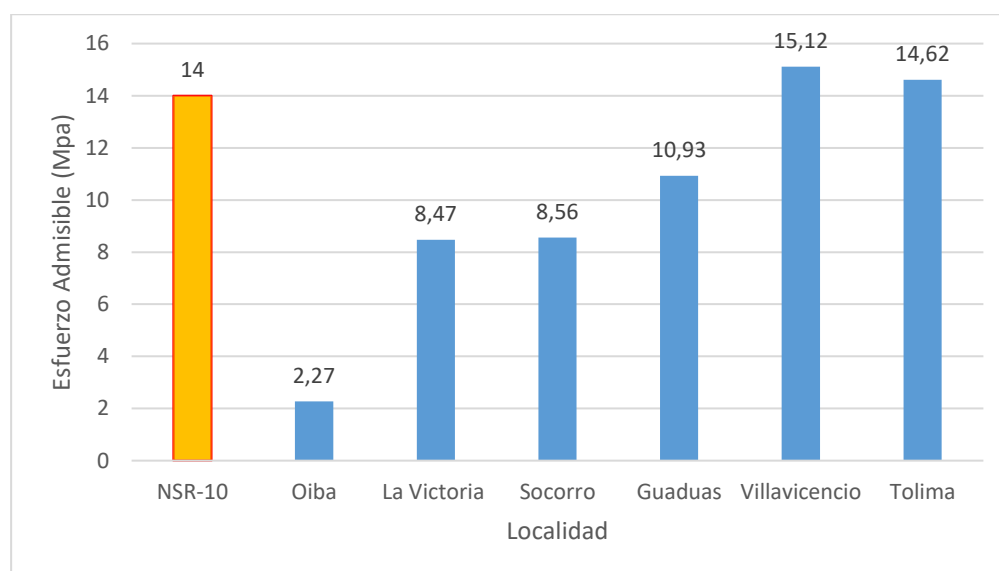
Condición de carga	Porción inferior	Porción media	Porción superior	Total
NSR-10 (Mpa)	17,80	13,37	18,67	16,61

Dado que la humedad en la ciudad de Villavicencio se encuentra en un nivel del 14%, conforme se refleja en la Tabla 6, se procedió a aplicar un factor de reducción de 0.91 al esfuerzo admisible. Este cálculo condujo a un valor de 15.12 MPa para el esfuerzo admisible en compresión paralela a las fibras.

Tabla 18 Esfuerzo admisible con factor de reduccion a compresión paralela.

Esfuerzo Admisible (Mpa)	Factor de reducción	Corrección de Esfuerzo Admisible (Mpa)
16,61	0,91	15,12

El esfuerzo admisible a compresión paralela a las fibras en la ciudad de Villavicencio (15.12 MPa) y en Tolima (14.62 MPa) ha excedido el umbral mínimo estipulado por las normativas, como se presenta en la Tabla 7. Este resultado demuestra una notable resistencia, contrastando con las investigaciones en Guaduas, La Victoria y Oiba, donde los valores obtenidos no alcanzaron el requisito mínimo de 14 MPa, según se detalla en la Figura 38. Esto evidencia las variaciones en la capacidad de carga entre distintas localidades, subrayando la robustez de las guaduas provenientes de Villavicencio y Tolima en comparación con otras fuentes examinadas.

Figura 38 Comparacion de esfuerzos admisibles a compresión paralela.

7.1.3 Módulo de elasticidad a compresión paralela a las fibras

El análisis de los datos estadísticos del módulo de elasticidad revela que tanto la sección inferior como la superior en las muestras sometidas a compresión paralela a las fibras exhibieron valores superiores en comparación con la sección media. Esta tendencia coincide con los resultados observados en la Tabla 15, donde se evidencia que el esfuerzo último en la sección inferior y superior fue más destacado durante la realización del ensayo. Por ende, se deduce que, en este caso, el comportamiento del módulo de elasticidad es proporcional al valor de esfuerzo último, sugiriendo una mayor rigidez en las secciones inferior y superior en comparación con la sección media.

Tabla 19 Resultados del análisis estadístico del módulo de elasticidad a compresión paralela.

Datos estadísticos	Sección inferior	Sección Media	Sección Superior	Total
Numero de datos	3	5	3	11
Promedio (MPa)	15421,49	14079,26	15290,55	14930,43
Desviación estándar (MPa)	653,82	1239,23	762,45	885,17
Coefficiente de variación (%)	4,24	8,80	4,99	6,01
Percentil 5 (MPa)	14631,99	12852,91	14380,24	13955,04
Valor característico (MPa)	14630,27	12850,68	14378,03	13952,99

Semejante al valor admisible detallado en la Tabla 18, se ejecuta el mismo procedimiento utilizando el factor de corrección de 0.97 para el módulo de elasticidad a compresión paralela a las fibras. Este cálculo resultó en un valor de 14482.52 MPa para el módulo de elasticidad a compresión paralela a las fibras, como se detalla en la Tabla 20.

Para realizar comparaciones con otras investigaciones, se realizó este procedimiento aplicando factores de reducción específicos al lugar de desarrollo de cada investigación. Los estudios en guaduas, Tolima y Oiba son los que se les aplicó este factor de reducción porque estas investigaciones no lo consideraron.

Tabla 20 Corrección del módulo de elasticidad a compresión paralela.

Ciudad	Módulo de elasticidad	Factor de reducción	Corrección módulo de elasticidad
Villavicencio	14930,43	0,97	14482,52

La Tabla 21 proporciona datos estadísticos sobre el módulo de elasticidad a compresión paralela en diferentes investigaciones, incluyendo La Victoria, Guaduas, Socorro, Oiba, Tolima y Villavicencio. Se observa una variabilidad significativa en los resultados, como evidenciado por las desviaciones estándar, que van desde 885,17 MPa en Villavicencio hasta 34183,42 MPa en Oiba. Además, el coeficiente de variación destaca la heterogeneidad de los datos, siendo especialmente alto en Oiba (83,00%) y relativamente bajo en Villavicencio (6,01%).

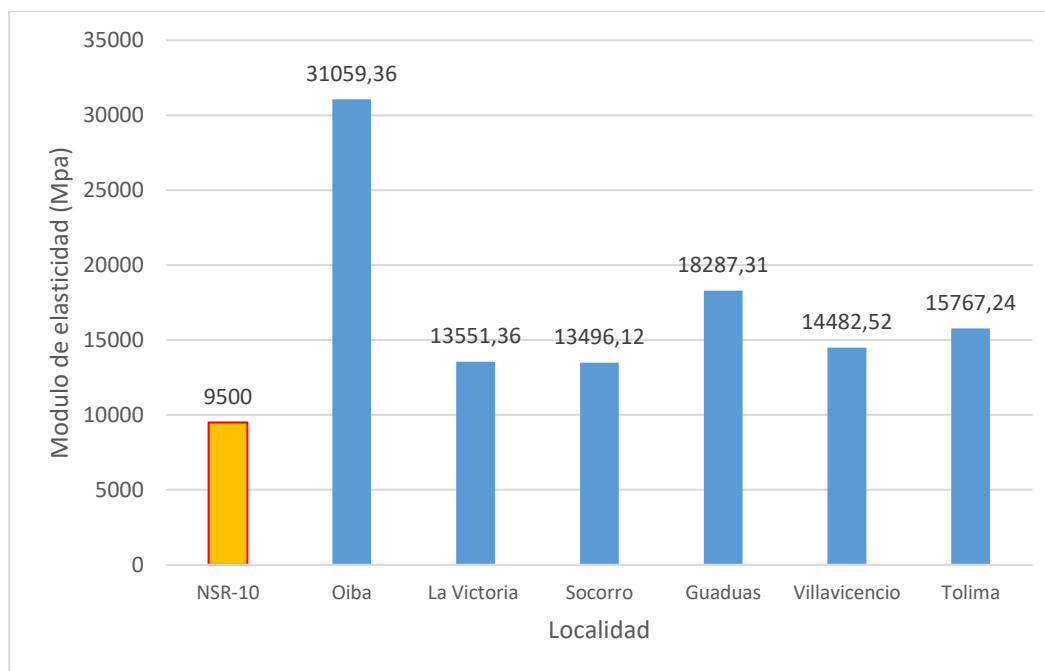
Tabla 21 Comparación de datos estadísticos del módulo de elasticidad a compresión paralela.

Datos estadísticos	La Victoria	Guaduas	Socorro	Oiba	Tolima	Villavicencio
Numero de datos	30	29	28	34	28	11
Promedio (MPa)	13551,36	18287,31	13496,12	31059,36	15767,24	14482,52
Desviación estándar (MPa)	5888,72	11489,06	5695,11	34183,42	4057,56	885,17
Coeficiente de variación (%)	38,00	57,00	38,00	83,00	23,16	6,01
Percentil 5 (MPa)	6571,07	8722,76	6247,12	9469,79	11592,93	13955,04
Valor característico (MPa)	5363,93	6890,62	5061,53	3189,87	11468,76	13952,99

Se observa que el módulo de elasticidad a compresión paralela en Villavicencio, con 14482.52 MPa, excede los requisitos establecidos por la Norma Sismo Resistente Colombiana de 2010 (NSR-10), presentando una superación del 60.92 % respecto al módulo promedio exigido por

la norma. Este comportamiento es evidente en las investigaciones de Oiba, Socorro, Tolima, La Victoria y Guaduas, donde los valores superan significativamente el módulo promedio estipulado por la NSR-10.

Figura 39 Comparación de módulos de elasticidad a compresión paralela.



7.2. Ensayo de compresión perpendicular a las fibras.

Los datos consignados en la Tabla 22 reflejan los resultados obtenidos durante los ensayos de compresión perpendicular a las fibras llevados a cabo en el marco de la presente investigación. Se registraron los valores de esfuerzo último (σ_{uf}) y contenido de humedad (CH) para cada una de las probetas sometidas a ensayo. Es importante señalar que los valores de esfuerzo admisible (F_i), consignados en la Tabla 7, reflejan la resistencia mínima obtenida al emplear culmos rellenos de concreto.

Con respecto al análisis estadístico de los datos de esfuerzo último, se excluyó la probeta VMCP05I basándose en los valores atípicos identificados mediante la aplicación de los Coeficientes de Chauvenet, como se detalla en la Tabla 3. En el anexo 2 se dispone de detalles de los valores correspondientes a los ensayos de compresión paralelo a las fibras.

Tabla 22 Resultados obtenidos del ensayo de compresión perpendicular a las fibras.

Sección inferior			Sección media			Sección superior		
Probeta	σ_{uf} (MPa)	CH%	Probeta	σ_{uf} (MPa)	CH%	Probeta	σ_{uf} (MPa)	CH%
VMCP01I	17,26	96,74	VMCP01M	28,18	70,37	VMCP01S	36,46	83,29
VMCP02I	13,51	65,08	VMCP02M	31,28	57,40	VMCP02S	42,12	79,34
VMCP03I	20,83	118,68	VMCP03M	23,41	90,45	VMCP03S	23,87	78,86
VMCP04I	19,85	73,25	VMCP04M	28,67	91,73	VMCP04S	32,65	54,05
VMCP05I	23,74	89,31	VMCP05M	26,90	52,94	VMCP05S	33,75	68,42
VMCP06I	16,87	113,15	VMCP06M	19,60	95,17	VMCP06S	30,58	62,92
VMCP07I	13,54	89,81	VMCP07M	31,81	62,10	VMCP07S	35,17	78,45
VMCP08I	18,22	96,30	VMCP08M	27,55	100,00	VMCP08S	36,39	58,93
VMCP09I	15,01	84,38	VMCP09M	15,89	71,10	VMCP09S	25,33	67,79
VMCP10I	16,18	92,64	VMCP10M	15,84	97,45	VMCP10S	40,02	62,33
VMCP11I	16,00	93,04	VMCP11M	35,49	75,02	VMCP11S	39,74	95,96
VMCP12I	15,82	93,42	VMCP12M	32,27	72,81	VMCP12S	34,26	59,29
			VMCP13M	19,43	65,61	VMCP13S	34,40	90,10

7.2.1 Esfuerzo ultimo a compresión perpendicular a las fibras

La información consignada en la Tabla 23 de esfuerzo último a compresión perpendicular a las fibras refleja un patrón ascendente desde la sección inferior hasta la sección superior en relación con el promedio de esfuerzo último. Además, los coeficientes de variación, todos inferiores al 30%, indican una homogeneidad notable en los datos. Este comportamiento creciente y la consistencia en la variabilidad de los resultados sugieren una tendencia uniforme y confiable en la resistencia de la guadua angustifolia a lo largo de las diferentes secciones.

Tabla 23 Resultados del análisis estadístico de esfuerzo ultimo a compresión perpendicular.

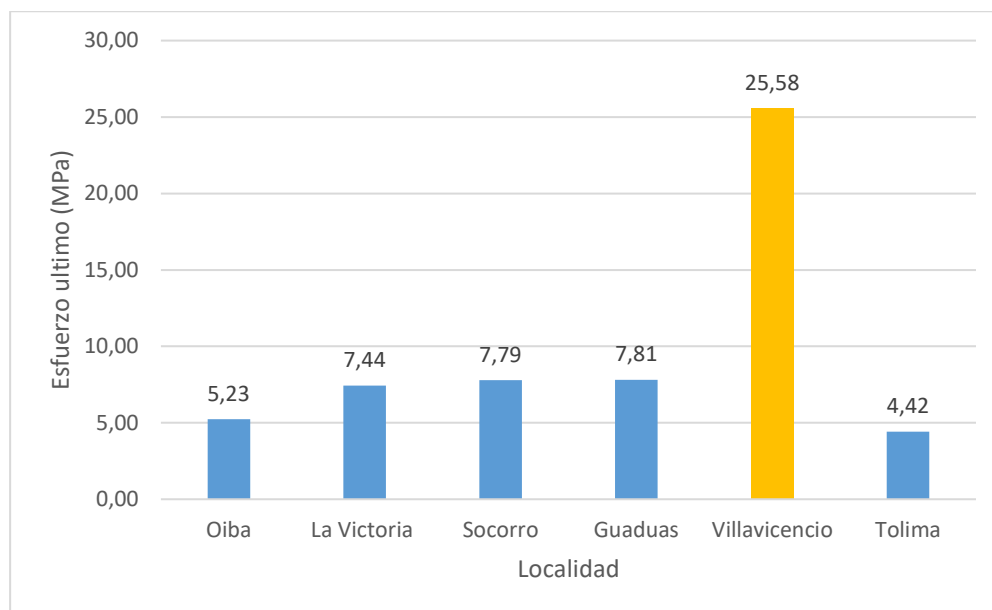
Datos estadísticos	Sección inferior	Sección media	Sección superior	Total
Numero de datos	12	13	13	38
Promedio (MPa)	16,64	25,87	34,21	25,58
Desviación estándar (MPa)	2,22	6,21	5,11	4,51
Coefficiente de variación (%)	13,33	24,00	14,93	17,43
Percentil 5 (MPa)	13,52	15,87	24,75	18,05
Valor característico (MPa)	10,31	13,06	21,72	15,03

La desviación estándar muestra la dispersión de los datos alrededor del promedio, siendo más amplia en Villavicencio (4,51 MPa), lo cual puede indicar mayor variabilidad en la resistencia del material en la presente investigación. El coeficiente de variación revela la proporción de variabilidad relativa en los datos, siendo más bajo en Villavicencio (17,43%) en comparación con otras investigaciones que muestran valores entre el 25% (Guaduas) y el 47,69% (Oiba). El percentil 5 indica los valores por debajo de los cuales se encuentra el 5% de los datos, evidenciando que en Villavicencio este valor es de 18,05 MPa, mientras que en otras investigaciones se sitúa entre 2,08 MPa (Oiba) y 5,54 MPa (Guaduas). El valor característico, como estadístico representativo, destaca un umbral que la guadua debe superar con alta confianza, siendo más significativo en Villavicencio (15,03 MPa).

Tabla 24 Comparación de datos estadísticos de esfuerzo ultimo a compresión perpendicular.

Datos estadísticos	La Victoria	Guaduas	Socorro	Oiba	Tolima	Villavicencio
Numero de datos	70	69	70	75	69	38
Promedio (MPa)	7,44	7,81	7,79	5,23	4,42	25,58
Desviación estándar (MPa)	3,44	1,93	3,25	2,49	1,12	4,51
Coeficiente de variación (%)	45,00	25,00	42,00	47,69	25,27	17,43
Percentil 5 (MPa)	3,45	5,54	3,16	2,08	2,53	18,05
Valor característico (MPa)	2,95	5,09	2,73	1,77	2,32	15,03

Los datos presentes en la Figura 40 muestran notables variaciones en el esfuerzo último de la guadua angustifolia entre las diferentes investigaciones de estudio. Villavicencio destaca con un esfuerzo promedio superior a 25,58 MPa, en comparación con otras investigaciones cuyos promedios varían entre 4,42 MPa (Tolima) y 7,81 MPa (Guaduas). La Victoria exhibe un valor intermedio de 7,44 MPa, mientras que Socorro presenta 7,79 MPa y Oiba registra 5,23 MPa. Esta variabilidad resalta la divergencia en la resistencia de la guadua entre distintas investigaciones, siendo Villavicencio la ciudad con el rendimiento más sobresaliente en términos de esfuerzo último.

Figura 40 Gráfico comparativo de esfuerzos últimos a compresión perpendicular.

7.2.2 Esfuerzo admisible a compresión perpendicular a las fibras

El análisis revela que la porción que presenta una mayor capacidad para resistir cargas a compresión perpendicular a las fibras es la sección superior, con un valor admisible de 10.06 MPa, seguida por la porción media con un valor admisible de 6.05 MPa. En comparación, la porción inferior exhibe la capacidad más baja de resistencia, con un valor admisible de 4.77 MPa. Estos resultados combinados proporcionan un valor total de 6.96 MPa de esfuerzo admisible a compresión perpendicular, sin considerar el factor de reducción.

Tabla 25 Esfuerzo admisible a compresión perpendicular de cada sección del culmo.

Condición de carga	Porción inferior	Porción media	Porción superior	Total
NSR-10 (Mpa)	4,77	6,05	10,06	6,96

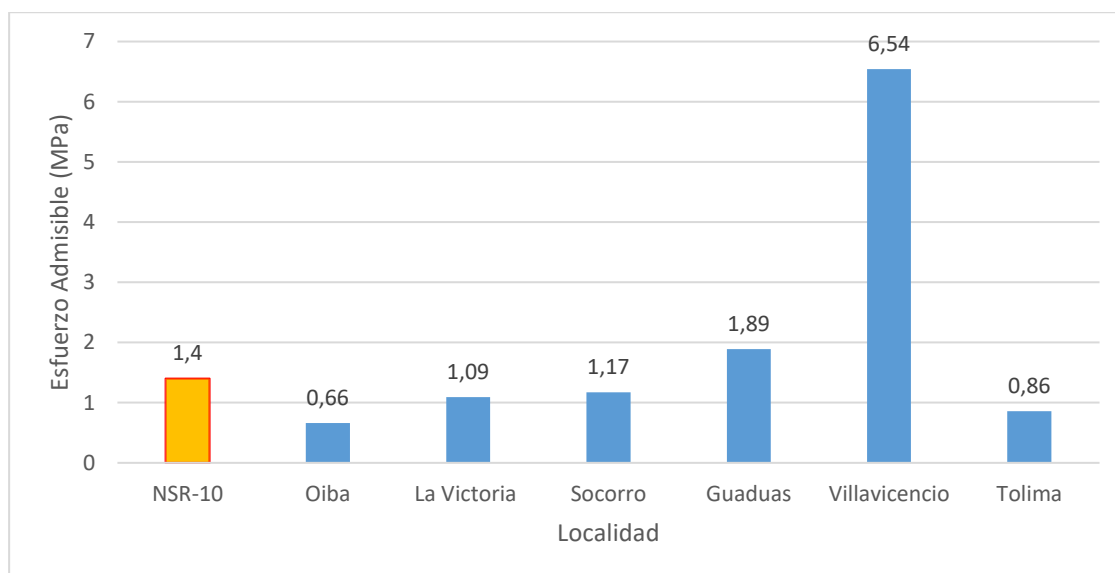
Considerando que el contenido de humedad en la ciudad de Villavicencio se sitúa en un nivel del 14%, según la información presentada en la Tabla 6, se llevó a cabo la aplicación de un factor de reducción del 0.94 al esfuerzo admisible, como se detalla en la Tabla 5. Este cálculo condujo a un valor de 6.54 MPa para el esfuerzo admisible en compresión perpendicular a las fibras.

Tabla 26 Esfuerzo admisible con factor de reducción a compresión perpendicular

Factor de reducción	Esfuerzo Admisible (Mpa)	Corrección Esfuerzo Admisible (Mpa)
0,94	6,96	6,54

El comportamiento de la guadua angustifolia de la ciudad de Villavicencio en cuanto al esfuerzo admisible a compresión perpendicular a las fibras (6.54 MPa) resultó exceder significativamente el umbral mínimo establecido por la NSR-10, superando en un 367.14% el valor requerido por la norma, fijado en 1.4 MPa. Seguida de Guaduas (1.89 MPa), que presenta un valor superior en un 35% al establecido por la normativa. En consecuencia, las investigaciones realizadas en Tolima, Socorro, La Victoria (0.66 MPa) y Oiba no lograron superar el umbral mínimo exigido por la norma en este aspecto. Este análisis resalta la destacada capacidad de la guadua de Villavicencio para resistir cargas en condiciones de compresión perpendicular a las fibras, evidenciando un rendimiento considerablemente por encima de los estándares normativos.

Figura 41 Gráfico comparativo de esfuerzos admisibles a compresión perpendicular.



7.3. Ensayo de corte paralelo a las fibras

Los datos consignados en la Tabla 27 reflejan los resultados obtenidos durante los ensayos de corte paralelo a las fibras llevados a cabo en el marco de la presente investigación. Se registraron

los valores de esfuerzo último (σ_{uf}) y contenido de humedad (CH) para cada una de las probetas sometidas a ensayo. En relación con el análisis estadístico del esfuerzo último, se llevaron a cabo exclusiones de probetas específicas (VMV01I, VMV08I, VMV01M, VMV02M, VMV03M, VMV01S y VMV02S) basándose en la identificación de valores atípicos mediante la aplicación de los Coeficientes de Chauvenet, como se detalla en la Tabla 3. Los detalles específicos de los valores correspondientes a los ensayos de corte paralelo a las fibras se encuentran disponible en el anexo 3.

Tabla 27 Resultados obtenidos del ensayo de corte paralelo a las fibras.

Sección inferior			Sección media			Sección superior		
Probeta	σ_{uf} (MPa)	CH%	Probeta	σ_{uf} (MPa)	CH%	Probeta	σ_{uf} (MPa)	CH%
VMVN01I	6,77	106,08	VMVN01M	10,30	74,05	VMVN01S	8,04	70,77
VMVN02I	9,01	124,94	VMVN02M	10,40	71,43	VMVN02S	9,93	98,11
VMVN03I	6,93	95,17	VMVN03M	9,65	91,73	VMVN03S	9,68	93,00
VMVN04I	7,96	109,56	VMVN04M	7,97		VMVN04S	8,74	74,08
VMVN05I	7,36	104,05	VMVN05M	6,88		VMVN05S	7,90	80,70
VMVN06I	8,44	99,55	VMVN06M	9,72		VMVN06S	9,18	
VMVN07I	7,39	95,02	VMVN07M	8,24		VMVN07S	8,66	
VMVN08I	7,31	89,20	VMVN08M	6,76		VMVN08S	6,98	
VMVN09I	8,00	96,20	VMVN09M	10,06		VMVN09S	9,65	
VMVN10I	7,20	108,82	VMVN10M	12,33		VMVN10S	9,25	
VMVN11I	6,08	101,61	VMVN11M	9,57		VMVN11S	6,75	
VMVN12I	7,00	84,44	VMVN12M	9,00		VMVN12S	7,94	
VMV01I	4,54	112,63	VMV01M	4,91	94,92	VMV01S	6,80	84,38
VMV02I	5,99	93,75	VMV02M	5,84	79,89	VMV02S	3,86	95,98
VMV03I	5,68	91,50	VMV03M	5,78	99,71	VMV03S	10,25	108,70
VMV04I	5,86	86,68	VMV04M	6,32	94,29	VMV04S	9,46	89,30
VMV05I	6,30		VMV05M	7,41		VMV05S	8,61	78,57
VMV06I	8,46		VMV06M	6,15		VMV06S	9,50	
VMV07I	6,81		VMV07M	8,11		VMV07S	8,40	
VMV08I	4,91		VMV08M	6,38		VMV08S	9,93	
VMV09I	7,80		VMV09M	8,94		VMV09S	9,43	
			VMV10M	7,11		VMV10S	7,80	
			VMV11M	7,94				
			VMV12M	8,04				

7.3.1 Esfuerzo ultimo a corte paralelo a las fibras

La Tabla 28 presenta los resultados del análisis estadístico del esfuerzo último en el ensayo de corte paralelo en diferentes secciones de la guadua angustifolia. Se observa que la sección media

registra el promedio más alto con 9.24 MPa, seguida por la sección superior con 8.56 MPa y la sección inferior con 7.45 MPa. Estos valores proporcionan una visión detallada de la resistencia a la fuerza cortante en distintas partes de la guadua. En comparación, la variación porcentual entre la sección inferior y la sección media es del 24.03%, mientras que la diferencia entre la sección media y la sección superior es del 7.33%.

Tabla 28 Resultados del análisis estadístico de esfuerzo último del ensayo de corte paralelo

Datos estadísticos	Sección inferior	Sección Media	Sección Superior	Total
Numero de datos	21	24	22	67
Promedio (MPa)	7,45	9,24	8,56	8,42
Desviación estándar (MPa)	0,76	1,52	1,00	1,09
Coeficiente de variación (%)	10,16	16,41	11,72	12,76
Percentil 5 (MPa)	6,46	6,83	6,88	6,72
Valor característico (MPa)	3,13	3,59	4,54	3,75

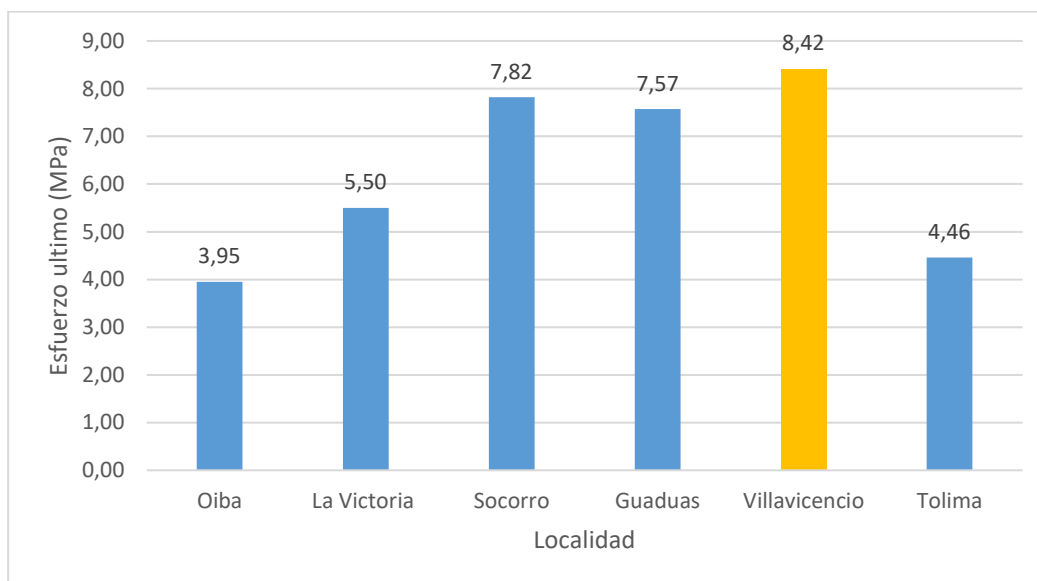
La Tabla 29 presenta información detallada sobre el esfuerzo último a cortante paralelo a las fibras de la guadua angustifolia en diferentes investigaciones. La baja desviación estándar y coeficiente de variación en Villavicencio (1.09 y 12.76%, respectivamente) indican una consistencia en los datos y confirman su posición destacada. El percentil 5 y el valor característico en Villavicencio son 6.72 MPa y 3.75 MPa, respectivamente, subrayando la robustez del material en la presente investigación. En el mismo contexto, Oiba presenta el valor más bajo tanto en el promedio como en el percentil 5 y valor característico, sugiriendo una menor resistencia en comparación con otras investigaciones.

Tabla 29 Comparación de datos estadísticos de esfuerzo ultimo de corte paralelo

Datos estadísticos	La Victoria	Guaduas	Socorro	Oiba	Tolima	Villavicencio
Numero de datos	76	76	70	75	64	67
Promedio (MPa)	5,50	7,57	7,82	3,95	4,46	8,42
Desviación estándar (MPa)	2,25	1,38	1,37	1,15	1,13	1,09
Coeficiente de variación (%)	41,00	18,00	18,00	29,00	25,31	12,76
Percentil 5 (MPa)	5,75	5,47	5,49	2,06	2,69	6,72
Valor característico (MPa)	5,03	5,16	5,18	1,87	2,46	3,75

El comportamiento de la guadua angustifolia en ensayos de esfuerzo último a corte paralelo a las fibras observados en la Figura 42 revela que Villavicencio presenta el valor promedio más elevado, alcanzando 8.42 MPa, superando significativamente a otras investigaciones como La Victoria (5.50 MPa) y Oiba (3.95 MPa), que exhibieron valores más bajos en comparación. Por otro lado, las investigaciones en Guaduas (7.57 MPa), Socorro (7.82 MPa) y Tolima (4.46 MPa) obtuvieron valores cercanos a los registrados en Villavicencio.

Figura 42 Gráfico comparativo de esfuerzos últimos a corte paralelo.



7.3.2 Esfuerzo admisible a cortante paralela a las fibras

Los datos de esfuerzo admisible a cortante paralela a las fibras presentes en la Tabla 30 destacan una tendencia ascendente entre las secciones media (1,09 MPa) y superior (1,38 MPa), en contraste con la sección inferior (0,95 MPa). Este análisis revela un patrón de incremento progresivo en los resultados de esfuerzo admisible de la sección inferior a la superior. La investigación realizada en la ciudad de La Victoria muestra una tendencia similar con valores de 0,82 MPa, 1,67 MPa y 1,84 MPa para las secciones inferior, media y superior, respectivamente. Por otro lado, la localidad de Oiba también exhibe un comportamiento ascendente, con mediciones de 0,52 MPa, 0,69 MPa y 0,77 MPa en las secciones inferior, media y superior. Este patrón se observa de manera consistente en las investigaciones realizadas en Socorro, Guaduas y Tolima.

Tabla 30 Esfuerzo admisible a cortante paralela de cada sección del culmo.

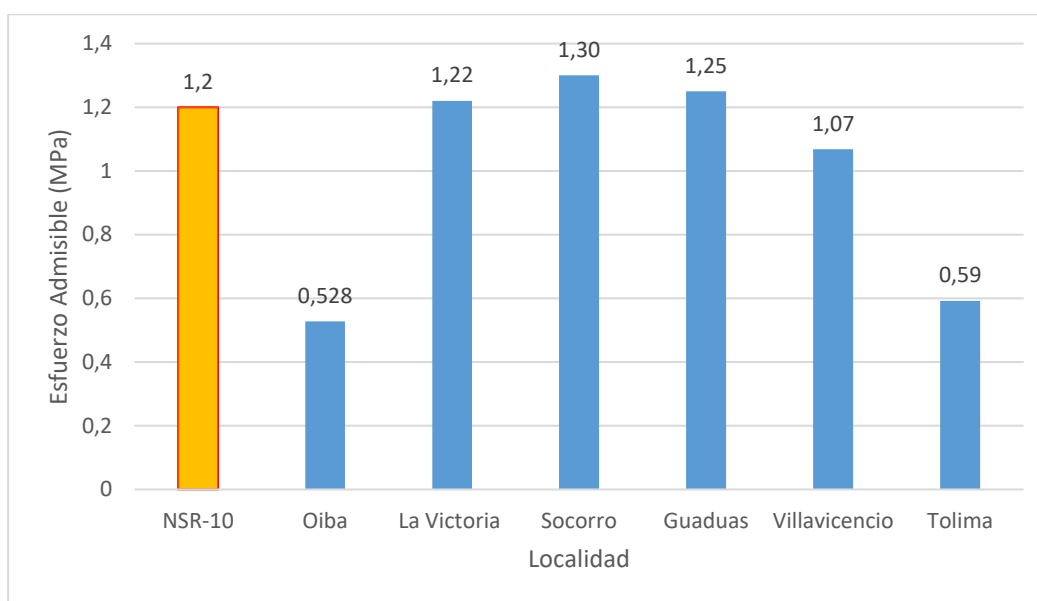
Condición de carga	Porción inferior	Porción media	Porción superior	Total
NSR-10 (MPa)	0,95	1,09	1,38	1,14

Según los análisis anteriores del esfuerzo admisible, se ha empleado un factor de reducción de 0.94 al aplicar el esfuerzo admisible a cortante paralelo a las fibras, con un valor de 1.07 MPa. Este resultado representa uno de los esfuerzos admisibles más bajos en el contexto de esta investigación.

Tabla 31 Esfuerzo admisible con factor de reducción a cortante paralela

Factor de reducción	Esfuerzo Admisible	Corrección de Esfuerzo Admisible
0,94	1,14	1,07

Las investigaciones en Socorro, Guaduas y La Victoria cumplen con el valor mínimo requerido por la norma NSR-10, mientras que las de Oiba y Tolima están por debajo de este umbral. Aunque la investigación realizada en Villavicencio muestra uno de los valores más altos en esfuerzo último en comparación con las mencionadas, no logra cumplir con el esfuerzo exigido por la norma, obteniendo un valor de 1.07 MPa. Esta discrepancia se explica por el hecho de que Villavicencio obtuvo un valor característico de 3.75 MPa, indicando que este valor estadístico representa un umbral que el material debe superar con alta confianza. Este análisis destaca la importancia de considerar el valor característico como un indicador clave en la evaluación de la resistencia del material, proporcionando una medida confiable para asegurar la conformidad con los estándares normativos.

Figura 43 Gráfico comparativo de esfuerzos admisibles a corte paralelo.

7.4. Ensayo de tensión paralela a las fibras

Los datos consignados en la Tabla 32 reflejan los resultados obtenidos durante los ensayos de tensión paralela a las fibras llevados a cabo en el marco de la presente investigación. Se registraron los valores de esfuerzo último (σ_{uf}), módulo de elasticidad (E_{prom}) y contenido de humedad (CH) para cada una de las probetas sometidas a ensayo. Es importante señalar que, debido a limitaciones en la Máquina Universal de Ensayos (UTM-001/LCD) – ALFA, no se logró generar la gráfica de esfuerzo versus deformación en todas las probetas, lo que afectó la obtención de datos de módulo de elasticidad en algunos casos. En el mismo contexto, los valores de humedad solo se obtuvieron los de la sección inferior, ya que restricciones temporales en el uso del horno impidieron secar las muestras correspondientes a las secciones media y superior para obtener sus respectivos contenidos de humedad.

Con respecto al análisis estadístico de los datos de esfuerzo último, se excluyeron las probetas VMT08I, VMT01M y VMT02M basándose en los valores atípicos identificados mediante la aplicación de los Coeficientes de Chauvenet ya anterior mente mencionado. En el anexo 4 se dispone de detalles específicos de los valores correspondientes a los ensayos de tensión paralelo a las fibras.

Tabla 32 Resultados obtenidos del ensayo de tensión paralela a las fibras

Sección inferior				Sección media			Sección superior		
Probeta	σ_{uf} (MPa)	Eprom (Mpa)	CH%	Probeta	σ_{uf} (MPa)	Eprom (Mpa)	Probeta	σ_{uf} (MPa)	Eprom (Mpa)
VMT01I	29,12	20802,06	86,31	VMT01M	37,01		VMT01S	43,18	23189,20
VMT02I	41,61	22346,22	92,38	VMT02M	27,09		VMT02S	60,86	
VMT03I	35,54		93,05	VMT03M	58,84	17366,12	VMT03S	54,70	
VMT04I	36,22		97,81	VMT04M	72,63		VMT04S	58,49	17262,66
VMT05I	29,14	20815,78	94,82	VMT05M	56,57		VMT05S	66,52	
VMT06I	29,49		87,01	VMT06M	57,72		VMT06S	35,94	
VMT07I	46,35		69,17	VMT07M	59,08	15629,57	VMT07S	38,44	21123,28
VMT08I	70,50		84,23	VMT08M	69,00		VMT08S	37,78	
VMT09I	39,56	21735,84	84,93	VMT09M	64,75		VMT09S	49,32	24637,76
VMT10I	46,06		91,57	VMT10M	64,04		VMT10S	48,98	
VMT11I	46,72		99,29	VMT11M	59,54		VMT11S	57,00	19205,83
VMT12I	38,05		98,92	VMT12M	52,26	24557,02	VMT12S	48,45	

7.4.1 Esfuerzo ultimo a tensión paralelo a las fibras

La Tabla 33 presenta los resultados del análisis estadístico del esfuerzo último en el ensayo de tensión paralela para diferentes secciones de la guadua angustifolia. Se observa que la sección media exhibe el mayor promedio de esfuerzo último con 61.44 MPa, seguida por la sección superior con 49.97 MPa y la sección inferior con 37.99 MPa. En cuanto a variación porcentual, la diferencia entre la sección inferior y la media es del 61.72 %, mientras que la sección media y la superior es del 22.95 %.

Tabla 33 Resultados del análisis estadístico de esfuerzo último del ensayo a tensión paralela

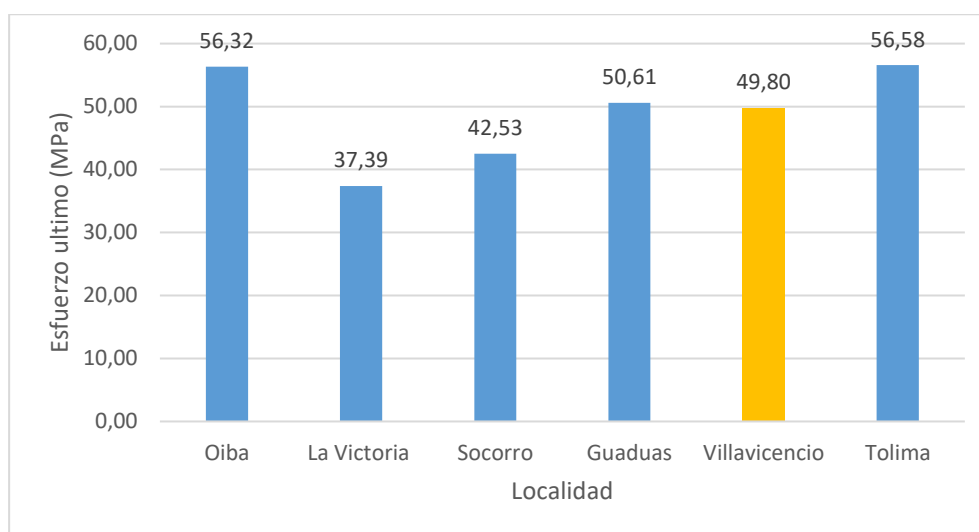
Datos estadísticos	Sección inferior	Sección Media	Sección Superior	Total
Numero de datos	21	24	22	67
Promedio (MPa)	37,99	61,44	49,97	49,80
Desviación estándar (MPa)	6,50	5,81	9,42	7,25
Coefficiente de variación (%)	17,12	9,46	18,85	15,14
Percentil 5 (MPa)	29,13	54,20	36,95	40,09
Valor característico (MPa)	26,12	51,14	33,86	37,04

Las investigaciones de La Victoria, Socorro y Oiba exhibieron coeficientes de variación notablemente más altos, registrando valores del 39%, 31% y 35%, respectivamente. Estos resultados indican variaciones en los conjuntos de datos obtenidos en cada investigación, lo que afecta mucho la relación entre el esfuerzo último y el valor característico. En consecuencia, como se observa en la Figura 45, se evidencian valores considerablemente inferiores en el esfuerzo admisible de estas investigaciones. Por otro lado, las investigaciones de Guaduas (21%), Tolima (27%) y Villavicencio (15.14%) presentaron coeficientes de variación por debajo del 30%, lo cual denota una mayor consistencia en los datos obtenidos y una confiabilidad más ajustada.

Tabla 34 Comparación de datos estadísticos de esfuerzo ultimo a tensión paralela

Datos estadísticos	La Victoria	Guaduas	Socorro	Oiba	Tolima	Villavicencio
Numero de datos	74	67	73	75	36	67
Promedio (MPa)	37,39	50,61	42,53	56,32	56,58	49,80
Desviación estándar (MPa)	14,77	10,84	13,33	19,53	15,55	7,25
Coeficiente de variación (%)	39,00	21,00	31,00	35,00	27,00	15,14
Percentil 5 (MPa)	18,18	31,33	25,53	27,00	34,94	40,09
Valor característico (MPa)	15,91	29,12	22,73	23,96	30,53	37,04

Como se ilustra en la Figura 44, se destaca que la investigación de Tolima presenta el mayor promedio de esfuerzo último a tensión paralela, con valores de 56.32 MPa. Le siguen en orden Oiba (56.32 MPa), Guaduas (50.61 MPa) y Villavicencio (49.90 MPa). En comparación con las investigaciones de La Victoria y Socorro que registran valores más bajos, con 37.39 Mpa y 42.53 MPa, respectivamente.

Figura 44 Gráfico comparativo de esfuerzos últimos a tensión paralela.

7.4.2 Esfuerzo admisible a tensión paralela a las fibras

El comportamiento de esfuerzo admisible a tensión paralela a las fibras de la presente investigación, como se observa en la Tabla 35, exhibe los valores de esfuerzo admisible a tensión paralela para distintas secciones del culmo, conforme a la condición de carga establecida por la normativa NSR-10. Se observa una variación significativa en estos valores, siendo menor en la porción inferior (4.35 MPa), mayor en la porción media (8.52 MPa) y con un valor intermedio en la porción superior (5.64 MPa).

Tabla 35 Esfuerzo admisible a tensión paralela de cada sección del culmo.

Condición de carga	Porción inferior	Porción media	Porción superior	Total
NSR-10 (Mpa)	4,35	8,52	5,64	6,17

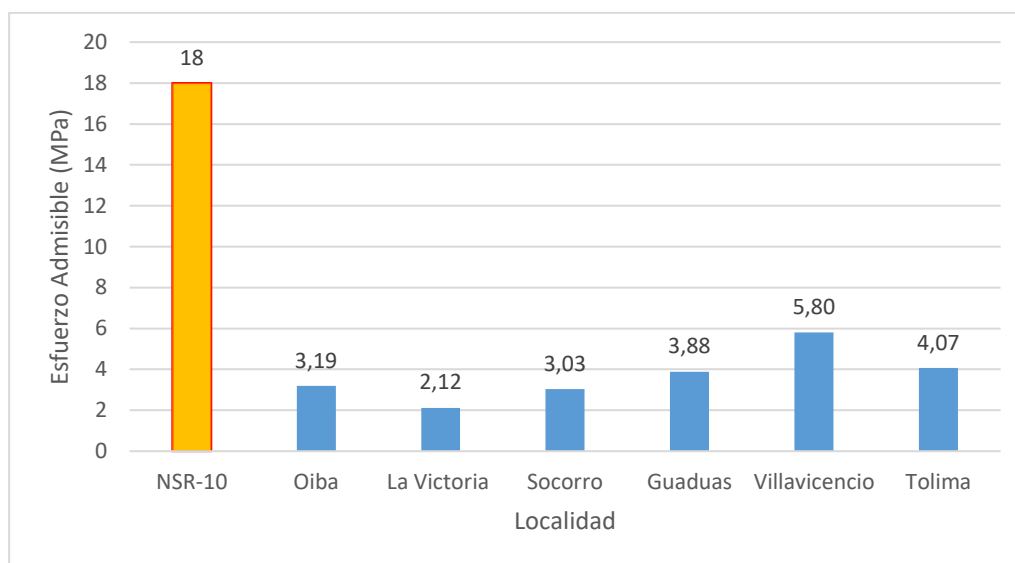
Considerando que el contenido de humedad en la ciudad de Villavicencio se sitúa en un nivel del 14%, según la información presentada en la Tabla 6, se llevó a cabo la aplicación de un factor de reducción del 0.94 al esfuerzo admisible, como se detalla en la Tabla 5. Este procedimiento resultó en una estimación ajustada del esfuerzo admisible a tensión paralela a las fibras de 5.80 MPa.

Tabla 36 Esfuerzo admisible con factor de reducción a tensión paralela

Factor de reducción	Esfuerzo admisible (Mpa)	Corrección de esfuerzo admisible (Mpa)
0,94	6,17	5,80

Según se ilustra en la Figura 45, se observa que ninguna de las investigaciones actuales logró superar o acercarse de manera significativa al umbral establecido por la norma NSR-10 en relación con el esfuerzo admisible a tensión paralela a las fibras. Entre las investigaciones, Villavicencio destacó como la de mejores resultados, registrando un esfuerzo admisible de 5.80 MPa, seguida por Tolima con 4.07 MPa y Guaduas con 3.88 MPa. Por otro lado, las investigaciones de Socorro, Oiba y La Victoria obtuvieron los valores más bajos, con 3.03 MPa, 3.19 MPa y 2.12 MPa, respectivamente, siendo La Victoria la que presentó el esfuerzo admisible más bajo.

Figura 45 Gráfico comparativo de esfuerzos admisibles a tensión paralela



7.4.3 Módulo de elasticidad a tensión paralela a las fibras

La Tabla 37 proporciona un análisis estadístico detallado del módulo de elasticidad a tensión paralela en diferentes secciones del material. Se observa que la sección inferior exhibe el menor coeficiente de variación (3.05%), indicando una menor dispersión en los datos y una mayor consistencia en comparación con las secciones media (20.15%) y superior (12.58%). El promedio del módulo de elasticidad es más alto en la sección inferior (21424.97 MPa) en comparación con la sección media (19184.24 MPa) y superior (21083.75 MPa). La desviación estándar más baja en

la sección inferior (652.78 MPa) sugiere una menor variabilidad en los datos. El percentil 5 y el valor característico son más bajos en la sección inferior, indicando un nivel de resistencia que se puede esperar en el 5% de las mediciones y el valor de referencia para el diseño, respectivamente.

Tabla 37 Resultados del análisis estadístico del módulo de elasticidad a tensión paralela

Datos estadísticos	Sección inferior	Sección media	Sección superior	Total
Numero de datos	4	3	5	12
Promedio (Mpa)	21424,97	19184,24	21083,75	20564,32
Desviación estándar (Mpa)	652,78	3864,71	2653,03	2390,17
Coeficiente de variación (%)	3,05	20,15	12,58	11,93
Percentil 5 (Mpa)	20804,12	15803,22	19205,83	18604,39
Valor característico (Mpa)	20802,11	15801,48	19203,52	18602,37

Considerando que el contenido de humedad en la ciudad de Villavicencio se sitúa en un nivel del 14%, según la información presentada en la Tabla 6, se llevó a cabo la aplicación de un factor de reducción del 0.97 al módulo de elasticidad, como se detalla en la Tabla 5. Este procedimiento resultó en una estimación ajustada del módulo de elasticidad a tensión paralela a las fibras de 19947.39 MPa.

Tabla 38 Corrección del módulo de elasticidad a tensión paralela

Ciudad	Módulo de elasticidad	Factor de reducción	Corrección módulo de elasticidad
Villavicencio	20564,32	0,97	19947,39

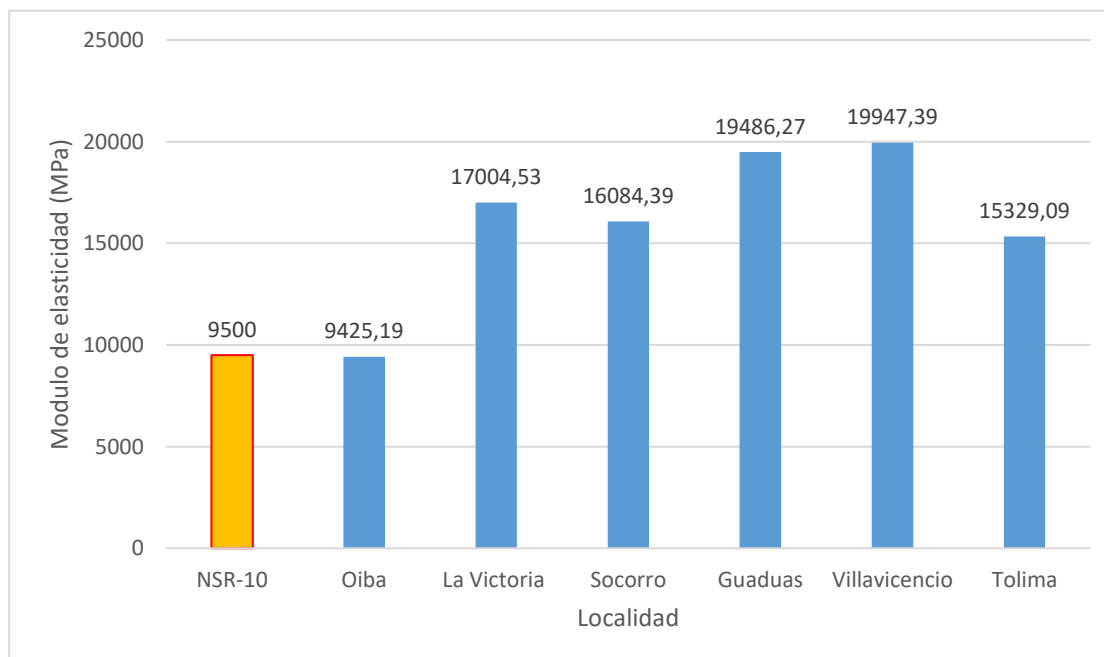
La Tabla 39 presenta un análisis detallado de datos estadísticos del módulo de elasticidad a tensión paralela en diversas investigaciones. Villavicencio exhibe el mayor promedio de módulo de elasticidad (19947.39 MPa), indicando una elevada resistencia del material a la tensión. A pesar de su reducido número de datos, Villavicencio demuestra una baja variabilidad con un coeficiente de variación del 11.93%, denotando una consistencia en sus resultados. Guaduas también muestra un rendimiento destacado con el segundo mayor promedio (19486.27 MPa), aunque con una mayor variabilidad con un 24%. Los percentiles 5 y los valores característicos proporcionan información sobre los niveles mínimos de resistencia esperados, siendo Villavicencio el más alto en ambos casos.

Tabla 39 Comparación de datos estadísticos del módulo de elasticidad a tensión paralela

Datos estadísticos	La Victoria	Guaduas	Socorro	Oiba	Tolima	Villavicencio
Numero de datos	74	55	73	74	22	12
Promedio (Mpa)	17004,53	19486,27	16084,39	9425,19	15329,09	19947,39
Desviación estándar (Mpa)	3172,08	4629,21	3412,80	3550,40	3202,76	2390,17
Coefficiente de variación (%)	18,00	24,00	19,00	38,00	21,00	11,93
Percentil 5 (Mpa)	10142,24	13392,47	10521,60	3086,80	10668,14	18604,39
Valor característico (Mpa)	8991,49	11918,73	9152,50	2494,25	9937,66	18602,37

El grafico representado en la Figura 46 revelan que la investigación de Oiba (9425.19 MPa) fue la única que no cumplió con el umbral establecido por la normativa NSR-10 (9500 MPa). En contraste, todas las demás investigaciones superaron este umbral con alta confianza. Es destacable que Villavicencio logró obtener un módulo de elasticidad superior en comparación con las investigaciones de Guaduas (19486.27 MPa), La Victoria (17004.53 MPa), Socorro (16084.39 MPa) y Tolima, registrando un valor notable de 15329.09 MPa.

Figura 46 Gráfico comparativo del módulo de elasticidad a tensión paralela



7.5. Ensayo a flexión

Los datos presentados en la Tabla 40 reflejan los resultados obtenidos durante los ensayos de flexión llevados a cabo en el contexto de la presente investigación. Se registraron los valores de esfuerzo último (σ_{uf}), módulo de elasticidad (E_{prom}) y contenido de humedad (CH) para cada una de las probetas sometidas a ensayo.

Tabla 40 Resultados obtenidos del ensayo a flexión

Probeta	σ_{uf} (MPa)	E_{prom} (MPa)	CH (%)
VMF01I	55,17	18069,87	85,25
VMF02I	40,96	14484,88	98,50
VMF03I	54,50	15709,11	78,50
VMF01M	21,64	10877,68	80,65
VMF02M	24,63	13389,47	82,30
VMF01S	22,75	13069,68	76,56
VMF02S	30,70	10766,97	88,65
VMF03S	29,56	11733,40	78,98

7.5.1 Esfuerzo ultimo a flexión

Los resultados consignados en la Tabla 41 indican que la sección inferior, con un valor promedio de esfuerzo último a flexión de 50.21 MPa, ha mostrado un rendimiento superior en este comportamiento. En comparación, las secciones media y superior exhibieron resultados similares de esfuerzo último a flexión, con valores de 23.13 MPa y 27.67 MPa, respectivamente, pero en ambos casos inferiores respecto a la sección inferior.

Tabla 41 Resultados del análisis estadístico de esfuerzo ultimo a flexión

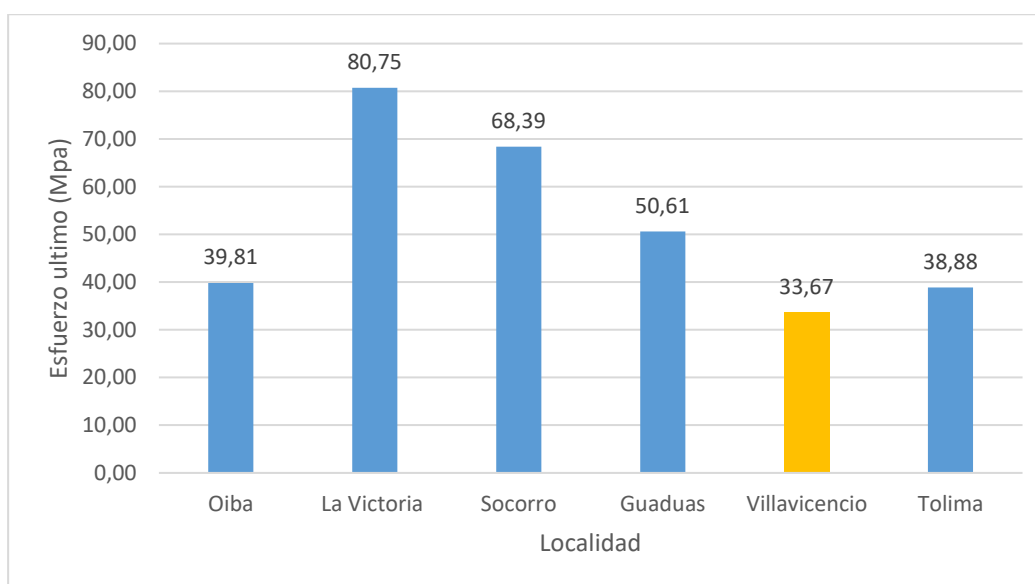
Datos estadísticos	Sección inferior	Sección Media	Sección Superior	Total
Numero de datos	3	2	3	8
Promedio (Mpa)	50,21	23,13	27,67	33,67
Desviación estándar (Mpa)	6,55	1,49	3,51	3,85
Coefficiente de variación (%)	13,04	6,46	12,68	10,73
Percentil 5 (Mpa)	42,31	21,79	23,43	29,18
Valor característico (Mpa)	40,65	20,37	21,77	27,60

El análisis estadístico presentado en la Tabla 42 revela que Socorro exhibe el segundo valor promedio de esfuerzo admisible a flexión más elevado, aunque con el coeficiente de variación más alto (43%) en comparación con otras investigaciones. Esta variabilidad sustancial impacta de manera significativa en su valor característico, que se sitúa en 47.64 MPa. Por otro lado, Villavicencio muestra valores de esfuerzo último considerablemente inferiores, pero con un coeficiente de variación más reducido (10.73) y un valor característico (27.60 MPa) muy cercano al promedio de esfuerzo último, indicando una mayor confiabilidad y homogeneidad en los datos obtenidos.

Tabla 42 Comparación de los datos estadísticos de esfuerzo ultimo a flexión

Datos estadísticos	La Victoria	Guaduas	Socorro	Oiba	Tolima	Villavicencio
Numero de datos	12	67	12	11	12	8
Promedio (Mpa)	80,75	50,61	68,39	39,81	38,88	33,67
Desviación estándar (Mpa)	19,80	10,84	29,73	10,72	4,85	3,85
Coeficiente de variación (%)	25,00	21,00	43,00	27,00	12,47	10,73
Percentil 5 (Mpa)	58,89	31,33	27,63	28,18	33,90	29,18
Valor característico (Mpa)	47,64	29,12	18,26	22,00	30,60	27,60

Al analizar la gráfica ilustrada en la Figura 47, se destaca que la investigación de La Victoria exhibió el resultado más representativo en términos de esfuerzo último a flexión, registrando un valor notable de 80.75 MPa. Le siguieron Socorro con 68.39 MPa y Guaduas con un valor de 50.61 MPa. Los valores más bajos de esfuerzo último se observaron en Villavicencio con 33.67 MPa, Tolima 38.88 MPa y Oiba con 39.81 MPa.

Figura 47 Gráfico comparativo de esfuerzos últimos a flexión

7.5.2 Esfuerzo admisible a flexión

La Tabla 43 proporciona los valores del esfuerzo admisible a flexión para distintas secciones del culmo de guadua angustifolia, siguiendo la condición de carga establecida por la normativa NSR-10. Se observa que la porción inferior tiene un esfuerzo admisible más elevado (13.55 MPa) en comparación con la porción media (6.79 MPa) y la porción superior (7.26 MPa). El valor total para el esfuerzo admisible a flexión es de 9.20 MPa. Esta misma tendencia se evidenció en los datos relativos al esfuerzo admisible a compresión perpendicular a las fibras, donde se constató que tanto la porción inferior como la superior exhibieron valores superiores en comparación con la porción media.

Tabla 43 Esfuerzo admisible a flexión de cada sección del culmo.

Condición de carga	Porción inferior	porción media	Porción superior	Total
NSR-10 (Mpa)	13,55	6,79	7,26	9,20

Según lo indicado en la Tabla 44, se llevó a cabo la aplicación de un factor de reducción de 0.91 al esfuerzo admisible, resultando en un valor final de 8.37 MPa para el esfuerzo admisible a flexión. Este cálculo, que implica la consideración de un factor de corrección, es esencial para

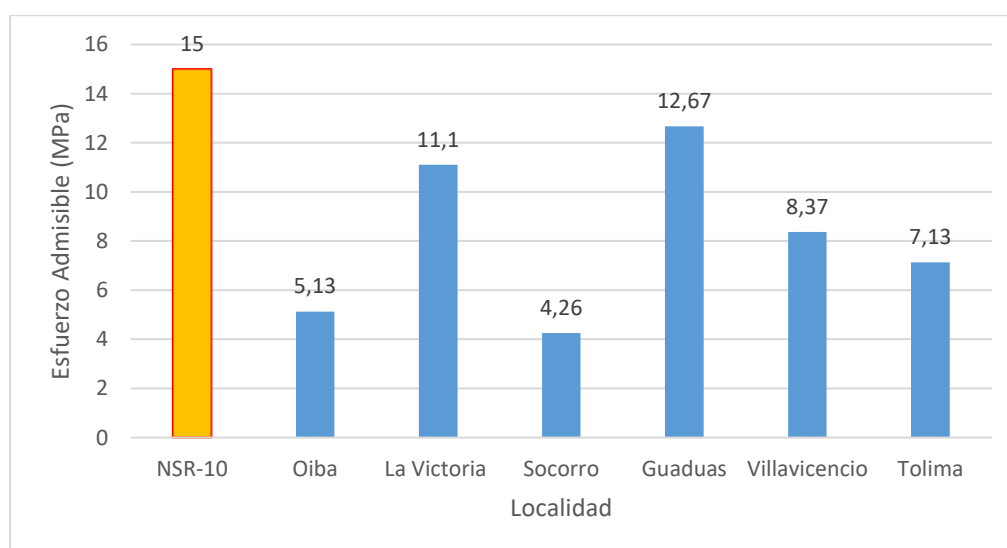
ajustar el esfuerzo admisible a condiciones prácticas como es en este caso el del equilibrio del contenido de humedad, véase Tabla 5.

Tabla 44 Esfuerzo admisible con factor de reducción a flexión

Factor de reducción	Esfuerzo admisible (Mpa)	Corrección de esfuerzo admisible (Mpa)
0,91	9,20	8,37

Los resultados observados en la gráfica se ilustran en la Figura 48 revelaron que, a pesar de que La Victoria (80.75 MPa) mostró un esfuerzo último significativamente mayor en comparación con Guaduas (50.61 MPa), Guaduas (12.67 MPa) obtuvo mejores resultados en cuanto al esfuerzo admisible a flexión, en comparación con investigación de La Victoria (11.1 MPa). A su vez, Villavicencio, con 8.37 MPa, ocupó la tercera posición en términos de comportamiento respecto al esfuerzo admisible a flexión, a pesar de tener el esfuerzo último más bajo en comparación con las demás investigaciones. Es importante destacar que ninguna de las investigaciones superó el umbral establecido por la NSR-10 de 15 MPa. Sin embargo, a pesar de no alcanzar este umbral dirigido para guaduas angustifolias con un porcentaje de humedad del 12%, las investigaciones de La Victoria, Guaduas y Villavicencio demostraron comportamientos cercanos al umbral a pesar de estar saturadas con valores cercanos al 90%.

Figura 48 Gráfico comparativo de esfuerzos admisible a flexión.



7.5.3 Módulo de elasticidad a flexión

La Tabla 45 presenta los resultados del análisis estadístico del módulo de elasticidad a flexión dividido por secciones (inferior, media, superior). Se observa que la sección inferior exhibe el mayor promedio de módulo de elasticidad (16087.95 MPa), seguida por la sección media (12133.58 MPa) y la sección superior (11856.69 MPa). Estos valores proporcionan una visión diferenciada de la respuesta a la flexión en distintas partes de la muestra, mostrando un patrón decreciente en los valores desde la sección inferior hasta la sección superior.

Tabla 45 Resultados del análisis estadístico del módulo de elasticidad a flexión

Datos estadísticos	Sección inferior	Sección Media	Sección Superior	Total
Numero de datos	3	2	3	8
Promedio (Mpa)	16087,95	12133,58	11856,69	13359,41
Desviación estándar (Mpa)	1487,88	1255,89	944,11	1229,29
Coefficiente de variación (%)	9,25	10,35	7,96	9,19
Percentil 5 (Mpa)	14607,31	11003,27	10863,62	12158,06
Valor característico (Mpa)	14605,58	11001,85	10861,90	12156,44

Como se evidencia en la Tabla 46, se llevó a cabo la aplicación de un factor de reducción de 0.97 al módulo de elasticidad. Este cálculo resultó en un valor de 12958.62 MPa para el esfuerzo admisible a flexión. Este proceso de ajuste mediante el factor de reducción es fundamental para obtener una estimación más precisa y conservadora del esfuerzo admisible, considerando las variaciones por humedad en las propiedades del material.

Tabla 46 Corrección del módulo de elasticidad a flexión

Módulo de elasticidad (Mpa)	Factor de reducción	Corrección módulo de elasticidad (Mpa)
13359,41	0,97	12958,62

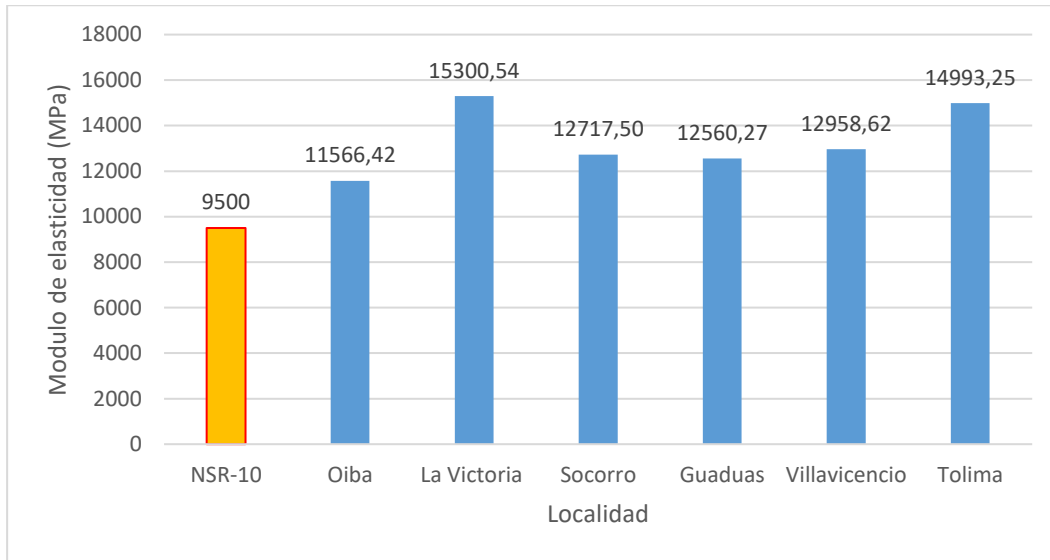
La Tabla 47 presenta una comparación detallada de los datos estadísticos del módulo de elasticidad a flexión entre diferentes investigaciones. Se observa que Villavicencio tiene un número reducido de datos (8) en comparación con otras investigaciones, y su promedio de módulo de elasticidad (12958.62 MPa) es significativamente alto. La desviación estándar relativamente baja

(1229.29 MPa) y el coeficiente de variación (9.19%) indican una menor variabilidad y mayor homogeneidad en los datos de Villavicencio en comparación con otras investigaciones. Los percentiles 5 y el valor característico también resaltan el rendimiento consistente de Villavicencio. Además, La Victoria muestra un alto promedio (15300.54 MPa) pero con una mayor variabilidad, representada por un coeficiente de variación del 40%. La interpretación de estos datos sugiere que, a pesar de tener un menor número de datos, Villavicencio exhibe una tendencia a tener datos más consistentes y confiables en términos de módulo de elasticidad a flexión en comparación con las otras investigaciones.

Tabla 47 Comparación de los datos estadísticos del módulo de elasticidad a flexión

Datos estadísticos	La Victoria	Guaduas	Socorro	Oiba	Tolima	Villavicencio
Numero de datos	12	11	12	11	12	8
Promedio (Mpa)	15300,54	12560,27	12717,50	11566,42	14993,25	12958,62
Desviación estándar (Mpa)	6135,54	1754,10	5359,05	3273,61	2026,33	1229,29
Coeficiente de variación (%)	40,00	14,00	42,00	28,00	13,00	9,19
Percentil 5 (Mpa)	7566,36	10715,54	4049,27	8263,67	11585,89	12158,06
Valor característico (Mpa)	6407,25	10550,44	3676,77	8205,54	11439,81	12156,44

La gráfica ilustrada en la Figura 49, revela que todas las investigaciones, incluyendo Oiba (11566.42 MPa), La Victoria (15300.54 MPa), Socorro (12717.50 MPa), Guaduas (12560.27 MPa), Villavicencio (12958.62 MPa) y Tolima (14993.25 MPa), han superado significativamente el módulo de elasticidad a flexión requerido por la norma NSR-10, que es de 9500 MPa. Además, se observa una notable afinidad en los datos de todas las investigaciones. Por ejemplo, al comparar cada resultado con el valor exigido por la norma, se constata que Oiba alcanzó un cumplimiento del 121.7%, La Victoria del 160.0%, Socorro del 133.6%, Guaduas del 132.8%, Villavicencio del 136.0% y Tolima del 157.8 %. Esto sugiere que, aunque las investigaciones se centran en diferentes ubicaciones o especies, comparten una consistencia general en términos de sus propiedades de elasticidad a flexión.

Figura 49 Gráfico comparativo del módulo de elasticidad a flexión

7.6. Análisis de esfuerzos admisibles en las secciones del culmo

Este análisis de los esfuerzos admisibles en las diferentes secciones del culmo de guadua angustifolia Kunt se lleva a cabo con el objetivo de comprender el comportamiento de las distintas secciones ante diversas condiciones de carga, tales como flexión, tensión, compresión y corte. El propósito es identificar qué secciones del culmo exhiben un rendimiento más favorable en respuesta a estas diferentes sollicitaciones mecánicas.

7.6.1 Comparación de esfuerzo admisible a tensión paralela

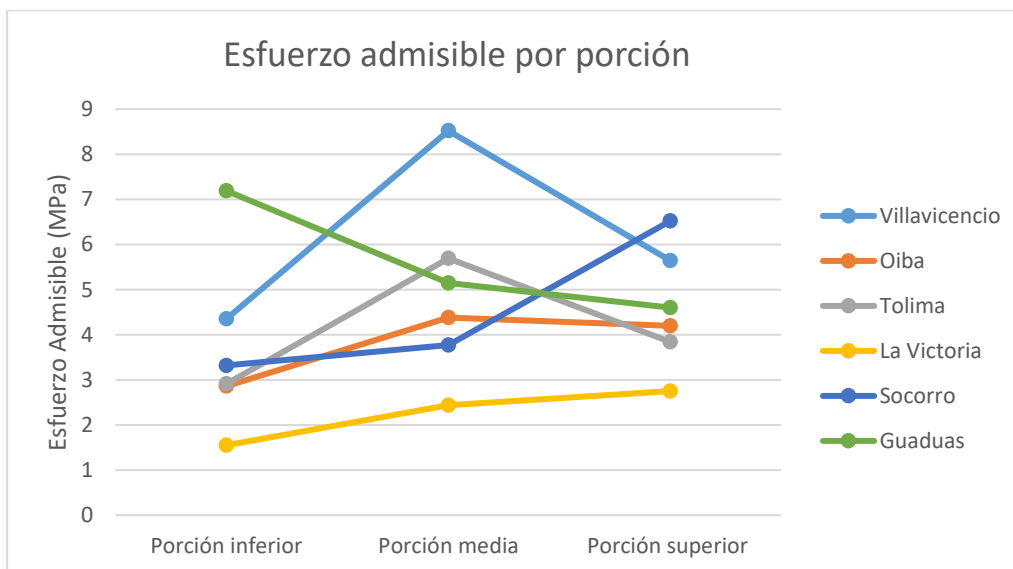
El estudio del comportamiento del esfuerzo admisible a tensión paralela en la guadua angustifolia Kunt observados en la Tabla 48, reveló patrones distintivos en las diferentes secciones del culmo. Las investigaciones realizadas en Villavicencio (4.35 MPa, 8.52 MPa, 5.64 MPa), Oiba (Estefan, 2016) con valores de 2.86 MPa, 4.38 MPa, 4.20 MPa y Tolima (Leonardo & Pinilla, 2013) con valores de 2.91 MPa, 5.69 MPa, 3.84 MPa indicaron un comportamiento superior en la porción media, seguido de la porción superior, con el valor más bajo observado en la sección inferior. En contraste, las investigaciones de La Victoria (Rueda Vega, 2023) con valores de 1.55 MPa, 2.44 MPa, 2.75 MPa y Socorro (Catalina & Escobar, 2018) con valores de 3.32 MPa, 3.77 MPa, 3.52 MPa mostraron un comportamiento creciente desde la sección inferior hasta la sección superior del

culmo. Por último, Guaduas (Faid & Aponte, 2016) exhibió un comportamiento decreciente en relación con las secciones, disminuyendo desde la inferior hacia la superior. Estas observaciones subrayan la complejidad de las propiedades mecánicas de la guadua angustifolia y resaltan la necesidad de considerar estas variaciones al aplicar el material en aplicaciones estructurales específicas.

Tabla 48 Comparación de esfuerzos admisibles a tensión paralela a las fibras

Investigación	Porción inferior	Porción media	Porción superior	Unidad
Villavicencio	4,35	8,52	5,64	MPa
Oiba	2.86	4.38	4.20	MPa
Tolima	2.91	5.69	3.84	MPa
La Victoria	1.55	2.44	2.75	MPa
Socorro	3.32	3.77	6.52	MPa
Guaduas	7.19	5.15	4.60	MPa

Figura 50 Grafico comparativo de esfuerzos admisibles a tensión paralela por porción



7.6.2 Comparación de esfuerzo admisible a corte paralelo

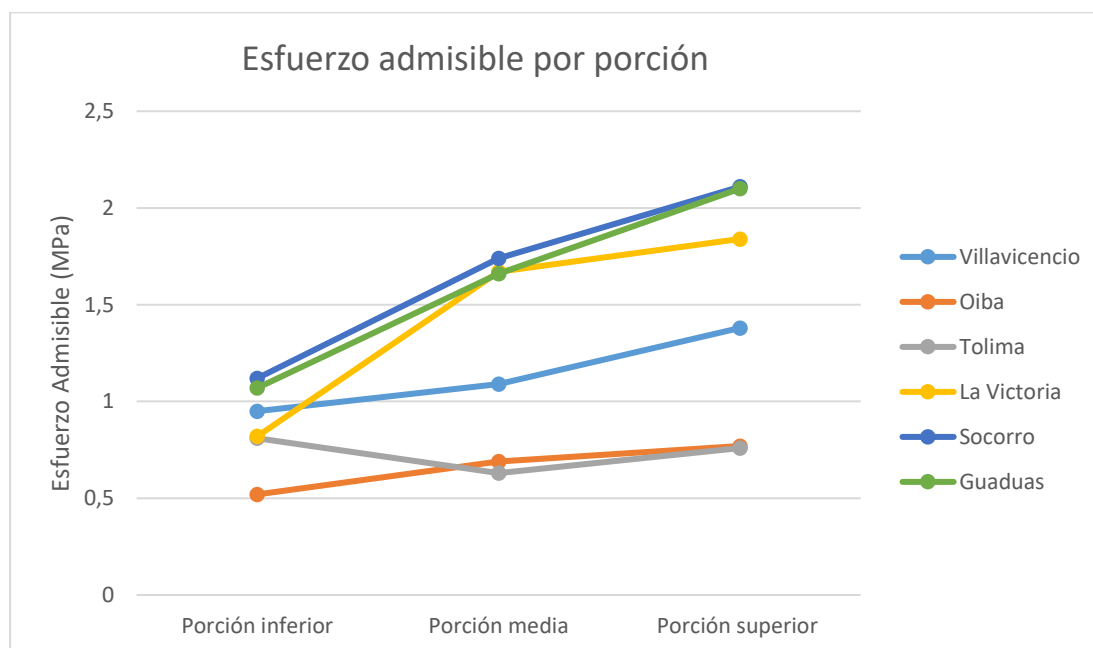
La Tabla 49, revela como la investigación de Villavicencio obtiene un patrón de incremento progresivo en los resultados de esfuerzo admisible de la sección inferior a la superior. La

investigación realizada en la ciudad de La Victoria (Rueda Vega, 2023) muestra una tendencia similar con valores de 0,82 MPa, 1,67 MPa y 1,84 MPa para las secciones inferior, media y superior, respectivamente. Por otro lado, la investigación Oiba (Estefan, 2016) también exhibe un comportamiento ascendente, con mediciones de 0,52 MPa, 0,69 MPa y 0,77 MPa en las secciones inferior, media y superior. Este patrón se observa de manera consistente en las investigaciones realizadas en Socorro (Catalina & Escobar, 2018), Guaduas (Faid & Aponte, 2016) y Tolima (Leonardo & Pinilla, 2013). Por lo tanto, según los resultados se puede inferir que la porción que mejor se comporta al esfuerzo admisible a cortante es la porción superior.

Tabla 49 Comparación de esfuerzos admisibles a corte paralelo a las fibras

Investigación	Porción inferior	Porción media	Porción superior	Unidad
Villavicencio	0,95	1,09	1,38	MPa
Oiba	0.52	0.69	0.77	MPa
Tolima	0.81	0.63	0.76	MPa
La Victoria	0,82	1,67	1,84	MPa
Socorro	1.12	1.74	2.11	MPa
Guaduas	1.07	1.66	2.10	MPa

Figura 51 Grafico comparativo de esfuerzos admisibles a corte paralelo por porción



7.6.3 Comparación de esfuerzo admisible a flexión

En relación con el esfuerzo admisible a flexión, no es posible realizar un análisis exhaustivo sobre qué porción del culmo presenta una mayor resistencia, ya que las investigaciones se han concentrado exclusivamente en la sección media. Las secciones inferiores y superiores del culmo no han sido consideradas en estos estudios, lo que limita la comprensión completa del comportamiento frente a esfuerzos de flexión en todas las partes de la guadua angustifolia. Para obtener una evaluación más integral, sería necesario extender las investigaciones para abarcar todas las secciones del culmo y proporcionar una visión más completa de su desempeño estructural en condiciones de carga por flexión.

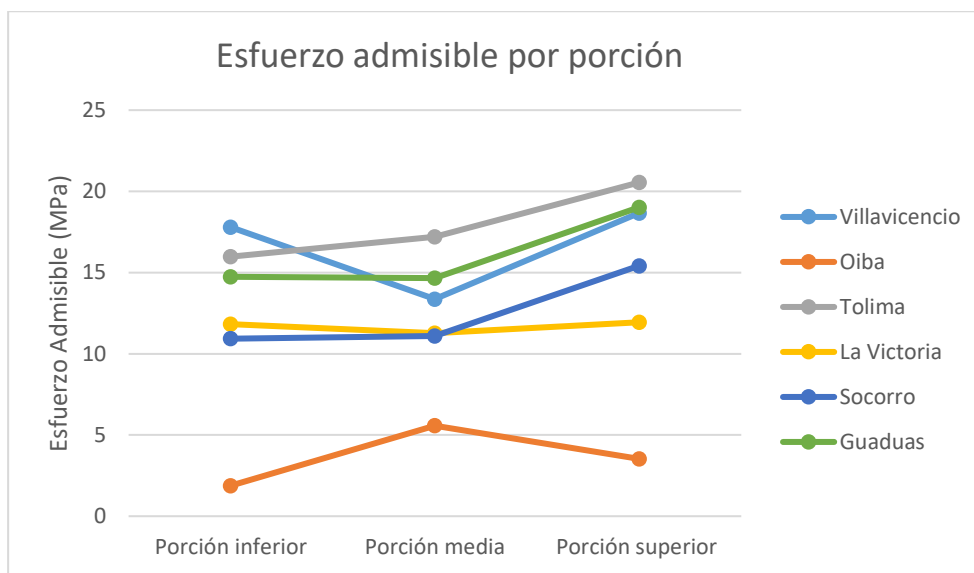
7.6.4 Comparación de esfuerzo admisible a compresión paralela

En las investigaciones de Tolima (Leonardo & Pinilla, 2013) y Socorro (Catalina & Escobar, 2018), se observó un comportamiento creciente desde la porción inferior hasta la superior, siendo la porción superior la que exhibió el mayor esfuerzo admisible a compresión paralela. En el caso de Villavicencio, Guaduas (Faid & Aponte, 2017) y la Vitoria (Rueda Vega, 2023), la porción superior demostró un rendimiento superior, seguida por la porción inferior, mientras que la porción media registró el valor más bajo. En cambio, Oiba (Estefan, 2016) presentó un patrón diferente, donde la porción media mostró el mejor rendimiento, seguida por la porción superior, y el valor más bajo correspondió a la porción inferior. Según estos resultados, se puede inferir que la porción que mejor resiste al esfuerzo admisible a compresión paralela es la porción superior.

Tabla 50 Comparación de esfuerzos admisibles a compresión paralela a las fibras

Investigación	Porción inferior	Porción media	Porción superior	Unidad
Villavicencio	17,80	13,37	18,67	MPa
Oiba	1.88	5.57	3.52	MPa
Tolima	15.98	17.20	20.55	MPa
La Victoria	11,83	11,27	11.94	MPa
Socorro	10.93	11.10	15.42	MPa
Guaduas	14.75	14.66	19.02	MPa

Figura 52 Grafico comparativo de esfuerzos admisibles a compresión paralela por porción



7.7. Ensayo de contenido de humedad

Villavicencio en el ensayo de compresión paralela obtuvo un promedio de un 100.07% respecto al contenido de humedad. Siendo el más alto respecto a las investigaciones. con promedios similares, Tolima obtuvo un 95.27%, La victoria con un 93.66%, y las que menor contenido de humedad fueron Socorro con un 70.23% y guaduas con un 66.06%. aunque guaduas exhibe un valor bajo pues justifica que las pruebas duraron un tiempo prolongado en el exterior.

Respecto al ensayo a compresión perpendicular Villavicencio (80.20%) obtuvo el tercer valor más bajo seguido de guaduas con 78.91% y Tolima con 83.60%, y los valores más altos son las investigaciones de La victoria con 105.24%, Oiba con 111.32% y socorro con 89.76% respecto al contenido de humedad. La Victoria muestra el coeficiente de variación más alto (32%) y Oiba con un valor de 27.83%, indicando una variabilidad significativa en sus datos.

Las muestras empleadas en el ensayo de corte exhibieron variados contenidos de humedad en diferentes ubicaciones geográficas: Villavicencio registró un 93.30%, La Victoria sobresalió con un valor superior de 124.26%, Socorro presentó un contenido de humedad de 103.67%, Oiba demostró un 117.70%, y Guaduas evidenció un nivel de humedad de 74.84%.

los resultados de ensayos de tensión paralela, La Victoria muestra el mayor promedio (131,34%), seguido por Socorro (125,54%) y Villavicencio (89,96%). Tolima y Guaduas presentan los coeficientes de variación más altos, indicando mayor variabilidad.

En el ensayo de flexión, La Victoria lidera nuevamente con el mayor promedio (92,41%), seguido por Oiba (89,08%) y Villavicencio (83,67%). Socorro muestra el coeficiente de variación más alto, sugiriendo mayor variabilidad en los datos de flexión en comparación con otras ubicaciones.

Tabla 51 Comparación de resultados de contenido de humedad

Tipo de ensayo	Datos Estadísticos	Villavicencio	La Victoria	Socorro	Oiba	Tolima	Guaduas
Compresión paralela	Promedio (%)	100,07	93,66	70,23	92,98	95,27	66,06
	Desviación estándar (%)	16,77	25,49	17,94	38,21	18,80	10,82
	Coeficiente de variación (%)	16,76	27,00	26,00	41,10	19,73	16,00
Compresión perpendicular	Promedio (%)	80,20	105,24	89,76	111,32	83,60	78,91
	Desviación estándar (%)	16,32	34,05	8,28	27,83	17,01	13,42
	Coeficiente de variación (%)	20,35	32,00	9,00	25,00	20,34	17,00
Corte	Promedio (%)	93,30	124,26	103,67	117,70	100,60	74,84
	Desviación estándar (%)	12,45	47,46	14,20	26,95	11,61	11,01
	Coeficiente de variación (%)	13,35	38,00	14,00	22,90	11,54	15,00
Tensión paralela	Promedio (%)	89,96	131,34	125,54	94,64	51,87	72,46
	Desviación estándar (%)	8,08	25,91	15,57	24,09	28,29	13,87
	Coeficiente de variación (%)	8,98	20,00	12,00	25,45	54,55	19,00
Flexión	Promedio (%)	83,67	92,41	41,75	89,08	19,91	41,43
	Desviación estándar (%)	6,68	21,26	16,69	19,00	7,45	7,33
	Coeficiente de variación (%)	7,99	23,00	40,00	21,33	37,42	18,00

7.8. Análisis de la procedencia de las investigaciones conforme a la ubicación geográfica

El análisis de la ubicación geográfica en relación con el esfuerzo admisible en las seis investigaciones revela variaciones y similitudes significativas en cuanto a la altitud sobre el nivel del mar, temperatura y precipitación. Guaduas, Tolima y Villavicencio destacan como las investigaciones con el mejor rendimiento en esfuerzos admisibles a nivel general. Al comparar estas investigaciones y evaluar la precipitación, resulta difícil deducir que este factor influya en la resistencia de la guadua, ya que las investigaciones de Oiba y Guaduas presentan niveles de

precipitación muy similares, sugiriendo que deberían tener resistencias aproximadas. Sin embargo, la realidad contradice esta suposición, ya que Guaduas exhibe una mayor resistencia que Oiba.

En relación con la temperatura, surge la hipótesis de que este factor puede contribuir a la interpretación de la resistencia de la guadua, dado que las tres investigaciones mencionadas anteriormente experimentan condiciones climáticas cálidas. Por otro lado, la altitud sobre el nivel del mar emerge como un factor relevante, ya que las investigaciones de Villavicencio, Guaduas y Tolima comparten altitudes relativamente cercanas. En este contexto, si Villavicencio se destaca en comparación con estas, se puede inferir que esta superioridad se debe a su menor altitud sobre el nivel del mar, respaldado por las conclusiones de (Rueda Vega, 2023).

Tabla 52 Características geográficas donde se ha extraído la guadua angustifolia kunt

Lugar	Altura sobre el nivel del mar (m)	Temperatura (°C)	Precipitación Anual (mm)
Villavicencio	467	28	4000
Guaduas	1100	24	1628
Tolima	1285	28	1881
Oiba	1420	20,8	1400
La victoria	1400	23,4	3000
Socorro	1350	24	1750

Conclusiones

- Esta investigación se destaca como una de las primeras en las caracterizaciones de la guadua en un clima cálido, aportando significativamente al conocimiento existente. Se espera que esta iniciativa sea replicada en toda la región de la Orinoquia, con el propósito de fortalecer y ampliar los datos obtenidos en este estudio, así como en investigaciones a nivel nacional.
- Las investigaciones relacionadas con la Guadua angustifolia en las localidades de Tolima y Villavicencio revelaron valores notoriamente homogéneos durante la comparación de esfuerzos últimos, esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad. Esta uniformidad puede atribuirse al hecho de que, en ambas investigaciones, la Guadua angustifolia Kunth fue recolectada en ubicaciones con condiciones térmicas y altitudes sobre el nivel del mar que exhibieron una notable semejanza.
- La Guadua angustifolia exhibe una variabilidad significativa en las tres secciones del culmo: sección inferior, sección media y sección superior. El análisis comparativo de los datos recopilados de seis investigaciones revela que, en términos de esfuerzos a corte, la guadua demuestra un comportamiento más favorable en la sección superior. En cuanto al análisis comparativo de esfuerzo a compresión paralela, se evidencia que la sección superior es la que mejor soporta las cargas. Por otro lado, los esfuerzos admisibles a tensión presentan comportamientos diversos; en algunas investigaciones, la sección media muestra un rendimiento superior, mientras que, en otras, se observa un comportamiento superior en la sección inferior.
- La Guadua angustifolia exhibe variaciones de resistencia que guardan una relación inversa con el contenido de humedad, según lo estipulado por la normativa NSR-10. El análisis de esta investigación ha comparado seis estudios en relación con tres variables geográficas: precipitación, temperatura y altitud sobre el nivel del mar. Como resultado, se ha concluido que la Guadua angustifolia presenta variabilidades notables y consistentes en relación con su altitud sobre el nivel del mar, siendo inversamente proporcional a esta altitud; es decir, a menor altitud, se encuentran valores de resistencia más elevados. Para fortalecer la credibilidad de esta hipótesis, se recomienda llevar a cabo más investigaciones en la región de los llanos orientales, donde la altitud es relativamente baja.

- La investigación presente realizada en la guadua angustifolia Kunt de la ciudad de Villavicencio revela un desempeño destacado en dos de las cinco pruebas normativas evaluadas, específicamente en esfuerzos admisibles a compresión paralela y compresión perpendicular. A pesar de que las pruebas de tensión, flexión y corte no lograron superar los estándares normativos, se observó que los valores obtenidos estuvieron muy cercanos al rango establecido por la norma. Cabe destacar que estas pruebas no superadas exhibieron un comportamiento superior en comparación con otras investigaciones. Es particularmente notable que, a pesar de la alta humedad presente en la guadua de Villavicencio (89.44%), las pruebas superadas se realizaron bajo un umbral normativo aplicado en condiciones de 12% de humedad, lo que subraya la robustez y capacidad de la guadua para resistir esfuerzos incluso en condiciones no óptimas. Estos resultados sugieren que la guadua de Villavicencio presenta propiedades mecánicas significativas y demuestra ser una opción viable y competitiva en aplicaciones estructurales, resaltando su versatilidad y potencial en diversas condiciones ambientales.
- En relación con el ensayo de contenido de humedad, Villavicencio se posicionó como la tercera investigación con el contenido de humedad general más alto, registrando un valor del 89.44%. La victoria el valor más alto con un 109.38%, seguida por Oiba en el segundo lugar con un valor de 101.14%. Por otro lado, Tolima y Guaduas exhibieron valores de 70.25% y 66.74%, respectivamente. Es posible que las investigaciones de Guaduas y Tolima hayan tenido un mejor desempeño a lo largo del estudio debido a su bajo contenido de humedad presente en las probetas ensayadas.

Referencias bibliográficas

- Ardilla Pinilla, C. (2013). Determinación de los valores de esfuerzos admisibles del bambú *Guadua angustifolia* Kunth del departamento de Tolima, Colombia. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21648>
- Camargo García, J. C. C., & Kleinn, C. (2010). Length curves and volume functions for *Guadua* bamboo (*Guadua angustifolia* Kunth) for the coffee region of Colombia. *European Journal of Forest Research*, 129(6), 1213–1222. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0411-2>.
- Contreras Mamby, M. D., & Vaglianti Bernal, J. A. (2018). Diseño de proyecto de la *Guadua* como material alternativo para la construcción de viviendas sustentables en el km 10 vía al mirador Restrepo Meta. [Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/6368>.
- Correal, D. J. F., & Juliana Arbeláez, C. (2010). Influence of age and height position on colombian *Guadua angustifolia* bambo mechanical properties. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 12(2), 105-113. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2010000200005>.
- Flander, K. De, & Rovers, R. (2009). One laminated bamboo-frame house per hectare per year. *Construction and Building Materials*, 23(1), 210–218. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2008.01.004>.
- Garzón Aponte, A. (2016). Caracterización físico-mecánica de la *Guadua* en el Municipio de Guaduas-Cundinamarca. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57630>.
- Google Maps. (2023). Ubicación de la Universidad Santo Tomás Villavicencio. https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1GgCSCmT-qxP9XSpIFvSiS3hijWk&hl=en_US&ll=4.126118871335566%2C-73.61456768650817&z=16
- International Organization for Standardization (ISO). (2019). ISO 22157:2019: Bamboo structures- Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms-Test methods. ISO
- Lamus Báez, F; Urazán Bonells, C. & Andrade Pardo, S (2014) "La *Guadua angustifolia* como alternativa para la construcción de puentes peatonales," *Épsilon*: (2). 43-62. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1215&context=ep>

- Milenioscuro. (2012). Meta - Castilla la es.m.wikipedia.org
https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Colombia_-_Meta_-_Castilla_la_Nueva.svg.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). Cadena Guadua Acuerdo de Competitividad 2021. sioc.minagricultura.gov.co. <https://acortar.link/6x6HFl>.
- Narváez Estefan, S. (2017). Caracterización de las propiedades físico - mecánicas de la guadua angustifolia kunth del municipio de Oiba, Santander. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59719>.
- Rueda Vega, J. (2023). Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de la Guadua angustifolia kunth municipio de La Victoria, Boyacá. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84531>
- Salazar Jaramillo, Á. A., Quintero Suarez, C. M., & Fonthal, G. (2016). Revisión de la norma ISO-N314-22157 para estandarizar los ensayos de compresión paralela en la guadua angustifolia Kunth. Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia, 39(2), 056–063. <https://ve.scielo.org/pdf/rftiuz/v39n2/art02.pdf>
- Sánchez Escobar, L (2018, October 29). Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de la Guadua angustifolia kunth del municipio de Socorro, Santander-Colombia. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69554>
- Sánchez Trujillo, D. C., Sosa Montiel, S. C., & Arquitectónicas, T. en C. (2018). Investigación de patología en guadua del parque jardín botánico Jose Celestino Mutis. [Trabajo de grado, Universidad La Gran Colombia]. Repositorio. <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/5640>.
- Sapuyes, E., Osorio, J., Takeuchi, C., Duarte, M., & Erazo, W. (2018). Resistencia y elasticidad a la flexión de la guadua angustifolia kunth de pitalito, huila Bending stRess and elasticity of the guadua angustifolia kunth of pitalito, huila 11(1). 97-111. <https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rinv/article/download/182/180/334>
- Teneche, G. (2016). Guadua Bambusa guadua H. et. B. o Guadua angustifolia. [blog]. Guadua y bambu (GBC). <https://guaduybambu.es.tl/guadua-angustifolia.htm>.
- Toro-Arango, A., Torrado-García, D., Arena-Navarro, M. T., Chinchilla-García, A. F., De La Rosa-Oñate, M. C., Hoyos-Patiño, J. F., & Velásquez-Carrascal, B. L. (2021). Guadua (guadua

angustifolia) material de innovación para el diseño. Formación Estratégica, 3(02), 81–96.
<https://formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/104>.

Майкол, С. М. Й. (2018). Архитектурное проектирование из бамбука как экологического альтернативного материала XXI века. КиберЛенинка. cyberleninka.ru
<https://acortar.link/cQZZD7>.

Anexos

Anexo 1 Datos de entrada para el ensayo a compresión paralela

Probeta	Fult (N)	Dext 1 (mm)	Dext 2 (mm)	Dext Total	t1 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	t4 (mm)	ttotal (mm)	A (mm ²)
VMC01I	136800	97,50	98,00	97,75	15,0	16,4	14,2	15,0	15,2	3931,36
VMC02I	150430	79,40	79,20	79,30	16,4	14,0	16,6	18,0	16,3	3218,76
VMC03I	151310	99,40	98,00	98,70	15,2	17,0	17,0	16,0	16,3	4219,54
VMC04I	160150	97,20	98,50	97,85	15,3	15,2	17,4	18,0	16,5	4211,79
VMC05I	148290	87,50	86,00	86,75	12,2	14,0	15,0	15,0	14,1	3208,93
VMC06I	170710	83,00	85,00	84,00	19,1	16,0	14,6	17,4	16,8	3542,77
VMC07I	163460	100,00	92,60	96,30	18,0	17,0	15,4	12,5	15,7	3980,53
VMC08I	169150	97,00	98,40	97,70	17,4	17,2	15,7	16,0	16,6	4224,33
VMC09I	133820	93,90	91,80	92,85	18,7	23,0	24,0	23,1	22,2	4927,37
VMC10I	185500	79,60	81,00	80,30	18,6	21,3	21,3	16,3	19,4	3708,40
VMC11I	179220	81,50	81,00	81,25	16,2	18,3	20,8	19,4	18,7	3671,23
VMC12I	144220	88,00	85,80	86,90	14,6	14,2	12,5	14,4	13,9	3192,41
VMC13I	178550	92,00	93,60	92,80	18,0	21,5	20,0	19,0	19,6	4511,51
VMC14I	156870	91,40	100,75	96,08	18,4	18,0	17,4	16,3	17,5	4324,68
VMC01M	83030	97,60	100,00	98,80	11,00	10,50	11,60	10,50	10,90	3009,99
VMC02M	122300	98,00	98,40	98,20	11,30	11,80	12,00	11,00	11,53	3138,23
VMC03M	83700	91,60	91,10	91,35	12,00	11,30	11,00	10,90	11,30	2841,77
VMC04M	86050	92,00	91,00	91,50	14,00	14,00	11,30	11,60	12,73	3149,17
VMC05M	86060	89,70	89,70	89,70	11,30	11,30	11,20	11,70	11,38	2798,99
VMC06M	107210	100,20	100,00	100,10	11,00	10,70	11,30	11,60	11,15	3115,81
VMC07M	105350	100,00	101,00	100,50	11,40	11,10	10,80	12,00	11,33	3172,72
VMC08M	109660	88,00	89,30	88,65	10,00	10,30	10,40	9,30	10,00	2470,86
VMC09M	88460	90,00	91,00	90,50	10,50	10,00	11,00	10,50	10,50	2638,94
VMC10M	100050	99,40	97,00	98,20	11,20	11,30	12,00	11,60	11,53	3138,23
VMC11M	77950	89,40	90,00	89,70	9,00	9,40	9,70	9,40	9,38	2365,77
VMC12M	106710	100,70	99,40	100,05	12,00	11,70	11,30	11,00	11,50	3199,16
VMC13M	116530	90,50	90,50	90,50	10,20	9,40	9,60	10,20	9,85	2495,69
VMC01S	81230	79,20	77,20	78,20	7,60	8,00	8,00	8,00	7,90	1744,75
VMC02S	57100	72,70	72,00	72,35	7,00	7,20	7,00	7,70	7,23	1478,21
VMC03S	82450	80,50	80,00	80,25	7,70	7,90	7,70	8,00	7,83	1780,42
VMC04S	90460	85,30	85,00	85,15	9,40	9,70	9,30	9,50	9,48	2252,59
VMC05S	77560	74,60	76,60	75,60	8,40	7,50	8,30	7,30	7,88	1675,52
VMC06S	78240	73,50	69,80	71,65	7,60	8,20	8,00	7,50	7,83	1569,01
VMC07S	60180	75,00	76,00	75,50	7,60	7,00	7,30	7,50	7,35	1573,63
VMC08S	73570	72,60	73,00	72,80	7,00	7,00	7,70	7,40	7,28	1497,58
VMC09S	92770	90,00	90,30	90,15	8,50	8,40	9,00	9,00	8,73	2231,89
VMC10S	83070	80,00	81,00	80,50	8,00	8,30	8,60	8,30	8,30	1882,63
VMC11S	80760	91,00	73,00	82,00	9,00	9,50	9,00	9,20	9,18	2099,12
VMC12S	57750	77,00	76,50	76,75	7,00	7,40	7,20	7,50	7,28	1587,86
VMC13S	72670	72,40	72,40	72,40	7,40	7,40	7,30	7,50	7,40	1511,11

Anexo 2 Datos de entrada para el ensayo a compresión perpendicular

Probeta	Fult (N)	Dext 1 (mm)	Dext 2 (mm)	Dext Total	t1 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	t4 (mm)	ttotal (mm)	Long 1	Long 2	Long 3	Long 4	Ltotal
VMCP01I	4150	91,10	91,60	91,35	13,00	13,00	15,00	15,30	14,08	166,60	165,25	167,00	166,50	166,34
VMCP02I	4200	87,70	89,40	88,55	15,50	15,65	15,30	16,00	15,61	169,20	170,00	169,00	169,50	169,43
VMCP03I	4150	90,90	93,10	92,00	12,80	12,70	12,00	13,00	12,63	173,00	172,00	174,00	171,00	172,50
VMCP04I	3800	82,20	81,60	81,90	11,60	11,20	12,50	12,45	11,94	165,00	164,00	165,00	166,00	165,00
VMCP05I	4900	90,30	87,00	88,65	12,00	12,50	13,30	12,40	12,55	175,00	173,00	174,00	175,00	174,25
VMCP06I	4000	81,50	80,60	81,05	15,30	12,30	10,50	13,50	12,90	174,00	173,00	172,00	174,00	173,25
VMCP07I	4860	100,70	100,00	100,35	16,30	19,40	19,30	16,00	17,75	168,00	169,00	170,00	179,00	171,50
VMCP08I	4250	88,00	88,00	88,00	12,70	14,40	13,70	13,00	13,45	170,00	171,00	170,00	170,00	170,25
VMCP09I	4300	100,00	100,00	100,00	15,00	17,00	16,00	15,50	15,88	171,00	170,00	170,00	171,00	170,50
VMCP10I	4488	94,88	93,66	94,27	14,66	16,47	15,16	14,03	15,08	171,78	171,78	171,28	174,96	172,45
VMCP11I	4527	95,81	94,36	95,09	14,83	16,91	15,36	14,01	15,28	172,10	172,19	171,51	175,68	172,87
VMCP12I	4567	96,73	95,07	95,90	15,00	17,36	15,55	13,99	15,48	172,42	172,61	171,74	176,41	173,30
VMCP01M	6010	89,70	87,50	88,60	13,00	12,00	13,00	13,20	12,80	173,00	174,00	172,00	173,00	173,00
VMCP02M	3680	86,80	88,00	87,40	9,22	10,00	9,20	9,00	9,36	177,00	177,00	176,00	175,00	176,25
VMCP03M	3990	100,00	99,30	99,65	13,00	11,40	12,00	12,50	12,23	171,00	171,00	170,00	170,00	170,50
VMCP04M	5450	89,50	87,00	88,25	11,00	11,50	12,50	12,90	11,98	175,00	175,00	176,00	176,00	175,50
VMCP05M	3390	89,00	88,60	88,80	9,60	9,80	10,20	10,00	9,90	171,00	171,00	171,00	172,00	171,25
VMCP06M	4060	100,00	99,40	99,70	12,70	13,30	13,80	14,00	13,45	170,00	171,00	172,00	172,00	171,25
VMCP07M	4290	90,30	85,60	87,95	9,80	10,00	10,70	10,30	10,20	170,00	170,00	172,00	172,00	171,00
VMCP08M	4660	100,50	99,10	99,80	12,00	12,20	11,70	12,60	12,13	175,00	172,00	171,00	171,00	172,25
VMCP09M	4430	105,20	106,00	105,60	16,00	17,00	16,00	14,50	15,88	175,00	175,00	176,00	175,00	175,25
VMCP10M	3170	100,70	100,70	100,70	12,70	13,30	13,50	13,80	13,33	170,00	170,00	171,00	170,00	170,25
VMCP11M	3990	83,00	89,20	86,10	9,00	9,60	9,60	8,50	9,18	173,00	172,00	173,00	172,00	172,50
VMCP12M	4140	86,20	87,80	87,00	9,00	9,40	10,50	10,00	9,73	177,00	176,00	177,00	178,00	177,00
VMCP13M	3731	87,40	88,00	87,70	11,40	13,00	12,00	12,00	12,10	172,00	172,00	174,00	172,00	172,50
VMCP01S	3980	94,40	95,00	94,70	9,00	9,50	9,70	10,00	9,55	170,00	170,00	169,00	171,00	170,00
VMCP02S	3840	85,30	86,70	86,00	8,00	8,50	8,00	8,60	8,28	172,00	171,00	172,00	172,00	171,75
VMCP03S	3130	87,00	86,00	86,50	8,70	9,60	10,00	11,00	9,83	177,00	176,00	176,00	176,00	176,25
VMCP04S	3240	84,80	83,40	84,10	8,50	8,70	8,60	8,30	8,53	172,00	174,00	172,00	171,00	172,25
VMCP05S	3640	93,40	93,30	93,35	9,10	9,60	9,00	10,00	9,43	170,00	170,00	170,00	170,00	170,00
VMCP06S	3120	94,00	92,50	93,25	9,00	9,30	8,70	9,65	9,16	170,00	170,00	170,00	170,00	170,00
VMCP07S	3430	90,00	89,00	89,50	8,00	9,00	9,00	9,00	8,75	171,00	171,00	171,00	171,00	171,00
VMCP08S	3610	83,00	82,30	82,65	8,00	8,00	9,50	8,40	8,48	170,00	173,00	172,00	170,00	171,25
VMCP09S	3580	93,40	92,00	92,70	10,70	10,30	10,00	11,00	10,50	179,00	178,00	177,00	179,00	178,25
VMCP10S	3000	70,00	69,40	69,70	6,50	7,00	6,50	7,00	6,75	172,00	173,00	172,00	171,00	172,00
VMCP11S	3610	70,00	71,40	70,70	7,00	7,30	7,70	7,70	7,43	175,00	175,00	175,00	174,00	174,75
VMCP12S	3289	76,61	75,96	76,29	7,75	7,88	8,02	8,13	7,94	174,07	174,89	174,22	173,31	174,12
VMCP13S	3259	75,05	74,36	74,71	7,64	7,72	7,89	7,96	7,80	174,33	175,24	174,53	173,48	174,39

Anexo 3 Datos de entrada para el ensayo a corte paralelo

Probeta	Fult (N)	Longitud1 (mm)	Longitud2 (mm)	Longitud3 (mm)	Longitud4 (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	t4 (mm)	$\Sigma(t \times L)$
VMVN01I	49230	102,00	101,70	101,00	101,00	18,70	16,00	17,80	19,20	7271,60
VMVN02I	58020	91,40	92,40	92,20	92,00	18,00	15,00	17,00	20,00	6438,60
VMVN03I	48440	96,00	87,00	96,80	96,20	20,00	17,20	17,60	19,40	6986,36
VMVN04I	52270	100,70	100,70	101,00	100,30	17,00	15,30	15,40	17,50	6563,26
VMVN05I	52690	99,00	98,80	99,00	100,00	19,50	17,70	16,00	19,00	7163,26
VMVN06I	56060	97,00	93,50	94,70	96,00	15,00	19,00	18,30	17,50	6644,51
VMVN07I	51780	103,00	101,00	101,50	101,70	19,00	15,50	16,00	18,30	7007,61
VMVN08I	43770	96,00	97,00	98,00	97,60	14,00	16,30	16,00	15,30	5986,38
VMVN09I	59650	101,50	101,60	101,60	102,00	17,20	16,00	20,10	20,00	7453,56
VMVN10I	41160	106,30	107,00	108,00	108,00	13,40	14,30	13,60	12,00	5719,32
VMVN11I	43520	101,00	100,20	101,00	101,00	16,00	18,60	19,00	17,40	7156,12
VMVN12I	42690	91,50	91,70	91,40	91,20	17,00	15,10	17,10	17,50	6099,11
VMVN01M	35180	88,00	87,00	87,20	88,00	9,40	9,40	10,00	10,20	3414,60
VMVN02M	34080	90,40	90,50	91,60	90,50	8,50	9,00	9,20	9,40	3276,32
VMVN03M	31890	88,30	89,00	89,00	89,00	9,00	9,20	9,00	10,00	3304,50
VMVN04M	26030	87,80	87,70	87,70	88,00	8,60	9,00	10,20	9,40	3266,12
VMVN05M	32700	97,00	97,50	97,60	97,50	12,40	11,30	14,60	10,50	4753,26
VMVN06M	31310	89,00	89,30	89,60	89,00	8,60	9,50	9,00	9,00	3221,15
VMVN07M	33150	101,20	102,00	102,00	101,30	10,00	10,00	9,60	10,00	4024,20
VMVN08M	31580	99,00	99,00	100,00	99,60	12,00	12,00	11,00	12,00	4671,20
VMVN09M	32500	85,00	85,00	85,40	84,80	9,50	9,30	9,20	10,00	3231,68
VMVN10M	31178	87,00	87,60	87,20	87,00	7,00	6,60	7,40	8,00	2528,44
VMVN11M	31005	90,20	91,00	90,80	91,10	8,60	9,20	9,00	8,90	3240,91
VMVN12M	30831	89,90	90,00	9,50	90,00	12,50	12,00	11,90	12,30	3423,80
VMVN01S	25960	92,40	92,20	92,30	92,20	8,10	9,80	8,80	8,30	3229,50
VMVN02S	20580	76,00	76,80	75,30	75,70	6,70	6,80	6,60	7,20	2073,46
VMVN03S	27200	91,00	91,00	91,00	90,80	7,60	8,00	7,80	7,50	2810,40
VMVN04S	18660	76,00	75,50	76,00	76,50	7,00	7,40	7,00	6,70	2135,25
VMVN05S	30650	104,40	104,30	104,40	104,00	9,60	9,00	9,30	9,30	3879,06
VMVN06S	29670	98,40	97,00	97,60	96,40	8,00	8,50	8,70	8,00	3232,02
VMVN07S	24330	88,60	88,80	88,70	88,30	8,80	7,30	7,70	7,90	2808,48
VMVN08S	25490	101,00	101,00	101,50	102,00	9,00	8,40	8,80	9,80	3650,20
VMVN09S	25690	75,50	76,00	76,10	75,80	8,50	8,60	9,00	9,00	2662,45
VMVN10S	30015	91,34	91,25	91,78	91,43	9,14	8,18	8,93	9,25	3245,55
VMVN11S	22350	91,76	91,67	92,29	91,90	9,33	8,17	9,08	9,46	3312,56
VMVN12S	26840	92,17	92,08	92,80	92,37	9,53	8,17	9,23	9,67	3380,09

Probeta	Fult (N)	Longitud1 (mm)	Longitud2 (mm)	Longitud3 (mm)	Longitud4 (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	t4 (mm)	$\Sigma(txL)$
VMV01I	16960	81,00	80,90	81,00	81,30	13,00	10,10	13,00	10,00	3736,09
VMV02I	32740	100,50	100,40	101,00	101,00	13,80	14,70	13,10	12,70	5468,58
VMV03I	28390	89,10	87,70	87,00	87,80	13,40	14,30	15,80	13,40	4999,17
VMV04I	31630	92,20	91,60	92,00	92,20	13,00	16,00	15,30	14,40	5399,48
VMV05I	33170	85,50	86,60	86,00	86,30	15,70	16,00	16,00	13,50	5269,00
VMV06I	48850	92,00	91,20	92,00	92,00	15,00	14,70	16,20	17,00	5775,04
VMV07I	45000	95,50	97,00	96,50	96,00	16,00	18,30	18,00	16,30	6604,90
VMV08I	29280	96,50	96,40	96,00	95,60	15,00	16,00	17,00	14,00	5960,30
VMV09I	40420	91,00	92,00	91,40	92,00	15,10	15,00	13,50	13,00	5184,00
VMV01M	19610	96,60	97,00	97,20	96,80	9,60	10,00	10,30	11,30	3992,36
VMV02M	24720	100,00	98,00	98,50	101,00	11,50	9,60	11,00	10,50	4234,80
VMV03M	19230	90,40	90,00	90,00	90,40	9,90	9,00	9,00	9,00	3328,56
VMV04M	20150	88,00	88,00	87,60	88,00	8,70	10,00	9,60	8,00	3190,56
VMV05M	22270	87,70	88,50	89,70	89,60	9,00	8,00	8,50	8,30	3003,43
VMV06M	22770	97,70	97,20	97,30	98,30	9,60	8,80	9,70	9,80	3700,43
VMV07M	24620	87,70	88,00	87,30	88,00	8,30	8,00	8,60	9,70	3036,29
VMV08M	27470	100,00	99,20	100,00	101,00	11,40	9,40	11,00	11,20	4303,68
VMV09M	27360	89,40	89,40	89,00	89,00	8,00	8,30	10,00	8,00	3059,22
VMV10M	26790	99,20	100,00	100,00	99,50	8,80	9,60	9,40	10,00	3767,96
VMV11M	30100	98,00	98,30	99,00	99,30	9,00	9,40	10,00	10,00	3789,02
VMV12M	29669	98,00	98,00	97,30	98,00	9,40	9,40	9,40	9,50	3688,02
VMV01S	19860	89,00	88,40	88,50	89,20	8,30	9,00	7,60	8,00	2920,50
VMV02S	13690	77,00	77,00	77,20	77,10	11,50	11,00	12,00	11,50	3545,55
VMV03S	15920	65,00	65,00	65,00	65,00	6,00	5,50	6,00	6,40	1553,50
VMV04S	21700	77,00	77,00	77,00	77,00	7,40	7,00	7,40	8,00	2294,60
VMV05S	16190	77,00	78,00	78,00	77,60	5,70	6,00	6,50	6,00	1879,50
VMV06S	20000	77,70	77,00	78,00	78,00	6,50	6,60	7,00	7,00	2105,25
VMV07S	16860	78,00	77,50	76,00	76,00	6,60	6,50	6,50	6,50	2006,55
VMV08S	18500	78,30	78,00	78,50	78,40	6,00	5,70	5,90	6,20	1863,63
VMV09S	19270	79,00	79,50	79,40	79,00	6,40	6,40	7,00	6,00	2044,20
VMV10S	16060	77,00	77,00	76,00	76,00	7,00	6,50	6,80	6,60	2057,90

Anexo 4 Datos de entrada para el ensayo a corte paralelo

Probeta	Fult (N)	Espesor r 1 (mm)	Espesor r 2 (mm)	Espesor r 3 (mm)	Seccion 1 (mm)	Seccion 2 (mm)	Seccion 3 (mm)	A1 (mm ²)	A2 (mm ²)	A3 (mm ²)	Atotal (mm ²)
VMT01I	5940	9,40	9,70	10,30	21,00	21,60	19,90	197,40	209,52	204,97	203,96
VMT02I	13150	15,00	13,60	14,40	21,00	24,00	21,30	315,00	326,40	306,72	316,04
VMT03I	9620	15,00	13,60	12,20	18,70	19,80	21,50	280,50	269,28	262,30	270,69
VMT04I	5710	8,30	7,50	8,00	20,00	19,60	20,00	166,00	147,00	160,00	157,67
VMT05I	7840	12,00	12,20	12,00	22,70	21,40	22,80	272,40	261,08	273,60	269,03
VMT06I	8180	13,00	12,00	13,30	21,60	21,00	22,50	280,80	252,00	299,25	277,35
VMT07I	7870	7,50	8,00	8,10	22,20	21,60	21,00	166,50	172,80	170,10	169,80
VMT08I	10350	7,50	8,00	8,00	16,70	20,00	19,40	125,25	160,00	155,20	146,82
VMT09I	10830	13,00	13,00	12,20	21,00	22,00	21,50	273,00	286,00	262,30	273,77
VMT10I	11350	12,60	13,00	12,20	19,50	19,20	20,00	245,70	249,60	244,00	246,43
VMT11I	9687	9,70	11,00	10,20	19,70	19,70	21,00	191,09	216,70	214,20	207,33
VMT12I	7989	10,08	11,01	10,27	19,68	19,75	20,84	198,37	217,35	214,08	209,94
VMT01 M	6460	7,00	7,70	8,00	23,00	23,00	23,20	161,00	177,10	185,60	174,57
VMT02 M	7300	11,60	11,70	12,00	22,70	23,00	23,00	263,32	269,10	276,00	269,47
VMT03 M	12530	10,00	10,00	9,90	21,40	21,60	21,10	214,00	216,00	208,89	212,96
VMT04 M	17710	11,20	11,30	11,10	21,50	22,50	21,30	240,80	254,25	236,43	243,83
VMT05 M	8620	7,50	7,00	7,20	21,00	21,20	21,00	157,50	148,40	151,20	152,37
VMT06 M	8500	8,00	7,50	7,80	16,20	20,20	20,60	129,60	151,50	160,68	147,26
VMT07 M	8680	7,20	7,00	7,20	20,30	21,00	20,50	146,16	147,00	147,60	146,92
VMT08 M	10990	7,00	7,00	7,20	22,20	22,40	23,00	155,40	156,80	165,60	159,27
VMT09 M	11590	9,30	9,00	9,10	19,40	19,40	20,00	180,42	174,60	182,00	179,01
VMT10 M	12190	9,00	9,30	9,00	21,60	19,60	21,60	194,40	182,28	194,40	190,36
VMT11 M	11260	8,50	8,80	8,60	21,00	22,00	22,70	178,50	193,60	195,22	189,11
VMT12 M	8398	8,01	7,90	7,78	19,86	20,05	21,17	159,04	158,35	164,72	160,70
VMT01S	7030	7,00	7,20	9,00	20,20	21,70	21,20	141,40	156,24	190,80	162,81
VMT02S	9040	7,20	7,00	8,00	19,60	19,50	21,00	141,12	136,50	168,00	148,54
VMT03S	7700	6,60	7,00	7,50	19,90	18,00	22,00	131,34	126,00	165,00	140,78
VMT04S	8050	7,00	6,70	7,20	18,80	22,00	18,60	131,60	147,40	133,92	137,64
VMT05S	9790	6,00	7,00	7,20	22,00	22,00	21,60	132,00	154,00	155,52	147,17
VMT06S	5200	7,50	7,40	7,00	19,60	19,40	20,50	147,00	143,56	143,50	144,69

VMT07S	5170	7,00	6,80	6,70	20,30	20,50	18,20	142,10	139,40	121,94	134,48
VMT08S	6200	8,50	8,40	8,60	19,60	18,30	20,00	166,60	153,72	172,00	164,11
VMT09S	6940	7,00	6,60	7,00	20,00	21,00	20,50	140,00	138,60	143,50	140,70
VMT10S	7033	7,52	7,30	6,91	20,07	19,93	19,44	150,95	145,46	134,36	143,59
VMT11S	8150	7,61	7,33	6,78	20,08	19,87	19,25	152,79	145,67	130,47	142,98
VMT12S	6898	7,70	7,37	6,64	20,09	19,80	19,06	154,63	145,87	126,63	142,38

Anexo 5 Datos de entrada para el ensayo a flexión

Probeta	Fuente (N)	Dext 1 (m)	Dext 2 (m)	Dext 3 (m)	Dext 4 (m)	Dext Total (mm)	t1 (m)	t2 (m)	t3 (m)	t4 (m)	t5 (m)	t6 (m)	t7 (m)	t8 (m)	ttotal (mm)	L	IB	s
VMF0 1I	31000	82,0	79,0	87,1	77,0	81,2	15,0	14,8	15,7	17,6	20,0	21,5	17,0	15,6	17,1	50	1902871	2,0
VMF0 2I	21710	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	,65	0
VMF0 3I	31660	83,7	83,5	74,4	77,0	79,6	13,8	15,5	15,7	14,0	22,0	21,3	18,0	15,0	16,9	50	1759202	1,8
VMF0 1M	9690	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	,63	9
VMF0 2M	8320	85,5	86,2	88,8	88	87,1	12,5	13,2	12,4	12,5	12,2	12	13,2	13	12,6	50	2108901	2,1
VMF0 3S	8500	84,0	85,2	85,0	84,7	84,7	10,0	9,90	11,6	10,2	8,30	8,30	8,10	7,30	9,21	50	1580921	1,2
VMF0 1S	7600	0	0	0	0	3	0	0	0	0	8,30	8,30	8,10	7,30	9,21	0	,49	5
VMF0 2S	8500	73,3	72,7	73,0	75,5	73,6	6,00	7,00	7,00	14,0	13,0	11,0	10,0	12,0	10,0	50	1036432	1,3
VMF0 3S	6500	0	0	0	0	3	6,00	7,00	7,00	0	0	0	0	0	0	0	,81	3
VMF0 1S	7600	79,4	80,0	83,0	80,0	80,6	7,60	8,00	7,10	7,90	6,50	6,00	6,60	7,40	7,14	50	1121717	1,1
VMF0 2S	8500	0	0	0	0	0	8,30	8,00	8,00	8,00	7,00	8,00	7,60	7,50	7,80	50	833947,	2,1
VMF0 3S	6500	72,2	74,0	71,0	72,0	72,3	8,30	8,00	8,00	8,00	6,00	5,40	5,80	6,00	6,94	50	620664,	1,9
VMF0 1S	7600	0	0	0	0	0	8,30	8,00	8,00	8,00	6,00	5,40	5,80	6,00	6,94	0	67	8