

**Análisis integral de las propiedades físico – mecánicas de la Guadua en el Municipio de  
Miraflores Boyacá**

**Rodrigo Andrés López Méndez, Yesica Lorena Torres Moreno**

**Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil**

**Director**

**Juan Ricardo Pérez Cuervo**

**Magíster**

**Universidad Santo Tomás, Tunja**

**División de Arquitecturas e Ingeniería**

**Ingeniería Civil**

**2025**

### **Agradecimientos**

Llegar a este momento para redactar los agradecimientos de nuestro trabajo de grado representa una experiencia profundamente emotiva y satisfactoria, al reflejar el esfuerzo y la perseverancia necesarios para culminar este proyecto. El camino recorrido estuvo lleno de desafíos y momentos de incertidumbre en los que surgieron dudas sobre cómo continuar. Por ello, en primer lugar, expresamos nuestro sincero agradecimiento a **Dios**, por brindarnos fortaleza, inspiración y la capacidad de transformar cada dificultad en una oportunidad de aprendizaje y mejora.

En segundo lugar, queremos manifestar nuestra gratitud al ingeniero **Juan Ricardo Pérez Cuervo**, por su orientación constante, sus valiosos consejos y el apoyo que nos ofreció durante todo el proceso de investigación, brindándonos claridad y motivación en los momentos más complejos.

Extendemos un agradecimiento muy especial a **Fredy y Osman**, quienes, en su calidad de laboratoristas, nos brindaron su tiempo, conocimientos y orientación técnica, acompañándonos con paciencia y amabilidad, y contribuyendo significativamente al desarrollo de este trabajo.

Finalmente, expresamos nuestro agradecimiento a la **Universidad Santo Tomás**, por proporcionar los recursos humanos y técnicos indispensables para la realización de esta investigación y por ofrecernos un espacio académico que fomenta la excelencia y el compromiso con el conocimiento.

Con gratitud,

Rodrigo Andrés López Méndez

Yesica Lorena Torres Moreno

**Contenido**

Introducción .....	15
1. Análisis integral de las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua en el Municipio de Miraflores Boyacá: implicaciones para la construcción de Viviendas de Interés Social .....	17
1.1 Planteamiento del problema .....	17
1.2 Justificación .....	18
1.3 Objetivos .....	19
1.3.1 Objetivo general .....	19
1.3.2 Objetivos específicos .....	19
2. Marco referencial .....	21
2.1 Marco teórico .....	21
2.1.1 Concepto de marco teórico .....	21
2.1.2 Elaboración del marco teórico .....	22
2.2 Marco conceptual .....	24
2.2.1 Guadua angustifolia Kunth .....	24
2.2.2 Propiedades físico – mecánicas .....	25
2.2.3 Vivienda de Interés Social (VIS) .....	26
2.2.4 Construcción sostenible .....	26
2.2.5 Normas técnicas aplicables .....	27
2.2.6 Caracterización de materiales .....	27
2.2.7 Contenido de humedad .....	28
2.2.8 Densidad .....	28
2.2.9 Compresión en fibras paralelas .....	29

CARACTERIZACIÓN FÍSICO – MECÁNICA	4
2.2.10 Compresión en fibras perpendiculares .....	30
2.3 Marco legal.....	30
2.3.1 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10 .....	31
2.3.2 Métodos de Ensayo para Guadua. NTC 5525 .....	31
2.3.3 Decreto 1077 de 2015. Compilación del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio .....	32
2.3.4 Ley 400 de 1997. Normas sobre construcciones sismo resistentes .....	32
2.3.5 Ley 99 de 1993. Protección de los recursos naturales.....	33
2.3.6 Normas internacionales y comparativas .....	33
3. Método .....	35
3.1 Lugar de suministro.....	35
3.2 Selección de material .....	37
3.3 Identificación de culmos y corte de probetas .....	40
3.3.1 Identificación de culmos y probetas .....	41
3.4 Corte y preparación de probetas.....	44
3.5 Introducción a los ensayos .....	46
3.5.1 Valor característico y esfuerzo admisible.....	48
3.6 Ensayo contenido de humedad.....	50
3.7 Ensayo de densidad .....	53
3.8 Ensayo de compresión paralela a las fibras.....	55
3.9 Ensayo compresión perpendicular en las fibras .....	57
4. Resultados .....	61
4.1 Ensayo contenido de humedad.....	61
4.2 Ensayo de densidad .....	64

4.3 Ensayo compresión paralela en las fibras .....	66
4.4 Ensayo de compresión perpendicular en las fibras .....	69
5. Discusión.....	72
6. Conclusiones.....	78
Referencias.....	81
Apéndices.....	87

### Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Total de ensayos (Autores) .....	46
<b>Tabla 2.</b> Valores de esfuerzos admisibles NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, 2010).....	49
<b>Tabla 3.</b> Valores de módulos de elasticidad NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, 2010) .....	49
<b>Tabla 4.</b> Distribución de las probetas para el ensayo de contenido de humedad (Autores).....	50
<b>Tabla 5.</b> Distribución de las probetas para el ensayo de densidad (Autores).....	53
<b>Tabla 6.</b> Distribución de las probetas para el ensayo de compresión paralela en las fibras (Autores) .....	55
<b>Tabla 7.</b> Distribución de las probetas para el ensayo de compresión perpendicular en las fibras (Autores) .....	57
<b>Tabla 8.</b> Tabla resumen de las fases del proceso experimental, los ensayos aplicados, la norma técnica empleada y las características de las probetas utilizadas (Autores) .....	60
<b>Tabla 9.</b> Cálculo contenido de humedad de las probetas (Autores).....	62
<b>Tabla 10.</b> Análisis estadístico para el ensayo de contenido de humedad (Autores) .....	63
<b>Tabla 11.</b> Cálculo densidad de las probetas ensayadas (Autores).....	64
<b>Tabla 12.</b> Análisis estadístico para la densidad de las probetas (Autores) .....	66
<b>Tabla 13.</b> Cálculo esfuerzo último de compresión paralela de las probetas ensayadas (Autores).....	67
<b>Tabla 14.</b> Análisis estadístico para compresión paralela en las fibras de las probetas (Autores) .....	68
<b>Tabla 15.</b> Cálculo esfuerzo último de compresión perpendicular de las probetas (Autores).....	69
<b>Tabla 16.</b> Análisis estadístico para compresión perpendicular a las fibras de las probetas ensayadas (Autores) .....	70

**Lista de figuras**

<b>Figura 1.</b> Vista general cultivo de guadua en la Finca El Recuerdo.....	36
<b>Figura 2.</b> Vista del cultivo de Guadua desde la vía .....	37
<b>Figura 3.</b> Inspección visual de los culmos a seleccionar .....	38
<b>Figura 4.</b> a) Corte de la Guadua b) Culmo cortado.....	39
<b>Figura 5.</b> Traslado de la guadua a las instalaciones de la Universidad Santo Tomás.....	40
<b>Figura 6.</b> Alto contenido de humedad de los culmos.....	41
<b>Figura 7.</b> Secado de los culmos al aire libre .....	42
<b>Figura 8.</b> Culmos defectuosos.....	43
<b>Figura 9.</b> Nomenclatura utilizada en la identificación de probetas.....	43
<b>Figura 10.</b> Reducción de tamaño de los culmos .....	44
<b>Figura 11.</b> Corte de las probetas por medio de sierra de disco .....	44
<b>Figura 12.</b> Afinado de los extremos en probetas de compresión paralela. ....	45
<b>Figura 13.</b> Parámetros de medición de las probetas.....	47
<b>Figura 14.</b> Afinado de los extremos en probetas de compresión paralela. ....	47
<b>Figura 15.</b> Recipiente desecador .....	52
<b>Figura 16.</b> Montaje ensayo compresión paralela .....	56
<b>Figura 17.</b> Montaje ensayo compresión paralela .....	58
<b>Figura 18.</b> Diagrama de flujo del proceso experimental.....	59

**Lista de apéndices**

<b>Apéndice A.</b> <i>Información recopilada en el ensayo de contenido de humedad.....</i>	87
<b>Apéndice B.</b> <i>Información recopilada en el ensayo de densidad.....</i>	88
<b>Apéndice C.</b> <i>Información recopilada en el ensayo de compresión paralela a las fibras.....</i>	89
<b>Apéndice D.</b> <i>Información recopilada en el ensayo de compresión perpendicular a las fibras... </i>	90

### Resumen

La presente investigación se orienta a responder a la necesidad de identificar materiales constructivos que contribuyan a reducir el impacto ambiental como los costos asociados. En este contexto, se seleccionó la especie *Guadua angustifolia Kunth*, cultivada en el municipio de **Miraflores (Boyacá)**, como objeto de estudio para evaluar su idoneidad en edificaciones. El objetivo principal fue obtener parámetros técnicos que permitieran determinar su viabilidad estructural en **Viviendas de Interés Social (VIS)**.

Para esto, se realizaron ensayos de laboratorio conforme a lo establecido en la **Norma Técnica Colombiana NTC 5525**, evaluando variables como contenido de humedad, densidad, resistencia a compresión paralela y compresión perpendicular a la fibra. Los resultados obtenidos indican que la guadua proveniente de esta región no cumple con los estándares requeridos para ser considerada un material estructural principal en proyectos de VIS.

En consecuencia, se concluye que, bajo las condiciones y normativas actuales de construcción en Colombia, la *Guadua angustifolia Kunth de Miraflores* no resulta apta para este tipo de aplicación estructural.

*Palabras clave:* *Guadua angustifolia Kunth*, propiedades físico–mecánicas, construcción sostenible, vivienda de interés social, ensayos mecánicos.

### Abstract

This research aims to address the need to identify construction materials that reduce environmental impact and associated costs. In this context, the species *Guadua angustifolia* Kunth, grown in the municipality of Miraflores (Boyacá), was selected as the object of study to evaluate its suitability for building applications. The main objective was to obtain technical parameters to determine its structural viability in low-income housing (LIH).

To this end, laboratory tests were conducted in accordance with Colombian Technical Standard NTC 5525, evaluating variables such as moisture content, density, compressive strength parallel to the fiber, and compressive strength perpendicular to the fiber. The results indicate that guadua from this region does not meet the standards required for consideration as a primary structural material in LIH projects.

Consequently, it is concluded that, under current construction conditions and regulations in Colombia, *Guadua angustifolia* Kunth from Miraflores is not suitable for this type of structural application.

*Keywords:* *Guadua angustifolia* Kunth, physical–mechanical properties, sustainable construction, social housing, mechanical testing.

## Glosario

**Caracterización físico-mecánica:** Proceso mediante el cual se determinan las propiedades físicas y mecánicas de un material mediante ensayos normalizados, permitiendo establecer su comportamiento ante diferentes sollicitaciones. (ICONTEC, 2007).

**Coefficiente de variación (%):** Medida estadística que representa la relación entre la desviación estándar y el promedio de un conjunto de datos, expresada como porcentaje. Se utiliza para comparar la dispersión relativa entre distintas variables. (Montgomery & Runger, 2014).

**Compresión paralela en las fibras:** Esfuerzo mecánico en que la carga es aplicada en dirección paralela al eje longitudinal de las fibras del material. En la guadua, representa una propiedad clave para evaluar su comportamiento estructural en columnas o apoyos verticales. (Trujillo, 2010).

**Compresión perpendicular en las fibras:** Ensayo en el que se evalúa la resistencia del material a una carga aplicada en dirección transversal a las fibras. Este esfuerzo es relevante en zonas de contacto o apoyo en estructuras con uniones. (Castro, 2016).

**Contenido de humedad:** Porcentaje de agua presente en un material con respecto a su peso seco. En el caso de la guadua, es fundamental para entender su comportamiento físico y mecánico, así como su durabilidad. (ICONTEC, 2007).

**Culmo:** Tallo principal y cilíndrico de la guadua, conformado por secciones llamadas entrenudos, que contiene la mayor cantidad de material útil para la construcción. (Londoño X. , 1998).

**Densidad:** Relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa. En la guadua, este valor se asocia directamente con su resistencia mecánica y depende del contenido de humedad al momento del ensayo. (Gómez L. , 2020).

**Desviación estándar:** Indicador estadístico que mide la dispersión de un conjunto de datos con respecto a su promedio. Un valor bajo sugiere mayor uniformidad en los resultados. (Montgomery & Runger, 2014).

**Ensayo de laboratorio:** Procedimiento controlado y normalizado para evaluar propiedades específicas de materiales o sistemas, generando datos cuantitativos que respaldan decisiones técnicas. (Montgomery & Runger, 2014).

**Estado seco:** Condición del material cuando ha sido estabilizado en un ambiente controlado, generalmente con un contenido de humedad cercano al equilibrio higroscópico. En este estado se realizan comúnmente los ensayos mecánicos. (ICONTEC, 2007).

**Estado verde:** Condición de un material vegetal que no ha sido sometido a procesos de secado. La guadua en estado verde contiene altos niveles de humedad, lo cual afecta significativamente sus propiedades físicas. (López & Correal, 2009).

**Guadua angustifolia Kunth:** Especie de bambú nativo de América tropical, ampliamente utilizada en Colombia por sus propiedades mecánicas, sostenibilidad y valor cultural. Es la especie de guadua más importante para la construcción en el país. (Betancur & Ceballos, 2012).

**Guadua estructural:** Material vegetal proveniente de culmos seleccionados de *Guadua angustifolia Kunth*, tratado y clasificado conforme a normas técnicas para su uso como elemento portante en construcciones. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010).

**Manejo forestal sostenible:** Conjunto de prácticas y técnicas orientadas a la administración y aprovechamiento responsable de los recursos forestales, garantizando la conservación de su biodiversidad, productividad y capacidad de regeneración a largo plazo. (FAO, 2010).

**Norma técnica:** Documento aprobado por un organismo de normalización que establece especificaciones y procedimientos para garantizar calidad, seguridad y compatibilidad en procesos, productos o servicios. (ICONTEC, 2007)

**NTC 5525:** Norma Técnica Colombiana que establece los métodos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua, incluyendo contenido de humedad, densidad y resistencia a compresión. (ICONTEC, 2007).

**NSR-10:** Norma Sismo Resistente de Colombia que regula los criterios técnicos para la construcción segura de edificaciones. Contiene un capítulo específico sobre el uso estructural de guadua certificada. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010)

**Probeta:** Muestra o espécimen representativo del material que se somete a ensayo en laboratorio. Su geometría, preparación y dimensiones deben cumplir con criterios establecidos para obtener resultados confiables. (Castro, 2016).

**Propiedad mecánica:** Cualidad de un material que describe su respuesta ante cargas o esfuerzos aplicados, incluyendo resistencia, rigidez o ductilidad, entre otras. (Gómez L. , 2020).

**Resistencia mecánica:** Capacidad de un material para soportar cargas o fuerzas aplicadas sin sufrir fallas estructurales, determinada mediante ensayos específicos. (Trujillo, 2010).

**Resistencia mecánica:** Capacidad de un material para soportar cargas o fuerzas aplicadas sin sufrir fallas estructurales, determinada mediante ensayos específicos. (Trujillo, 2010).

**Silvicultura:** Conjunto de prácticas orientadas al cultivo, manejo y aprovechamiento sostenible de bosques y especies vegetales, buscando optimizar su rendimiento y conservar sus funciones ecológicas. (FAO, 2010)

**Sistema constructivo mixto:** Estrategia de diseño que combina diferentes materiales y técnicas de construcción para optimizar propiedades estructurales, costos y sostenibilidad. En el

caso de la guadua, permite su uso en elementos secundarios junto con concreto, acero o madera. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010)

***Tratamiento preservativo:*** Proceso aplicado a materiales vegetales como la guadua para protegerlos contra agentes degradantes (hongos, insectos), prolongando su vida útil mediante impregnación o recubrimientos químicos. (López & Correal, 2009)

***Vivienda de Interés Social (VIS):*** Tipo de edificación destinada a sectores de bajos ingresos, con enfoque en el acceso equitativo a la vivienda digna, regulada por el Estado colombiano. (Ley 388 de 1997).

## Introducción

A lo largo de los años se ha buscado caracterizar materiales sostenibles para su aplicación en diversos campos de la construcción, con el propósito de responder a una realidad social en nuestro país: la falta de vivienda digna para poblaciones de escasos recursos. En este contexto, se orientó la investigación hacia un material de gran potencial, *Guadua angustifolia Kunth*, cultivada en el municipio de Miraflores (Boyacá), ubicado en la Cordillera de los Andes y con temperaturas entre 15 °C y 32 °C, lo que le confiere características particulares para su desarrollo.

La guadua es una especie de bambú que crece en regiones específicas de Colombia y cuya utilización en construcciones se remonta a épocas precolombinas, con usos principalmente artesanales y coloniales. Sin embargo, su aplicación en viviendas de interés social ha sido limitada debido a la falta de adaptación técnica y de una instrucción adecuada para su aprovechamiento estructural.

Este material presenta propiedades destacables como resistencia, flexibilidad, bajo impacto ambiental y rápido crecimiento. No obstante, la percepción general suele ser limitada, en parte por la ausencia de normativas claras y específicas, los procesos constructivos tradicionales y la idea de que podría no cumplir con requisitos técnicos como la durabilidad o la seguridad estructural, especialmente ante eventos sísmicos.

En este sentido, resulta fundamental realizar un estudio detallado de sus propiedades físicas y mecánicas, para evaluar si puede incorporarse de manera adecuada en construcciones de viviendas de interés social o si los resultados indican que su uso no es viable para este fin.

La presente investigación se enfoca en la caracterización de la guadua mediante la aplicación rigurosa de ensayos normalizados, con el fin de aportar datos experimentales que permitan validar su uso desde perspectivas como la seguridad estructural, la facilidad constructiva

y la viabilidad económica. Asimismo, busca contribuir al desarrollo de soluciones para un problema que afecta no solo al departamento de Boyacá, sino al país en general: el déficit de vivienda asequible y sostenible de bajo costo.

El desarrollo del trabajo comprende distintos ensayos que permitirán establecer de forma más concreta las propiedades del material, identificando aspectos relevantes para mejorar sus condiciones mecánicas finales y promover su mayor aprovechamiento en el ámbito de la construcción.

Además, se abordan aspectos normativos relacionados con el uso estructural de la guadua, dado que la norma NSR-10 (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente) incluye un capítulo específico sobre este material. Sin embargo, aún existen vacíos y limitaciones en cuanto a los métodos de ensayo y procedimientos necesarios para determinar con certeza su idoneidad estructural.

Cabe destacar que el presente trabajo de grado constituye una aproximación académica inicial a la caracterización físico-mecánica de la *Guadua angustifolia Kunth* cultivada en el municipio de Miraflores, Boyacá. Los resultados obtenidos tienen fines exclusivamente formativos y no deben considerarse como base técnica suficiente o definitiva para su aplicación directa en diseños estructurales, trámites de licenciamiento, procesos administrativos vinculados a la construcción o la ejecución de obras civiles. La implementación práctica de la información presentada requerirá ensayos complementarios, análisis más rigurosos y validación por parte de profesionales especializados en ingeniería estructural y de materiales, garantizando así el cumplimiento de la normativa técnica y legal vigente en Colombia y la seguridad de las construcciones que eventualmente la utilicen.

## **1. Análisis integral de las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua en el Municipio de Miraflores Boyacá: implicaciones para la construcción de Viviendas de Interés Social**

### **1.1 Planteamiento del problema**

En los últimos años, el enfoque global en la sostenibilidad ha motivado el desarrollo de nuevas estrategias para la selección de materiales en el sector de la construcción. La *Guadua angustifolia Kunth* ha demostrado un alto desempeño estructural en diversas aplicaciones constructivas, como señalan los estudios mecánicos de Takeuchi (2014). Por su parte, Correal y Arbeláez (2010) destacan la influencia de factores como la edad del culmo y la altura de corte sobre sus propiedades físico–mecánicas. Sin embargo, esta concentración regional en la producción y caracterización de la guadua ha dejado un vacío importante en el conocimiento técnico de otras zonas productoras del país, como el departamento de Boyacá.

El municipio de Miraflores, ubicado en la provincia de Lengupá, presenta condiciones ambientales favorables para el crecimiento de guaduales. Sin embargo, el uso estructural de la guadua en esta región no ha sido validado mediante ensayos técnicos ni evaluaciones comparativas con los estándares normativos establecidos, lo que limita su aprovechamiento como recurso local en edificaciones formales. Esta situación impide que actores públicos y privados reconozcan su viabilidad dentro de proyectos de infraestructura social, particularmente en iniciativas de vivienda de interés social (VIS), que requieren materiales de bajo costo, alta resistencia y disponibilidad regional (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011).

La falta de información técnica también afecta la percepción de los profesionales de la construcción, quienes prefieren materiales convencionales ante la incertidumbre sobre el comportamiento estructural de la guadua de zonas no certificadas (González & Takeuchi, 2007).

Además, variables como la altitud, el tipo de suelo y la edad del culmo pueden influir directamente en las propiedades físicas y mecánicas, haciendo necesaria una caracterización específica por región (Fernández, 2020).

En este contexto, surge la necesidad de responder al siguiente interrogante: *¿Qué propiedades físico-mecánicas presenta la Guadua angustifolia Kunth del municipio de Miraflores (Boyacá), y cuál es su viabilidad como material estructural para la construcción de viviendas de interés social en dicha región?*

Este trabajo busca aportar una contribución técnica y científica al llenar el vacío de conocimiento sobre un recurso subutilizado, proponiendo una alternativa constructiva sostenible, con potencial de aplicación local y nacional.

## **1.2 Justificación**

Esta investigación se justifica desde múltiples dimensiones: ambiental, técnica, social, económica y académica. En primer lugar, el desarrollo sostenible y la economía circular son principios que actualmente guían la transformación del sector de la construcción. En este sentido, la guadua representa una alternativa valiosa como biomaterial renovable de rápido crecimiento, baja huella de carbono y gran capacidad de regeneración, lo que la convierte en un insumo clave para edificaciones resilientes y ecoeficientes (Sánchez, 2020).

Desde el punto de vista técnico, Colombia cuenta con normativa vigente para el uso estructural de la guadua (NSR-10), pero su aplicación se ha restringido principalmente a materiales provenientes del Eje Cafetero. Esto genera una brecha de oportunidad para explorar nuevas fuentes de materia prima en regiones como Miraflores, que podrían cumplir con los requisitos exigidos si se cuenta con la caracterización técnica adecuada (Garzón, 2016). A través de esta investigación,

se busca validar empíricamente el comportamiento de la guadua cultivada en Miraflores, evaluando sus propiedades a compresión, tracción, corte y densidad, bajo estándares nacionales como la NTC 5525.

En el ámbito social y económico, el aprovechamiento de la guadua local puede representar una alternativa accesible para la construcción de viviendas de interés social, reduciendo costos logísticos, fortaleciendo la economía campesina y promoviendo prácticas de autoconstrucción segura. Esta visión se alinea con las políticas de desarrollo rural y sostenibilidad promovidas por el Estado colombiano y organismos internacionales.

Finalmente, desde el ámbito académico, este trabajo aportará datos inéditos y contextualizados, que enriquecerán la literatura nacional sobre bambúes nativos y permitirán futuros estudios orientados al diseño estructural, la innovación en sistemas constructivos, y la diversificación del uso de recursos naturales en la ingeniería civil.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia Kunth* del municipio de Miraflores (Boyacá), con el fin de evaluar su viabilidad como material estructural en proyectos de Vivienda de Interés Social.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

Determinar contenido de humedad densidad básica de las muestras de *Guadua angustifolia Kunth* provenientes del municipio de Miraflores, bajo los lineamientos de la normativa NTC 5525.

Analizar el comportamiento de la guadua frente a esfuerzos a compresión paralelos y perpendiculares en las fibras mediante ensayos de laboratorio.

Comparar los resultados obtenidos con los valores de referencia establecidos en la NSR-10 para la guadua proveniente del Eje Cafetero.

Evaluar la factibilidad técnica de emplear guadua cultivada en Miraflores como alternativa sostenible en la construcción de Viviendas de Interés Social.

## 2. Marco referencial

El presente capítulo tiene como finalidad establecer las bases teóricas, conceptuales y legales que sustentan la caracterización físico–mecánica de la *Guadua angustifolia Kunth* cultivada en el municipio de Miraflores, Boyacá. A partir del análisis de antecedentes investigativos, conceptos técnicos clave y normativa aplicable, se busca consolidar un marco de referencia que oriente la interpretación de los resultados experimentales y justifique la pertinencia del estudio en el contexto nacional.

Este apartado se organiza en tres secciones: el marco teórico, en el que se presentan estudios previos, teorías y aproximaciones científicas sobre las propiedades mecánicas de la guadua y su aplicación en construcción; el marco conceptual, que define los términos clave empleados en la investigación; y el marco legal, donde se enuncian las normas técnicas y reglamentaciones vigentes relacionadas con el uso estructural de este recurso.

### 2.1 Marco teórico

El estudio de materiales alternativos para la construcción ha cobrado relevancia en los últimos años, impulsado por la necesidad de desarrollar sistemas constructivos más sostenibles, económicos y adaptados a condiciones locales. En este contexto, *Guadua angustifolia Kunth* se presenta como un recurso estratégico, especialmente en regiones como Boyacá, donde existe una disponibilidad natural del material pero escasa caracterización técnica.

#### 2.1.1 Concepto de marco teórico

El marco teórico constituye uno de los componentes fundamentales de toda investigación científica, ya que permite sustentar de manera conceptual y académica el problema de estudio. Su

función principal es proporcionar un soporte estructurado a partir del análisis de antecedentes, teorías, modelos y hallazgos relevantes, que permitan interpretar los resultados en un contexto más amplio y con rigor metodológico.

En palabras de Hernández Sampieri (2014), el marco teórico orienta la investigación, ayuda a formular hipótesis y delimita el enfoque del estudio, evitando repeticiones innecesarias y guiando la recolección de datos hacia aspectos relevantes.

En el campo de la ingeniería civil, el marco teórico resulta crucial para comprender los fenómenos físicos y mecánicos involucrados en el comportamiento de materiales no solo desde la práctica empírica, sino también desde un respaldo científico y normativo. Para estudios como el presente —centrado en la caracterización estructural de la *Guadua angustifolia Kunth*—, el marco teórico permite enlazar las propiedades físicas con sus posibles aplicaciones constructivas, bajo un enfoque técnico y contextualizado.

### **2.1.2 Elaboración del marco teórico**

La construcción del marco teórico para esta investigación se fundamenta en la revisión y análisis crítico de fuentes académicas, normativas técnicas y estudios de casos relacionados con las propiedades físicas y mecánicas de la guadua y su uso en la construcción de viviendas. Este proceso permite identificar variables clave como la densidad, contenido de humedad, resistencia a compresión y la influencia de factores ambientales sobre su comportamiento estructural.

Correal y Arbeláez (2010) realizaron una caracterización detallada de la *Guadua angustifolia Kunth*, identificando que sus propiedades mecánicas pueden variar considerablemente en función de la edad del culmo, el grado de maduración, y la zona del tallo (basa, media o apical). Estos factores son determinantes a la hora de evaluar su capacidad para resistir esfuerzos de

tracción y compresión, por lo que su control resulta indispensable al considerar el uso estructural de la guadua en edificaciones.

Takeuchi (2014) destaca que la estructura anatómica de la guadua, rica en fibras longitudinales y diafragmas internos, le otorga una alta relación resistencia-peso, convirtiéndola en un material eficiente para construcciones livianas pero robustas. Además, demuestra su comportamiento anisotrópico, es decir, que sus propiedades varían según la dirección de la carga, lo cual exige una caracterización específica para cada tipo de esfuerzo.

A nivel internacional, Janssen (2000) plantea un modelo teórico para el diseño estructural con bambú basado en el análisis de esfuerzos y deformaciones, lo cual ha sido retomado en normas como la ISO 22156:2021 que define criterios técnicos para la aplicación del bambú, considerando su variabilidad natural y la necesidad de control de calidad.

En Colombia, la Norma Técnica Colombiana NTC 5525 establece procedimientos específicos para determinar propiedades físicas y mecánicas de la guadua, tales como densidad, humedad, resistencia a compresión paralela y perpendicular, corte y flexión. Estos ensayos son fundamentales para evaluar la idoneidad del material en aplicaciones estructurales y constituyen la base metodológica del presente trabajo.

Garzón (2016) resalta que, aunque la normativa colombiana permite el uso estructural de la guadua, su implementación efectiva se ha concentrado principalmente en el Eje Cafetero, debido a la existencia de centros de acopio certificados y una tradición constructiva consolidada. Sin embargo, regiones como Boyacá presentan condiciones agroclimáticas favorables para el cultivo de guadua, pero carecen de estudios técnicos que validen su aplicación estructural.

La caracterización regional de la guadua es entonces una necesidad técnica. Según Fernández (2020), variables como el tipo de suelo, la altitud, la exposición solar y el régimen de

lluvias influyen en la conformación de la pared celular y la distribución de fibras en el culmo, lo que modifica directamente su comportamiento físico y mecánico. En consecuencia, no es adecuado extrapolar datos obtenidos en una región a otra sin una validación empírica.

Además de las normas mencionadas, la ISO 22157:2019 propone métodos internacionales estandarizados para la evaluación del bambú, brindando herramientas comparativas útiles para contrastar resultados obtenidos en estudios nacionales. Esta norma incluye recomendaciones sobre la preparación de especímenes, condiciones de ensayo y parámetros de evaluación, contribuyendo así a la confiabilidad de los resultados.

Finalmente, Camargo (2022) presenta un estudio en el departamento del Huila donde se demuestra que, con un adecuado manejo técnico, la guadua cultivada fuera del Eje Cafetero puede alcanzar niveles de resistencia estructural compatibles con las exigencias de la NSR-10. Este tipo de investigaciones apoya la hipótesis de que zonas como Miraflores (Boyacá) tienen potencial para integrar la guadua en proyectos de vivienda social, siempre que se realice una caracterización técnica adecuada y se promueva su uso conforme al marco legal vigente.

## **2.2 Marco conceptual**

El presente marco conceptual tiene como finalidad delimitar y clarificar los términos fundamentales que sustentan la investigación. Cada concepto se define desde una perspectiva técnica y contextualizada, con énfasis en su aplicación dentro del análisis estructural de la *Guadua angustifolia Kunth* y su uso potencial en la construcción de viviendas de interés social (VIS).

### **2.2.1 *Guadua angustifolia Kunth***

*Guadua angustifolia Kunth* es una especie de bambú nativo de América tropical que se destaca por su resistencia mecánica, rápido crecimiento y versatilidad en la construcción. Es

considerada una de las especies de mayor interés en Colombia por su abundancia y desempeño estructural (López, 2015). Su uso en edificaciones ha sido promovido como una alternativa sostenible frente a materiales tradicionales como el concreto o el acero (González C. , 2018).

Desde un punto de vista anatómico, la guadua presenta una estructura cilíndrica hueca dividida en secciones denominadas entrenudos, separados por tabiques sólidos o diafragmas. El tejido está compuesto por fibras longitudinales altamente lignificadas, lo cual le proporciona rigidez y resistencia (Arango, 2009). La distribución de estas fibras no es homogénea, pues se concentran mayoritariamente en la periferia de la caña, lo que implicando una mayor resistencia en esa zona y una disminución hacia el interior (Bedoya, 2017).

Las propiedades físico–mecánicas de la guadua están influenciadas por variables como la edad del culmo, la altura del corte, el contenido de humedad, la exposición ambiental, el tipo de suelo y la altitud (Correal J. , 2009). Estas características deben considerarse al evaluar su desempeño estructural, ya que afectan directamente su capacidad de carga y durabilidad.

### ***2.2.2 Propiedades físico – mecánicas***

Las propiedades físico–mecánicas hacen referencia a las características de un material que definen su comportamiento frente a esfuerzos mecánicos y condiciones ambientales. En el caso de la guadua, estas propiedades incluyen densidad, contenido de humedad, resistencia a compresión (paralela y perpendicular en las fibras), flexión, tracción y corte (Takeuchi C. P., 2014)

La densidad básica es un indicador importante de la calidad estructural de la guadua, ya que está directamente relacionada con la cantidad de material resistente por unidad de volumen (Ramírez, 2020). Por su parte, el contenido de humedad afecta la rigidez y la resistencia del material, ya que altos niveles de humedad pueden provocar degradación biológica y pérdida de

capacidad estructural (Castaño, Guía práctica para el control de humedad en bambúes estructurales, 2018).

### ***2.2.3 Vivienda de Interés Social (VIS)***

La vivienda de interés social en Colombia hace referencia a edificaciones de bajo costo destinadas a poblaciones de bajos ingresos, cuyo objetivo es reducir el déficit habitacional. Estas viviendas deben cumplir con criterios de habitabilidad, seguridad estructural, eficiencia energética y sostenibilidad (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2012)

La guadua representa una opción viable para proyectos de VIS debido a su bajo costo, disponibilidad regional y propiedades mecánicas adecuadas. Su implementación puede fomentar modelos de autoconstrucción asistida y reducir el impacto ambiental de la edificación tradicional (Jimenez, 2016).

### ***2.2.4 Construcción sostenible***

La construcción sostenible se basa en el uso racional de los recursos, la reducción de residuos y emisiones contaminantes, y la optimización del ciclo de vida de los materiales empleados. En este sentido, la guadua ha sido reconocida por su capacidad de regeneración, su bajo contenido energético en el proceso de producción y su potencial para capturar carbono (Montoya , 2019).

Este enfoque no solo considera el rendimiento técnico del material, sino también su impacto social y ambiental, buscando alternativas que respondan a los desafíos del cambio climático y el desarrollo urbano sostenible (Valencia, 2021).

### ***2.2.5 Normas técnicas aplicables***

En Colombia, el uso estructural de la guadua está regulado principalmente por la NSR-10, capítulo G, el cual establece los lineamientos para su aplicación en construcciones formales. Esta norma define aspectos como el diseño estructural, la calidad del material, las uniones, la protección contra la humedad y las técnicas de preservación (ICONTEC, 2010).

Adicionalmente, la NTC 5525 establece los métodos para determinar de propiedades físicas y mecánicas de la guadua mediante ensayos normalizados. Esta norma es fundamental para realizar una caracterización técnica adecuada del material, ya que proporciona criterios objetivos para su evaluación (ICONTEC, 2007).

Otras normas relevantes incluyen la NTC 5723, sobre el secado y preservación de guadua, y la NTC 5905, que regula los sistemas de unión en estructuras de guadua (Castaño, Manual técnico para la preservación y secado de la guadua, 2015). Su inclusión es clave para garantizar que las propuestas constructivas con este material sean viables, seguras y normativamente aceptadas.

### ***2.2.6 Caracterización de materiales***

La caracterización es el proceso mediante el cual se determinan las propiedades específicas de un material, con el fin de comprender su comportamiento bajo diferentes condiciones de uso. En ingeniería civil, este procedimiento permite comparar materiales naturales con alternativas industriales, facilitando su inclusión en procesos de diseño y construcción (Gómez, 2020).

Para la guadua, la caracterización implica la toma de muestras representativas, la realización de ensayos físicos y mecánicos bajo condiciones controladas, y la comparación con estándares normativos. Este análisis es esencial para validar su viabilidad como elemento

estructural, especialmente cuando se proviene de zonas con poca tradición en su uso, como el Municipio de Miraflores.

### ***2.2.7 Contenido de humedad***

El contenido de humedad en la guadua se refiere a la proporción de agua presente en su masa total, y constituye una de las variables más determinantes en su comportamiento mecánico. Esta humedad puede variar según la ubicación geográfica, la edad del culmo, el método de corte y las condiciones de almacenamiento. Su medición se expresa generalmente en porcentaje, comparando la masa del espécimen en estado natural con su masa seca (ICONTEC, 2007).

Un alto contenido de humedad puede reducir significativamente la resistencia de la guadua, al alterar la adhesión entre las fibras y facilitar el desarrollo de hongos y microorganismos. Según Castaño (2018), cuando la guadua contiene más del 30% de humedad, su rigidez estructural se ve comprometida, por lo que resulta indispensable someterla a un proceso adecuado de secado antes de su utilización en obras civiles. Adicionalmente, el control del contenido de humedad es esencial para evitar deformaciones, agrietamientos o problemas de compatibilidad en las uniones estructurales (Ramírez, 2020).

### ***2.2.8 Densidad***

La densidad básica de la guadua, definida como la relación entre la masa seca del material y su volumen saturado, es un indicador directo de su calidad estructural. Una mayor densidad suele asociarse con una mayor resistencia mecánica, ya que implica una mayor cantidad de fibras lignificadas por unidad de volumen (Correal J. , 2009).

Estudios realizados en distintas zonas del país, se ha identificado que la densidad de la *Guadua angustifolia Kunth* puede oscilar entre 0.5 y 0.8 g/cm<sup>3</sup>, dependiendo de factores como la altura del culmo, la edad del corte y las condiciones del suelo (González C. , 2018). Según Bedoya (2017), las zonas basales de la guadua (más cercanas al suelo) tienden a presentar una mayor densidad que las zonas apicales, lo cual debe ser considerado al seleccionar las piezas para fines estructurales. La densidad no solo incide en la resistencia, sino también en el comportamiento ante cargas dinámicas y vibraciones, por lo que su medición es parte fundamental de cualquier proceso de caracterización técnica.

### ***2.2.9 Compresión en fibras paralelas***

La resistencia a compresión paralela en las fibras es una de las propiedades más representativas en el análisis estructural de la guadua, ya que refleja su comportamiento ante cargas axiales. Esta propiedad evalúa la capacidad del material para soportar esfuerzos de compresión a lo largo del eje longitudinal del culmo, lo cual es especialmente relevante en elementos verticales como columnas o muros portantes (Takeuchi C. P., 2014).

Debido a la orientación longitudinal de sus fibras, la guadua presenta un alto desempeño en este tipo de solicitaciones. Correal (2009) demostró que la resistencia a la compresión paralela puede alcanzar valores entre 40 y 60 MPa en muestras adecuadamente secas y sin defectos visibles. No obstante, esta resistencia puede disminuir si existen grietas internas, nudos, fisuras o zonas degradadas por la humedad. Por ello, se recomienda realizar inspecciones visuales previas y aplicar técnicas de preservación que garanticen su integridad (Castaño, Manual técnico para la preservación y secado de la guadua, 2015).

### ***2.2.10 Compresión en fibras perpendiculares***

La compresión perpendicular en las fibras evalúa la capacidad de la guadua para resistir fuerzas aplicadas en sentido transversal al eje del culmo. Este tipo de ensayo es crucial para entender el comportamiento del material en uniones, apoyos y zonas de contacto entre elementos estructurales, donde pueden generarse deformaciones localizadas o aplastamientos (ICONTEC, 2007).

A diferencia de la compresión paralela, la resistencia en dirección perpendicular es considerablemente menor, debido a la menor presencia de fibras de soporte en esa orientación. Según Arango (2009), este valor suele situarse en un rango de 4 a 8 MPa, dependiendo de la zona del ensayo dentro del culmo (zona basal o apical) y del contenido de humedad. Un diseño estructural adecuado debe evitar concentraciones elevadas de carga perpendicular en la guadua o, en su defecto, incluir dispositivos de refuerzo o redistribución de carga.

Montoya (2019) señala que una de las fallas comunes en la compresión perpendicular es el colapso de las paredes del culmo, lo cual puede generar pérdidas de capacidad estructural e inestabilidad local. Por ello, las normas técnicas como la NTC 5525 exigen que este tipo de ensayo se realice en condiciones controladas y con especificaciones precisas del lugar del corte, orientación y tratamiento previo del espécimen.

## **2.3 Marco legal**

El marco legal de esta investigación contempla el conjunto de normas, reglamentos y disposiciones técnicas que regulan el uso estructural de la *Guadua angustifolia Kunth* en Colombia, con objetivo de garantizar seguridad, eficiencia y sostenibilidad en proyectos constructivos como las viviendas de interés social (VIS). Este apartado tiene como finalidad

establecer los fundamentos jurídicos que respaldan la caracterización físico–mecánica de la guadua en el municipio de Miraflores, Boyacá, así como definir las condiciones mínimas para su aplicación en estructuras portantes.

### ***2.3.1 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10***

La Norma Sismo Resistente NSR-10, establecida mediante el Decreto 926 de 2010, representa la principal referencia técnica y legal para el diseño y construcción de edificaciones en Colombia. En su Título G (Capítulo G.12), esta norma regula el uso estructural de la *Guadua angustifolia Kunth*, considerando su aplicación en sistemas de entramado, muros portantes y estructuras mixtas (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010)

El capítulo dedicado a guadua establece requisitos mínimos de calidad, métodos de diseño estructural, especificaciones para uniones y tratamientos de preservación. Además, exige la ejecución de ensayos que permitan verificar propiedades como la resistencia a compresión, tracción, flexión y corte. No obstante, la NSR-10 solo valida el uso de guadua proveniente de zonas tradicionalmente certificadas, como el Eje Cafetero, lo cual deja por fuera regiones con potencial productivo como Boyacá, si no se realiza una caracterización técnica que respalde su comportamiento (Rincón, 2020).

### ***2.3.2 Métodos de Ensayo para Guadua. NTC 5525***

La Norma Técnica Colombiana NTC 5525, publicada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, especifica los procedimientos estandarizados para la evaluación físico-mecánica de la guadua. Esta norma establece los ensayos de laboratorio necesarios para

determinar la densidad, contenido de humedad, compresión paralela y perpendicular en las fibras, entre otros parámetros (ICONTEC, 2007)

El cumplimiento de esta norma es obligatorio para validar el uso estructural de la guadua en edificaciones formales, ya que permite comparar los resultados obtenidos con los valores de referencia aceptados por la NSR-10. En el caso de Miraflores, la aplicación de esta norma es clave para definir si el material cultivado en la región cumple con los estándares nacionales exigidos (Lancheros , 2016).

### ***2.3.3 Decreto 1077 de 2015. Compilación del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio***

El Decreto 1077 de 2015 reglamenta de forma integral el sector de vivienda en Colombia, incluyendo las condiciones para la planificación, diseño y ejecución de proyectos de Vivienda de Interés Social. Este decreto promueve la utilización de materiales alternativos siempre que cumplan con los requisitos de calidad y seguridad establecidos por la normatividad vigente (Presidencia de la República, 2015)

El uso de guadua en proyectos VIS se alinea con las políticas de este decreto, en tanto representa un recurso renovable, de bajo impacto ambiental y fácilmente disponible en zonas rurales. Sin embargo, se exige que cualquier material no convencional esté debidamente caracterizado y evaluado conforme a las normas técnicas correspondientes.

### ***2.3.4 Ley 400 de 1997. Normas sobre construcciones sismo resistentes***

La Ley 400 de 1997 establece los principios generales que rigen el diseño y construcción de edificaciones seguras frente a amenazas sísmicas. Esta ley da origen a la creación del

reglamento técnico (NSR), y destaca la importancia de validar experimentalmente los materiales empleados, sin importar si son tradicionales o alternativos (Congreso de Colombia, 1997)

En este contexto, la guadua puede ser usada estructuralmente si se garantiza que su desempeño ante cargas y deformaciones cumpla con los criterios de estabilidad y resistencia exigidos por la ley. Esto refuerza la necesidad de estudios locales como el realizado en Miraflores.

### ***2.3.5 Ley 99 de 1993. Protección de los recursos naturales***

La Ley 99 de 1993, que establece el marco general para la protección ambiental en Colombia, promueve el uso racional de los recursos naturales renovables y fomenta prácticas de aprovechamiento sostenible. En su articulado, se incentiva la investigación sobre especies vegetales nativas con potencial económico y ecológico, como es el caso de la guadua (Ministerio de Medio Ambiente, 1993)

Esta ley respalda el uso de guadua en la construcción, siempre y cuando su extracción y aprovechamiento cumplan con planes de manejo ambiental. En consecuencia, la validación técnica de la guadua boyacense contribuye al cumplimiento de estos principios al proponer un uso controlado y responsable del recurso.

### ***2.3.6 Normas internacionales y comparativas***

A nivel internacional, diversas normas han abordado el estudio de los bambúes estructurales. Por ejemplo, el ISO 22157-1:2019 establece los procedimientos estándar para determinar las propiedades físico-mecánicas del bambú en ensayos de laboratorio (International Organization for Standardization (ISO), 2019). Esta norma es empleada como referencia en investigaciones académicas y complementa los métodos de ensayo propuestos por la NTC 5525.

Por su parte, el Eurocode 5 (1995), aunque centrado en estructuras de madera, ha servido como base para adaptar criterios de diseño a materiales como el bambú, especialmente en el contexto de construcciones sostenibles. Estas referencias comparativas permiten identificar oportunidades para armonizar los estudios nacionales con tendencias internacionales y facilitar futuras certificaciones técnicas.

### 3. Método

Este capítulo describe la metodología implementada para analizar las propiedades físico-mecánicas de la *Guadua angustifolia Kunth*, cultivada en el municipio de Miraflores, Boyacá. Este análisis se enfoca en una investigación de tipo descriptivo y experimental, tiene como finalidad caracterizar las propiedades de este material para evaluar su viabilidad como material de construcción para viviendas de interés social (VIS).

Los procedimientos aplicados corresponden a ensayos de laboratorio fundamentados en las especificaciones de las normas técnicas nacionales, como la NTC 5525 y la NSR-10, las cuales definen los criterios para el uso de materiales no convencionales en la construcción. La adopción de estos métodos asegura resultados replicables y confiables para el análisis estructural propuesto.

#### 3.1 Lugar de suministro

La guadua utilizada fue recolectada en un rodal localizado en el municipio de Miraflores, al suroriente del departamento de Boyacá, zona perteneciente a la Cordillera oriental de la Región Andina. Este territorio, de topografía predominantemente montañosa, abarca una superficie de aproximadamente 258 km<sup>2</sup>, y limita con Berbeo y Páez al oriente, Garagoa al occidente, Zetaquirá al norte y Campohermoso al sur. Las coordenadas geográficas referenciadas con GPS de la zona son las siguientes:

Las coordenadas geográficas registradas mediante GPS son las siguientes:

- N 5° 08' 59.05''
- O 73° 08' 21.15''
- Altitud: 1487 m.s.n.m.

**Figura 1.** Vista general cultivo de guadua en la Finca El Recuerdo.



*Nota:* Fotografía tomada por los autores.

El comportamiento climático de la zona fue caracterizado mediante datos del IDEAM (Regional Boyacá – Casanare), especialmente a través de la estación hidrométrica “Vivero”. Se registran precipitaciones anuales entre 1.450 y los 1.960 mm/año, siendo más frecuentes entre marzo y septiembre. Las temperaturas más altas presentan registros en los meses de enero, febrero, marzo y abril con un valor de 18.9°C a 19.3°C, disminuyendo en junio hasta agosto llegando a los 17.5°C, se mantiene una temperatura constante en la zona, ya que las variaciones en el transcurso del año no superan el 1.8°C la media anual. A lo largo del año se presenta una humedad relativa media anual en el municipio del 87% alcanzando un valor máximo de 91% en el mes de julio.

El guadua se encuentra ubicado en la finca El Recuerdo en inmediaciones con la Quebrada La Mocacia cerca a la vía que conduce del municipio de Miraflores hacia Páez como se puede observar en la Figura 2. actualmente sus propietarios no realizan la explotación de la guadua con

fines comerciales dado que la economía se basa principalmente en la agricultura como lo son los cultivos de café, maíz, plátano, hortalizas y frutales.

**Figura 2.** Vista del cultivo de Guadua desde la vía



*Nota:* Fotografía tomada por los autores.

### **3.2 Selección de material**

La identificación de los culmos aptos para el estudio fue realizada con el acompañamiento de habitantes locales, quienes aportaron sus conocimientos para la identificación de aquellos culmos que se encontraban maduros y tenían la suficiente resistencia para ser utilizadas, así como del momento y el proceso en el que debían ser cortadas.

**Figura 3.** Inspección visual de los culmos a seleccionar



*Nota:* Fotografía tomada por los autores.

Inicialmente se realiza una inspección visual en la que se identifican los culmos que tuvieran una madurez entre 2 a 3 años, sin defectos notables como agrietamientos, manchas, deformaciones o deterioro por plagas (Figura 3). Se eligieron un total de 8 culmos distribuidos de forma aleatoria del rodal, estos se dejan debidamente marcados. Las personas de la zona realizan el proceso de corte según el calendario lunar en los días de menguante y en horas de la mañana antes de la salida del sol ya que la energía solar sube la sabia de la guadua, lo que puede presentar variaciones en la etapa de curado natural, por lo tanto, se siguen estas recomendaciones y se programa el día y la hora de corte.

**Figura 4.** a) Corte de la Guadua b) Culmo cortado

*Nota:* Fotografía tomada por los autores.

El proceso de corte se realizó en horas de la madrugada con el fin de seguir las recomendaciones brindadas por las personas de la zona, se marca el punto de corte a partir de 1 metro sobre en nivel del rizoma con el fin de que pueda surgir un nuevo rebrote. Se derriban culmos con diámetros entre los 90 mm y los 100mm y una longitud de seis metros para facilitar el transporte desde el municipio de Miraflores hasta las instalaciones de los laboratorios del Campus de la Universidad Santo Tomás (Figura 5).

**Figura 5.** Traslado de la guadua a las instalaciones de la Universidad Santo Tomás



*Nota:* Fotografía tomada por los autores.

### **3.3 Identificación de culmos y corte de probetas**

Una vez finalizado el proceso de recolección, los culmos fueron transportados a los laboratorios del Campus de la Universidad Santo Tomás – Sede Tunja de acuerdo con la premisa:

Si el propósito de los ensayos es comercial, los especímenes se deben ensayar en condiciones de aire seco. En el caso de investigación científica, los ensayos se pueden hacer en especímenes húmedos (verdes), en cuyo caso éstos se deben despachar inmediatamente (ICONTEC, 2007)

Se realiza la verificación del estado de cada culmo para ser caracterizado y así determinar esquemas para el corte requeridos que deben tener las probetas seleccionadas.

### 3.3.1 Identificación de culmos y probetas

El acopio de la guadua se lleva a cabo en uno de los cuartos de almacenamiento de los laboratorios de la universidad para ser protegida de la exposición directa al sol y la lluvia, visualmente se evidencia que los culmos tienen un alto contenido de humedad debido a su color como se observa en la Figura 6, durante el traslado se presentaron fuertes lluvias por lo que se decide seguir las recomendaciones de las personas que realizaron el corte para dejarla secar de forma natural durante un periodo mínimo de 21 días.

**Figura 6.** Alto contenido de humedad de los culmos



*Nota:* Fotografía tomada por los autores

El secado de la madera puede lograrse a base de aire natural o por métodos especiales que estimulan la salida del agua en forma más o menos rápida (Junta del Acuredo de Cartagena JUNAC, 1989), de tal forma que, durante el seguimiento al proceso de secado de la guadua se decide someter a los culmos al aire libre ubicándolos con una leve inclinación (Figura 7) y una vez

transcurrido este tiempo se identifican las secciones (inferior, media, superior) para hacer la marcación asignada en campo para los entrenudos de cada muestra.

**Figura 7.** Secado de los culmos al aire libre



*Nota:* Fotografía tomada por los autores.

De acuerdo a la orientación de crecimiento de la guadua se registraron los diámetros transversales en ambas caras de cada muestra, así como los espesores correspondientes, realizando inspecciones visuales para descartar elementos defectuosos (como fisuras, curvaturas, agujeros o evidencia de ataque por insectos como gorgojos o comején). por lo cual se deben descartar el uso de uno de estos que presentan las averías mostradas en la Figura 8 y se consideran no aptos para la realización de los ensayos.

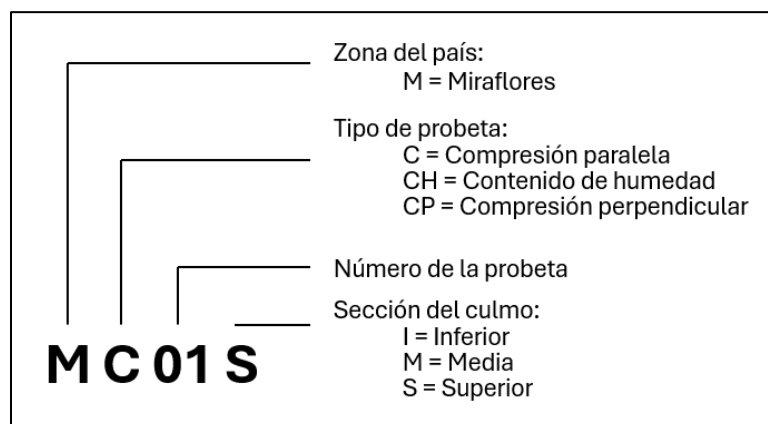
**Figura 8.** Culmos defectuosos



*Nota:* Fotografía tomada por los autores.

Los datos obtenidos de cada una de los culmos se registran de manera digital para ubicar la posición, dimensión y tipo de probeta que se necesita en la realización de los diferentes ensayos, posteriormente se les asigna la nomenclatura descrita en la Figura 9 para ser debidamente marcados y continuar al proceso de corte.

**Figura 9.** Nomenclatura utilizada en la identificación de probetas



*Nota:* Autores

### 3.4 Corte y preparación de probetas

Una vez seleccionadas las muestras válidas, se procedió a reducir el tamaño de los culmos para facilitar su transporte desde los laboratorios universitarios hasta un taller de carpintería ubicado en el centro de la ciudad. En este espacio se efectuó el corte de las probetas empleando una sierra de disco, lo que permitió obtener especímenes con las dimensiones específicas requeridas para cada tipo de ensayo (Figura 10 y Figura 11).

**Figura 10.** Reducción de tamaño de los culmos



*Nota:* Fotografía tomada por los autores.

**Figura 11.** Corte de las probetas por medio de sierra de disco



*Nota:* Fotografía tomada por los autores.

Las probetas seleccionadas para el ensayo de compresión paralela en las fibras fueron sometidas a un proceso adicional de afinamiento en los extremos. Este proceso se llevó a cabo empleando un disco para madera y estuvo a cargo del personal de laboratorio capacitado. El objetivo fue garantizar que las superficies de carga quedaran perfectamente perpendiculares al eje longitudinal del espécimen, lo cual es fundamental para que la distribución del esfuerzo durante el ensayo sea uniforme y confiable.

**Figura 12.** Afinado de los extremos en probetas de compresión paralela.



*Nota:* Fotografía tomada por los autores

Finalizado este proceso, las probetas fueron clasificadas y separadas según el tipo de ensayo correspondiente (contenido de humedad, densidad, compresión paralela y perpendicular). Posteriormente, fueron almacenadas en condiciones controladas dentro del laboratorio, preservando su integridad hasta el momento de ser sometidas a prueba.

### 3.5 Introducción a los ensayos

El propósito de obtener información precisa sobre las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia Kunth* proveniente de Miraflores (Boyacá), se realizaron diversos ensayos de laboratorio siguiendo los lineamientos establecidos por la Norma Técnica Colombiana NTC 5525. Este enfoque busca evitar la generalización de datos provenientes de regiones tradicionalmente estudiadas, como el Eje Cafetero, y fomentar el conocimiento técnico regionalizado.

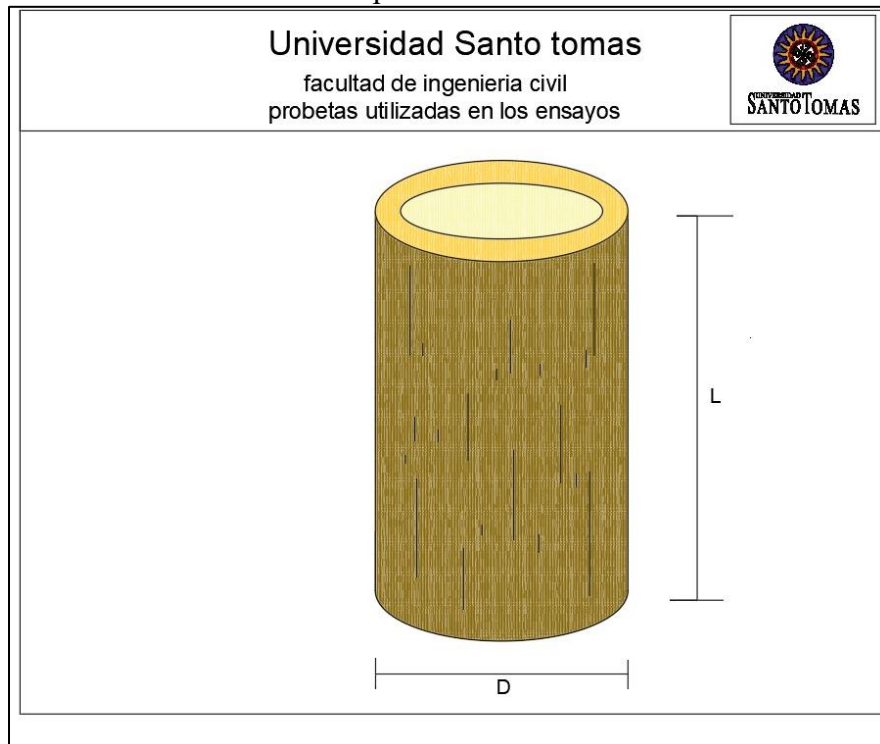
Cada probeta fue ensayada en los laboratorios de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja bajo la supervisión del personal encargado del área para utilizar de manera correcta cada uno de los equipos. Se realizaron un total de 96 ensayos, los cuales se encuentran discriminados en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Total de ensayos (Autores)

ENSAYO	PROBETAS
CONTENIDO DE HUMEDAD	24
DENSIDAD	24
COMPRESIÓN PARALELA	24
COMPRESIÓN PERPENDICULAR	24
TOTAL	96

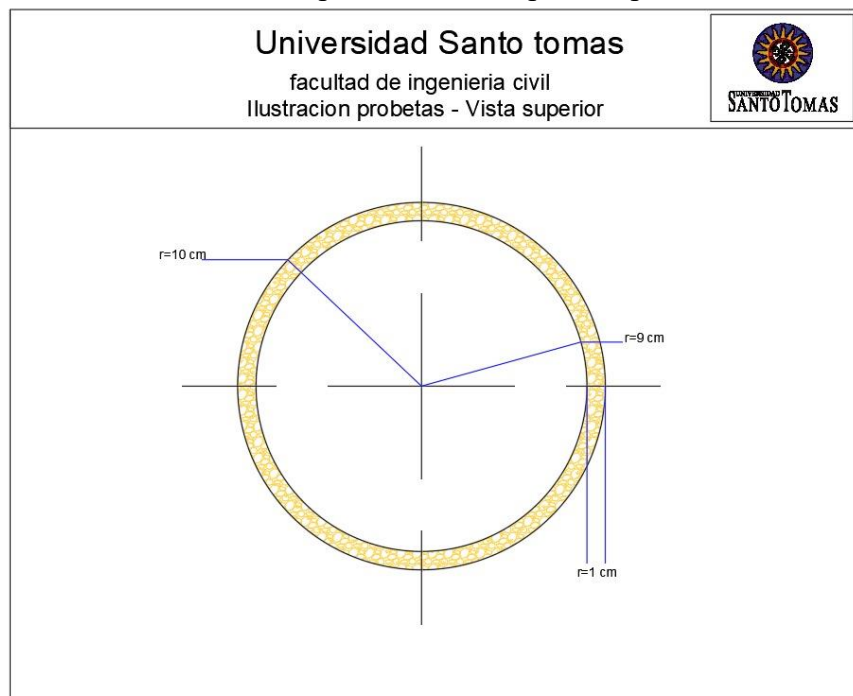
En la realización de cada ensayo se determinaron las medidas de cada una de las probetas, así como se muestra en la Figura 13 y Figura 14, se toma tres diferentes mediciones del mismo parámetro para luego por medio del promedio determinar el valor con el que se va a trabajar.

**Figura 13.** Parámetros de medición de las probetas.



*Nota:* Imagen elaborada por los autores

**Figura 14.** Afinado de los extremos en probetas de compresión paralela.



*Nota:* Imagen elaborada por los autores

### 3.5.1 Valor característico y esfuerzo admisible

Con el objetivo de realizar un análisis estadístico riguroso de los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos, se calcularon los valores característicos de cada sollicitación, siguiendo las disposiciones del Título G, Sección G.12.7-1 de la NSR-10. Este valor representa un percentil conservador de la distribución de datos, utilizado como base para establecer los esfuerzos admisibles del material.

El valor característico  $f_{ki}$  se determina mediante la siguiente expresión:

$$f_{ki} = f_{0.5i} \left( 1 - \frac{2.7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right) \quad (1)$$

Donde,

- $f_k$  Valor característico para la sollicitación  $i$
- $f_{0.5i}$  Percentil 5 de los datos obtenidos
- $s$  Desviación estándar de la muestra
- $m$  Promedio de los resultados de los ensayos
- $n$  Número total de datos analizados
- $i$  Subíndice que indica el tipo de esfuerzo (c: compresión paralela, cp: compresión perpendicular)

Una vez estimado el valor característico, se procede a calcular el esfuerzo admisible  $F_i$  el cual considera factores de seguridad y de duración de carga. La fórmula empleada es:

$$F_i = \frac{FC}{F_s \cdot FDC} F_{ki} \quad (2)$$

Donde:

- $F_i$  Esfuerzo admisible para la sollicitación  $i$
- $F_{ki}$  Valor característico para el esfuerzo en la sollicitación  $i$

$FC$  = Factor de reducción por condiciones de ensayo (1.0 tanto para compresión paralela como perpendicular)

$F_s$  = Factor de seguridad (1.5 para compresión paralela y 1.8 para compresión perpendicular).

$FDC$  = Factor de duración de carga (1.2 para ambas sollicitaciones)

De acuerdo con la NSR-10, los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de referencia para guadua certificada (con contenido de humedad del 12%) se resumen en la Tabla 2 y Tabla 3.

**Tabla 2.** Valores de esfuerzos admisibles NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, 2010)

**Esfuerzos admisibles  $F_i(MPa)$ ,  $CH = 12\%$**

$F_b$ Flexión	$F_t$ Tracción	$F_c$ Compresión 	$F_b$ Compresión ⊥	$F_b$ Corte
15	18	14	14	12

|| = Compresión paralela al eje longitudinal

⊥ = Compresión perpendicular al eje longitudinal

\*La resistencia a compresión perpendicular está calculada para entrenudos rellenos con mortero de cemento.

**Tabla 3.** Valores de módulos de elasticidad NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, 2010)

**Módulos de elasticidad,  $E_i(MPa)$ ,  $CH = 12\%$**

Módulo promedio $E_{0.5}$	Módulo percentil 5 $E_{0.5}$	Módulo mínimo $E_{min}$
9.500	7.500	4.000

### 3.6 Ensayo contenido de humedad

La guadua pertenece a la familia de las gramíneas, subfamilia Bambusoidea. En Colombia se destaca por su abundancia el género “guadua” y la especie “angustifolia”, se le encuentra ampliamente dispersa, conformando rodales (guadales) casi puros que cumplen indiscutible efecto protector sobre el suelo, las aguas y las rondas de los ríos, contribuyendo a su recuperación y conservación (González , 2016)

La guadua es un material higroscópico (atrae agua), es susceptible de cambios dimensionales y su resistencia se ve afectada de acuerdo con la variación de su contenido de humedad; así, los culmos en el momento de la construcción debe estar cercano al contenido de humedad de equilibrio del lugar donde será usada, sin sobrepasar el 20% ni ser inferior al 10% (Luna, Granados, Takeuchi, & Lamus, 2011). Al ser un material natural, se presentan afectaciones en su resistencia debido a las variaciones del contenido de humedad a las que sea sometidas.

En función de lo anterior, el ensayo de contenido de humedad fue realizado conforme a los procedimientos establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 5525. Este método permite calcular el porcentaje de agua presente en el material en relación con su masa seca, a partir de la diferencia de peso antes y después del secado en horno.

Para la evaluación se utilizaron un total de 24 probetas, distribuidas en tres zonas del culmo (inferior, media y superior), como se indica en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Distribución de las probetas para el ensayo de contenido de humedad (Autores)

	<b>PROBETAS</b>
<b>INFERIOR</b>	8
<b>MEDIA</b>	8
<b>SUPERIOR</b>	8
<b>TOTAL</b>	24

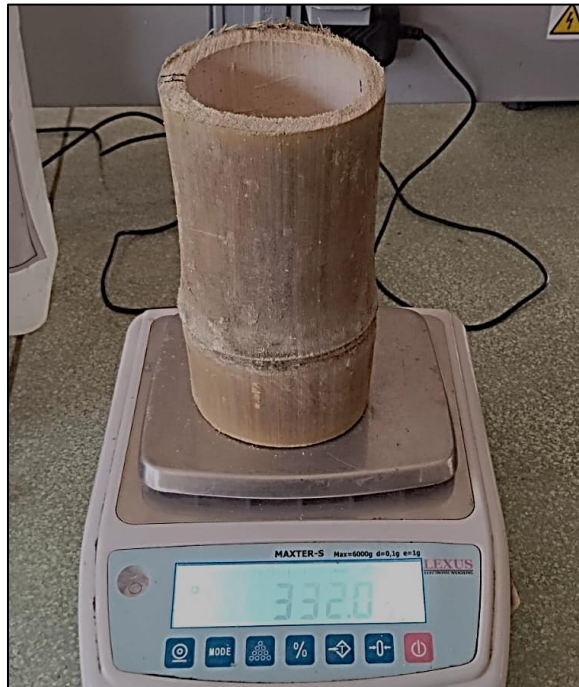
Equipos utilizados:

- Balanza electrónica con precisión de 0,01 g.
- Horno de secado eléctrico regulado a 103°C.
- Desecador hermético para enfriamiento sin absorción de humedad.

El procedimiento realizado es el siguiente:

- Se pesaron las probetas en su estado natural con una exactitud de 0,01 g como se evidencia en la Figura 14.

**Figura 14.** Pesaje de probetas



*Nota:* Fotografía tomada por los autores.

- Las muestras fueron introducidas en un horno previamente calentado a 103 °C, permaneciendo allí por un periodo inicial de 24 horas (Figura 15).

**Figura 15.** Probetas ingresadas en el horno

*Nota:* Fotografía tomada por los autores.

- Transcurrido este tiempo, las probetas se trasladaron a un recipiente desecador para evitar la absorción de humedad ambiental, y se registró nuevamente su masa.

**Figura 15.** Recipiente desecador

*Nota:* Fotografía tomada por los autores.

- Este ciclo (horno–desecador) se repitió hasta obtener una masa constante, definida como aquella cuya diferencia entre dos pesajes consecutivos no supera los 0,01 g.

El contenido de humedad se determinó mediante la siguiente expresión:

$$CH = \frac{m - m_o}{m_o} \times 100 \quad (3)$$

Donde,

$m$  es la masa inicial de la probeta antes del secado

$m_o$  es la masa final de la probeta luego del secado

Los resultados fueron expresados como porcentaje con una precisión de décimos. El promedio de las 24 mediciones fue registrado como el valor representativo del contenido de humedad de las muestras ensayadas, en cumplimiento con la NTC 5525.

### 3.7 Ensayo de densidad

La densidad es una propiedad fundamental en la caracterización de materiales estructurales, ya que expresa la relación entre la masa y el volumen que ocupa un cuerpo. En el caso de la *Guadua angustifolia Kunth*, esta propiedad está directamente asociada a su resistencia mecánica, dado que una mayor densidad suele reflejar una mayor concentración de fibras lignificadas, especialmente en la periferia del culmo.

Para la determinación de este parámetro, se aplicó el procedimiento establecido en la NTC 5525, que contempla el análisis de muestras en estado verde. Se utilizaron las mismas 24 probetas seleccionadas previamente, distribuidas en las zonas inferior, media y superior de los culmos recolectados. En la tabla 5 se evidencia la distribución de las probetas usadas en el ensayo.

**Tabla 5.** Distribución de las probetas para el ensayo de densidad (Autores)

	<b>PROBETAS</b>
<b>INFERIOR</b>	8
<b>MEDIA</b>	8
<b>SUPERIOR</b>	8
<b>TOTAL</b>	24

Equipos utilizados:

- Balanza electrónica con precisión de 0,01 g.
- Calibrador Vernier o pie de rey, para determinar dimensiones con exactitudBalanza electrónica con precisión de 0,01 g.
- Regla milimetrada para mediciones longitudinales

El procedimiento que se siguió en este ensayo es el siguiente:

- Se registró el peso húmedo de cada probeta, utilizando la balanza electrónica.
- Se midieron las dimensiones geométricas: largo, diámetro externo y espesor de pared, siguiendo dos ejes perpendiculares para cada extremo (superior e inferior), a fin de obtener un promedio representativo.
- Con los valores anteriores, se calculó el volumen total de la probeta, aproximando su forma a un cilindro hueco según la fórmula:

$$V = \pi \cdot \frac{(D_e^2 - D_i^2)}{4} \cdot h \quad (4)$$

Donde:

$V$  Volumen ( $cm^3$ )

$D_e$  Diámetro externo (cm)

$D_i$  Diámetro interior (cm)

$h$  Altura de la probeta

- Finalmente, la densidad húmeda se obtuvo aplicando la siguiente fórmula

$$\rho = \left(\frac{m}{V}\right) \times 10^6 \quad (5)$$

Donde:

$\rho$  = densidad en  $Kg/m^3$

$m$  = masa de la probeta en estado natural, en g

$V$  = volumen húmedo (verde) de la probeta en  $mm^3$

### 3.8 Ensayo de compresión paralela a las fibras

La resistencia a la compresión paralela a las fibras es una de las propiedades más representativas del comportamiento estructural de la *Guadua angustifolia Kunth*, ya que permite evaluar su desempeño frente a cargas axiales. Este tipo de esfuerzo es común en elementos verticales como columnas, postes y soportes.

El procedimiento seguido se basó en los lineamientos de la NTC 5525, norma que establece los criterios para la ejecución del ensayo y la forma de preparación de las muestras. Para este análisis se utilizaron 24 probetas, seleccionadas y preparadas previamente, con extremos afinados para asegurar una carga uniforme durante la prueba.

**Tabla 6.** Distribución de las probetas para el ensayo de compresión paralela en las fibras (Autores)

<b>PROBETAS</b>	
<b>INFERIOR</b>	8
<b>MEDIA</b>	8
<b>SUPERIOR</b>	8
<b>TOTAL</b>	24

Equipos utilizados:

- Máquina universal de ensayos con capacidad de carga superior a los 50 kN
- Calibrador Vernier
- Regla milimetrada
- Balanza electrónica

**Figura 16.** Montaje ensayo compresión paralela

*Nota:* Fotografía tomada por los autores.

El procedimiento para este ensayo fue:

- Cada probeta fue identificada y clasificada de acuerdo con su ubicación en el culmo (zona inferior, media o superior).
- Se midieron con precisión el diámetro externo, el espesor de pared y la longitud útil, registrando tres lecturas por parámetro para obtener un valor promedio.
- Las probetas fueron colocadas de forma vertical en la máquina de compresión, asegurando una correcta alineación entre los ejes de carga y el eje longitudinal del espécimen.
- Se aplicó una carga creciente y continua hasta que se presentó el colapso o la falla estructural, lo cual fue registrado mediante el sistema digital del equipo.

El esfuerzo último a compresión paralela a las fibras ( $\sigma_{uc}$ ) se determinó usando la ecuación

7 tomada de la NTC 5525:

$$\sigma_{uc} = \frac{F_{ult}}{A} \quad (7)$$

Donde,

$\sigma_{ult}$  Esfuerzo de compresión paralela en las fibras (MPa)

$A$  Área transversal efectiva ( $mm^2$ ), calculada en función del diámetro exterior y el espesor

$F_{ult}$  Carga máxima aplicada (N)

### 3.9 Ensayo compresión perpendicular en las fibras

El ensayo de compresión perpendicular a las fibras permite analizar el comportamiento estructural de la *Guadua angustifolia Kunth* cuando es sometida a cargas transversales al eje del culmo. Este tipo de esfuerzo es común en zonas de contacto o apoyo, como uniones y encuentros entre elementos, donde pueden generarse concentraciones de carga localizadas.

Los lineamientos o la tendencia de uso para la realización de este ensayo se basan en trabajos anteriores como lo son (Narvaéz Estefan, 2016), (Sánchez Escobar, 2018), (Garzón, 2016). Se utilizaron 24 probetas ensayadas según su origen como se puede observar en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Distribución de las probetas para el ensayo de compresión perpendicular en las fibras (Autores)

	<b>PROBETAS</b>
<b>INFERIOR</b>	8
<b>MEDIA</b>	8
<b>SUPERIOR</b>	8
<b>TOTAL</b>	24

Las probetas de este ensayo se cortan sin nudo de una altura de 17cm. A diferencia del ensayo a compresión paralela, la altura no depende del diámetro. Las probetas fueron colocadas de forma horizontal en la máquina de compresión, de modo que la carga aplicada incidiera en

sentido perpendicular a las fibras del material. como se muestra en la Figura 18. Se aplicó una carga progresiva hasta provocar una deformación visible o colapso parcial del espécimen, registrando en cada caso la carga máxima soportada.

**Figura 17.** Montaje ensayo compresión paralela



*Nota:* Fotografía tomada por los autores.

Con los datos obtenidos se calculó el esfuerzo máximo soportado por cada muestra mediante la ecuación 8 del documento del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (2010)

$$\sigma_{ucp} = \frac{3 \times D_e \times F}{2 \times L \times t^2} \quad (8)$$

En donde,

$\sigma_{ucp}$  Esfuerzo último a compresión perpendicular a las fibras

$D_e$  Diámetro externo promedio de la probeta (mm)

$F$  Carga máxima aplicada (N)

$L$  Longitud promedio (mm)

$t$  Espesor de pared promedio (mm)

Para complementar la descripción metodológica presentada en este capítulo, se incluye a continuación un diagrama de flujo que resume de manera estructurada las etapas del proceso experimental desarrollado. Este esquema permite visualizar de forma sintética la secuencia de actividades, desde la recolección de las muestras hasta el análisis estadístico de los resultados, facilitando la comprensión integral de la metodología empleada.

**Figura 18.** Diagrama de flujo del proceso experimental



*Nota:* Diagrama generado por los autores.

Como complemento al diagrama de flujo general del proceso experimental, se presenta a continuación una tabla resumen que organiza de manera estructurada las fases del trabajo de laboratorio, los tipos de ensayo realizados, la norma técnica aplicada y las características de las probetas utilizadas. Este esquema tiene como propósito ofrecer al lector una visión clara y sintética de las actividades metodológicas desarrolladas, facilitando la comprensión integral de la estrategia experimental implementada en este estudio.

**Tabla 8.** Tabla resumen de las fases del proceso experimental, los ensayos aplicados, la norma técnica empleada y las características de las probetas utilizadas (Autores)

<b>FASE</b>	<b>ENSAYO REALIZADO</b>	<b>NORMA APLICADA</b>	<b>TIPO DE MUESTRA</b>
<b>Fase 1</b>	Contenido de humedad	NTC 5525	Probetas cilíndricas (estado verde)
<b>Fase 2</b>	Densidad	NTC 5525	Probetas cilíndricas (estado seco)
<b>Fase 3</b>	Compresión paralela a las fibras	NTC 5525	Probetas prismáticas (estado seco)
<b>Fase 4</b>	Compresión	NTC 5525	Probetas prismáticas

#### 4. Resultados

Este capítulo presenta los resultados obtenidos a partir de los ensayos físicos y mecánicos realizados a muestras de *Guadua angustifolia Kunth* provenientes del municipio de Miraflores, Boyacá. Los datos se organizaron según la variable evaluada (contenido de humedad, densidad, compresión paralela y perpendicular), siguiendo el orden planteado en el diseño metodológico.

Los valores obtenidos fueron organizados y analizados con el fin de establecer su correspondencia con los rangos técnicos exigidos por la normativa vigente y comparar su desempeño frente a datos referenciados de la guadua certificada del eje cafetero (Arango J. D., 2015).

##### 4.1 Ensayo contenido de humedad

El contenido de humedad es una propiedad fundamental en la caracterización físico – mecánica de la *Guadua angustifolia Kunth* debido a que influye directamente en su comportamiento estructural y durabilidad. El ensayo se realizó bajo los lineamientos establecidos por la norma técnica colombiana NTC 5525 donde se especifica el método de secado en horno como procedimiento estándar para determinar este parámetro.

Se evaluaron 24 probetas extraídas de diferentes secciones de culmos representativos del municipio de Miraflores, Boyacá. La distribución se realizó considerando la posición longitudinal del tallo (inferior, medio y superior), lo que permitió analizar posibles variaciones en la humedad según la ubicación. El procedimiento experimental fue descrito en capítulo de método y los datos individuales obtenidos se presentan detalladamente en el Apéndice A.

En la Tabla 9 se resume el cálculo del contenido de humedad para cada una de las probetas ensayadas. El valor porcentual se obtuvo a partir de las diferencias entre el peso inicial (en estado húmedo) y el peso final (peso seco), según la ecuación 9.

$$CH\% = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100 \quad (9)$$

Al analizar los valores de contenido de humedad se evidencia que varían entre un mínimo de 60.35% y un máximo de 187.26%, lo cual indica una alta heterogeneidad, posiblemente asociada a factores anatómicos, edad de culmo y condiciones de secado.

**Tabla 9.** Cálculo contenido de humedad de las probetas (Autores)

**ENSAYO: CONTENIDO DE HUMEDAD NTC 5525**

<b>PROBETA</b>	<b>PESO INICIAL</b>	<b>PESO FINAL</b>	<b>CH %</b>
M CH 01 I	144,6	62,0	133,23
M CH 02 I	153,5	65,8	133,28
M CH 03 I	117,2	50,7	131,16
M CH 04 I	63,5	28,8	120,49
M CH 05 I	44,6	18,6	139,78
M CH 06 I	87,9	54,7	60,69
M CH 07 I	108,4	58,5	85,30
M CH 08 I	115,8	62,2	86,17
M CH 01 M	250,2	87,1	187,26
M CH 02 M	348,3	151,2	130,36
M CH 03 M	669,2	326,1	105,21
M CH 04 M	210,6	108,1	94,82
M CH 05 M	293,8	147,5	99,19
M CH 06 M	450,2	239,9	87,66
M CH 07 M	620,2	217,5	185,15

M CH 08 M	536,7	334,7	60,35
M CH 01 S	123,8	54,5	127,16
M CH 02 S	330,7	146,6	125,58
M CH 03 S	226,5	103,9	118,00
M CH 04 S	334,3	151,2	121,10
M CH 05 S	225,8	113,5	98,94
M CH 06 S	349,7	178,3	96,13
M CH 07 S	297,4	157,3	89,07
M CH 08 S	376,8	204,3	84,43

En la Tabla 10 se presentan resultados estadísticos obtenidos del conjunto de datos. El valor promedio de contenido de humedad fue de 112.52%, lo cual es consistente con el reportado por otros autores en estudios similares realizados con guadua de zonas montañosas. La desviación estándar fue de 31.28% y coeficiente de variación de 28%, lo que indica una dispersión moderada de los datos en relación con la media.

Estos resultados permiten concluir que la *Guadua angustifolia Kunth* proveniente del municipio de Miraflores presenta un alto contenido de humedad, característico de materiales que han sido recientemente cosechados, resaltando la importancia de un adecuado proceso de secado previo a su uso estructural. Además, las diferencias entre las secciones del culmo sugieren la necesidad de un control riguroso durante la etapa de selección y preparación del material.

**Tabla 10.** Análisis estadístico para el ensayo de contenido de humedad (Autores)

ENSAYO	DATOS ESTADÍSTICOS	TOTAL
<b>Contenido de</b>	Promedio	112,52
<b>humedad</b>	Desviación estándar	31,28
	Coeficiente de variación (%)	28%

## 4.2 Ensayo de densidad

El análisis de la densidad húmeda se realizó empleando el método propuesto por la NTC 5525, con una modificación en la forma de las muestras que fueron preparadas en forma cilíndrica. El ensayo se realizó sobre 24 probetas extraídas en tres secciones del culmo (inferior, media y superior), conservando su estado naturalmente verde, con el propósito de reflejar las condiciones reales del material en el momento de corte.

El procedimiento que se siguió consistió en registrar el peso de cada muestra en gramos, calcular el volumen cilíndrico utilizando los diámetros exteriores e interior, así como la longitud, posteriormente se estima la densidad individual de cada probeta con base en la relación masa – volumen. Los resultados obtenidos muestran una amplia variabilidad entre muestras (Tabla 10), lo cual es característico de este material debido a su naturaleza anisotrópica y al gradiente de propiedades a lo largo del culmo (Arango J. D., 2015).

Los valores de densidad obtenidos oscilaron entre  $1081,07 \text{ kg/m}^3$  y  $1885,89 \text{ kg/m}^3$ , con un valor promedio de  $1522,89 \text{ kg/m}^3$ , una desviación estándar de  $245,94 \text{ kg/m}^3$  y un coeficiente de variación del 16,50%, como se muestra en la Tabla 12. Estos resultados reflejan una densidad relativamente alta si se compara con valores reportados en otras regiones del país, lo que podría asociarse a las condiciones climáticas particulares de la zona y a las características edafológicas que influyen en el crecimiento del material (Giraldo, 2018).

**Tabla 11.** Cálculo densidad de las probetas ensayadas (Autores)

PROBETA	PESO (g)	PESO (Kg)	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	VOLUMEN (mm <sup>3</sup> )	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )
<b>MD 01 I</b>	127,5	0,13	68,01	680,05	1874,86
<b>MD 02 I</b>	115,7	0,12	71,09	710,91	1627,50
<b>MD 03 I</b>	136,7	0,14	87,23	872,32	1567,09

---

<b>MD 04 I</b>	148,5	0,15	87,52	875,25	1696,66
<b>MD 05 I</b>	147,8	0,15	79,64	796,39	1855,87
<b>MD 06 I</b>	118,4	0,12	81,05	810,46	1460,90
<b>MD 07 I</b>	139,5	0,14	100,40	1004,02	1389,42
<b>MD 08 I</b>	118,4	0,12	100,08	1000,77	1183,09
<b>MD 01 M</b>	147,5	0,15	94,30	943,04	1564,10
<b>MD 02 M</b>	142,6	0,14	108,60	1085,98	1313,10
<b>MD 03 M</b>	154,2	0,15	105,70	1057,04	1458,79
<b>MD 04 M</b>	108,5	0,11	100,36	1003,63	1081,07
<b>MD 05 M</b>	114,2	0,11	82,66	826,59	1381,58
<b>MD 06 M</b>	127,4	0,13	113,10	1130,97	1126,46
<b>MD 07 M</b>	138,7	0,14	104,51	1045,07	1327,19
<b>MD 08 M</b>	129,4	0,13	97,79	977,87	1323,28
<b>MD 01 S</b>	116,8	0,12	94,30	943,04	1238,55
<b>MD 02 S</b>	145,2	0,15	80,32	803,20	1807,77
<b>MD 03 S</b>	113,5	0,11	73,06	730,59	1553,53
<b>MD 04 S</b>	137,4	0,14	73,91	739,15	1858,90
<b>MD 05 S</b>	136,4	0,14	72,33	723,26	1885,89
<b>MD 06 S</b>	124,2	0,12	78,79	787,91	1576,32
<b>MD 07 S</b>	112,7	0,11	74,16	741,59	1519,71
<b>MD 08 S</b>	128,7	0,13	68,54	685,39	1877,76

---

**Tabla 12.** Análisis estadístico para la densidad de las probetas (Autores)

ENSAYO	DATOS ESTADÍSTICOS	TOTAL
<b>CONTENIDO</b> <b>DENSIDAD</b>	PROMEDIO	1522,89
	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	245,94
	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	16,50%

Asimismo, se observa que las muestras tomadas de la parte superior del culmo tienden a presentar valores de densidad ligeramente más bajos, en comparación con las secciones media e inferior. Este comportamiento coincide con lo reportado por (Ramírez C. A., 2012), quien indica que la densidad de la guadua tiende a disminuir hacia el ápice del culmo debido a la disminución del espesor de la pared y al incremento de la porosidad.

Los resultados obtenidos permiten concluir que la guadua de Miraflores tiene un comportamiento estructural favorable desde el punto de vista de su densidad, lo cual es un indicador importante para su uso en elementos sometidos a carga, como columnas, cerchas o vigas ligeras.

#### 4.3 Ensayo compresión paralela en las fibras

El análisis de resultados de este ensayo, realizado sobre un total de 24 probetas de *Guadua angustifolia Kunth*, permitió obtener un panorama integral del comportamiento mecánico del material frente a cargas aplicadas en la misma dirección de las fibras estructurales. Este ensayo se llevó a cabo conforme a los lineamientos establecidos en la NTC 5525, tiene como propósito evaluar la capacidad portante de la guadua, propiedad fundamental para su uso como elemento estructural vertical, especialmente en columnas y soportes principales.

Los resultados arrojaron un esfuerzo último de compresión promedio de 0,431 MPa, lo cual se considera adecuado para un material lignocelulósico, particularmente teniendo en cuenta las condiciones naturales de crecimiento y las características del espécimen evaluado. La desviación estándar fue de 0,055 MPa, lo que evidencia una dispersión moderada en los datos obtenidos. Asimismo, el coeficiente de variación del 12,78 % se encuentra dentro de un rango aceptable para materiales naturales, cuyos niveles de variabilidad suelen ser más altos que los de materiales industrializados.

**Tabla 13.** Cálculo esfuerzo último de compresión paralela de las probetas ensayadas (Autores)

PROBETA	PESO (g)	CARGA DE FALLA DE LA PROBETA Fult (N)	ÁREA TRANSVERSAL (mm <sup>2</sup> )	ESFUERZO ULTIMO DE COMPRESIÓN (Mpa)
<b>M C 01 I</b>	127,5	7561,400	21352,763	0,354
<b>M C 02 I</b>	115,7	8598,100	21352,763	0,403
<b>M C 03 I</b>	136,7	9300,300	23565,750	0,395
<b>M C 04 I</b>	148,5	8948,900	25252,005	0,354
<b>M C 05 I</b>	147,8	8819,600	23244,976	0,379
<b>M C 06 I</b>	118,4	10031,100	23637,836	0,424
<b>M C 07 I</b>	139,5	12430,900	26453,632	0,470
<b>M C 08 I</b>	118,4	11385,100	26816,208	0,425
<b>M C 01</b>	147,5	11920,400	21899,429	0,544
<b>M C 02</b>	142,6	9711,700	24175,638	0,402
<b>M C 03</b>	154,2	9334,400	25818,045	0,362
<b>M C 04</b>	108,5	10298,500	26076,554	0,395
<b>M C 05</b>	114,2	9857,400	23152,456	0,426
<b>M C 06</b>	127,4	11768,700	26744,188	0,440

<b>M C 07</b>	138,7	10947,100	28240,759	0,388
<b>M C 08</b>	129,4	11063,300	25643,712	0,431
<b>M C 01 S</b>	116,8	9578,900	22780,467	0,420
<b>M C 02 S</b>	145,2	9010,100	21198,113	0,425
<b>M C 03 S</b>	113,5	9474,200	22718,411	0,417
<b>M C 04 S</b>	137,4	9535,200	21408,429	0,445
<b>M C 05 S</b>	136,4	9914,400	20556,524	0,482
<b>M C 06 S</b>	124,2	10874,900	21574,096	0,504
<b>M C 07 S</b>	112,7	11047,800	20980,335	0,527
<b>M C 08 S</b>	128,7	11547,700	21296,874	0,542

**Tabla 14.** Análisis estadístico para compresión paralela en las fibras de las probetas (Autores)

<b>ENSAYO</b>	<b>DATOS ESTADÍSTICOS</b>	<b>TOTAL</b>
	PROMEDIO	0,43
<b>ESFUERZO ÚLTIMO DE</b>	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,05
<b>COMPRESIÓN (Mpa)</b>	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	12,78%
	(%)	

Estos resultados confirman que la guadua cultivada en el municipio de Miraflores presenta una resistencia mecánica competitiva, que podría ser aprovechada en el diseño de elementos estructurales sometidos a compresión paralela. La homogeneidad relativa que se evidenció respalda su uso potencial en sistemas constructivos sostenibles de bajo impacto ambiental, en particular para proyectos de vivienda rural o de interés social.

#### 4.4 Ensayo de compresión perpendicular en las fibras

Este ensayo tuvo como finalidad analizar el comportamiento de la guadua frente a cargas aplicadas transversalmente a la orientación de sus fibras, situación frecuente en zonas de contacto o apoyo, como nudos estructurales o uniones entre elementos. Se utilizaron 24 probetas, previamente acondicionadas según lo estipulado en la NTC 5525, garantizando dimensiones y geometría uniforme.

A continuación, se presenta la Tabla 15 con los valores individuales de cada muestra, incluyendo el esfuerzo admisible calculado:

**Tabla 15.** Cálculo esfuerzo último de compresión perpendicular de las probetas (Autores)

PROBETA	ESFUERZO	FUERZA (N)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO (Mpa)
	ADMISIBLE $\sigma_{admi}$			
M CP 01 I	79,652	1,211	11,666	0,103
M CP 02 I	75,013	1,1662	12,000	0,097
M CP 03 I	157,046	1,345	12,666	0,106
M CP 04 I	108,051	1,398	13,667	0,102
M CP 05 I	125,766	1,406	12,667	0,111
M CP 06 I	107,357	1,388	14,667	0,095
M CP 07 I	124,309	1,430	13,667	0,105
M CP 08 I	93,526	1,427	13,333	0,107
M CP 01 M	119,204	1,620	14,000	0,116
M CP 02 M	128,216	1,773	14,667	0,121
M CP 03 M	98,741	1,806	13,667	0,132
M CP 04 M	132,927	1,703	14,000	0,122
M CP 05 M	99,152	1,622	14,000	0,116

<b>M CP 06 M</b>	114,523	1,826	14,333	0,127
<b>M CP 07 M</b>	111,743	1,771	14,333	0,124
<b>M CP 08 M</b>	120,456	1,800	14,333	0,126
<b>M CP 01 S</b>	99,745	2,064	16,000	0,129
<b>M CP 02 S</b>	96,352	2,069	15,667	0,132
<b>M CP 03 S</b>	101,47	2,175	15,000	0,145
<b>M CP 04 S</b>	102,567	2,229	15,667	0,142
<b>M CP 05 S</b>	100,458	2,201	15,000	0,147
<b>M CP 06 S</b>	112,741	2,082	14,667	0,142
<b>M CP 07 S</b>	119,457	2,118	15,000	0,141
<b>M CP 08 S</b>	114,269	2,022	15,667	0,129

**Tabla 16.** Análisis estadístico para compresión perpendicular a las fibras de las probetas ensayadas (Autores)

<b>ENSAYO</b>	<b>DATOS ESTADÍSTICOS</b>	<b>TOTAL</b>
<b>COMPRESIÓN</b>	PROMEDIO	0,121
<b>PERPENDICULAR A LAS FIBRAS</b>	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,015
	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	12,97%
	(%)	

Los resultados evidencian una variabilidad moderada entre las muestras, lo cual es característico en materiales naturales como la guadua. El esfuerzo admisible promedio fue de 0,121 MPa, con una desviación estándar de 0,015 MPa y un coeficiente de variación del 12,97 %, lo que indica una dispersión aceptable para materiales vegetales con potencial estructural, como se muestra en la Tabla 16. Estos resultados establecen una base técnica para futuras comparaciones con otros tipos de solicitaciones, y permiten evaluar la idoneidad estructural de este material en el

contexto de viviendas de interés social (VIS), buscando un equilibrio adecuado entre resistencia mecánica y sostenibilidad del recurso.

## 5. Discusión

El estudio de propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia Kunth* cultivada en el municipio de Miraflores, Boyacá, permitió realizar una caracterización detallada de su comportamiento frente a condiciones estructurales básicas. La investigación aplicó ensayos normalizados para contenido de humedad, densidad, compresión paralela y compresión perpendicular en las fibras, con base en la NTC 5525. El objetivo principal de este capítulo es analizar los resultados obtenidos y establecer un criterio técnico comparativo con los valores de referencia definidos en el Título G.12 de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), que rige el uso estructural de la guadua en Colombia. A partir de los datos recolectados, se busca valorar el desempeño físico-mecánico del material en condiciones verdes y evaluar su viabilidad para su inclusión en proyectos de viviendas de interés social (VIS), identificando además oportunidades de mejora para su aprovechamiento local.

### 5.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad promedio de las 24 probetas evaluadas en estado verde fue de 112,52%, con desviación estándar de 31,28 y coeficiente de variación del 28%. Este valor elevado es consistente con las condiciones climáticas de la región y con la fase de crecimiento activo del culmo, en la cual la *Guadua angustifolia Kunth* presenta una alta acumulación de agua en sus tejidos.

De acuerdo con la NTC 5525, el contenido de humedad es un parámetro crítico que influye directamente en las propiedades físico–mecánicas del material, afectando su resistencia, rigidez y estabilidad dimensional. Valores superiores al 100% indican la presencia de agua libre, lo que reduce la cohesión entre fibras celulares y disminuye significativamente la capacidad del material

para soportar cargas de compresión y flexión. Por ello, se implementó un secado natural durante aproximadamente dos meses antes de la ejecución de los ensayos mecánicos, con el objetivo de estabilizar las muestras y obtener resultados más representativos.

Este resultado subraya la necesidad de establecer protocolos técnicos de secado controlado que garanticen niveles adecuados de humedad para uso estructural. Asimismo, la elección del momento de corte resulta un factor determinante en la calidad del material, por lo que se recomienda realizarla en época seca y durante fase lunar menguante, según lo planteado por Trujillo (2010) y Castaño & Cardona (2009), para reducir el contenido de savia y optimizar sus propiedades mecánicas.

## 5.2 Densidad

El promedio de densidad obtenido fue de  $1522,89 \text{ kg/m}^3$ , con una desviación estándar de  $245,94$  y coeficiente de variación del  $16,5\%$ . Este valor corresponde a la densidad en estado verde, ya que las muestras fueron evaluadas 25 días después del corte y es sustancialmente mayor a los rangos reportados para guadua seca del Eje Cafetero, que oscilan entre  $600$  y  $900 \text{ kg/m}^3$  (Londoño & Camayo, 2014). La alta densidad en estado verde se explica principalmente por el contenido elevado de humedad registrado en las muestras de Miraflores.

Aunque la densidad verde no se puede comparar directamente con la densidad seca requerida para diseño estructural, permite hacer inferencias preliminares sobre la calidad anatómica del material. Sin embargo, al corregirla por el contenido de humedad, se prevé que la densidad básica seca sea inferior a los valores característicos establecidos para guadua certificada del Eje Cafetero, que según la NSR-10 se ubican aproximadamente entre  $700$  y  $800 \text{ kg/m}^3$ . Esta

diferencia sugiere que la guadua de Miraflores podría presentar menor proporción de fibras lignificadas o menor grado de maduración, afectando su resistencia mecánica final.

Es importante destacar que la densidad es una propiedad clave en el diseño estructural, ya que influye tanto en el peso propio de los elementos como en su capacidad para resistir cargas. Por esto, resulta fundamental establecer protocolos de secado controlado que permitan evaluar la densidad seca con mayor precisión y definir su viabilidad estructural. Además, se recomienda implementar prácticas de manejo silvicultural sostenible, con selección adecuada de culmos por edad y características anatómicas, para mejorar la calidad del material disponible en la región y posibilitar su eventual aprovechamiento estructural.

### **5.3 Resistencia a compresión paralela en las fibras**

El ensayo compresión paralela, realizado tras el secado natural de las muestras, arrojó un valor promedio de 0,43 MPa, con desviación estándar de 0,05 y coeficiente de variación del 12,78%. Este resultado es drásticamente inferior al valor característico mínimo de 21 MPa establecido en el Título G.12 de la NSR-10 para guadua estructural certificada del Eje Cafetero (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010). Dicho valor normativo es el requisito mínimo para el diseño estructural con guadua en Colombia, obtenido en condiciones controladas, con culmos seleccionados, edad óptima de cosecha y contenido de humedad estabilizado alrededor del 12-15%.

La diferencia tan marcada entre los resultados locales y el valor normativo sugiere limitaciones técnicas importantes del material recolectado en Miraflores, posiblemente asociadas a prácticas silviculturales inadecuadas, selección de culmos inmaduros, contenido de humedad excesivo y secado insuficiente. Además, pueden influir factores anatómicos como menor densidad

aparente seca, distribución desigual de fibras endurecidas o la presencia de defectos internos en los entrenudos.

La resistencia a compresión paralela es una propiedad crítica para el diseño de columnas, postes y elementos verticales en estructuras de guadua, ya que define la capacidad portante del sistema. Los valores tan bajos encontrados en este estudio limitan severamente su uso como elemento estructural principal en viviendas de interés social (VIS) bajo condiciones actuales. No obstante, pueden considerarse alternativas para su aprovechamiento en aplicaciones no portantes o auxiliares, como divisiones interiores, elementos decorativos o componentes arquitectónicos secundarios, siempre que se implementen tratamientos preservativos y procesos de clasificación rigurosos. Adicionalmente, se sugiere el desarrollo de protocolos de mejora que incluyan selección silvicultural adecuada, prácticas de secado controlado y tratamientos técnicos que permitan optimizar la calidad mecánica del material disponible en la región.

#### **5.4 Compresión perpendicular a las fibras**

La resistencia a compresión perpendicular fue de 0,121 MPa, con una desviación estándar de 0,015 y un coeficiente de variación del 12,97%. Es importante señalar que la NSR-10 no establece un valor característico normativo específico para esta propiedad en guadua. No obstante, estudios experimentales en Colombia han reportado valores de referencia superiores a 0.3 MPa en materiales bien seleccionados y tratados (Vargas & Gómez, 2016).

Este ensayo resulta especialmente relevante en el diseño de uniones y apoyos, donde las cargas se transmiten transversalmente al eje de las fibras. La baja resistencia observada en el material de Miraflores sugiere limitaciones significativas para aplicaciones estructurales que involucren conexiones directas, debido al riesgo de deformación localizada o aplastamiento. Por

esto, se recomienda condicionar su uso a diseños que incorporen refuerzos específicos, como placas de repartición de cargas o uniones metálicas que permitan una mejor distribución de los esfuerzos aplicados, además de implementar prácticas de selección y tratamiento del material que contribuyan a mejorar esta propiedad.

### **5.5 Implicaciones para Viviendas de Interés Social (VIS)**

El análisis integrado de los ensayos realizados evidencia que la guadua proveniente de Miraflores, bajo las condiciones actuales de manejo y procesamiento, no satisface los requisitos mínimos establecidos en la NSR-10 para su uso como elemento estructural principal en Viviendas de Interés Social (VIS). Específicamente, la resistencia a compresión paralela obtenida (0,43 MPa) se encuentra muy por debajo del valor característico de 21 MPa definido para diseño estructural con guadua certificada del Eje Cafetero. Asimismo, la densidad básica proyectada, una vez corregida por contenido de humedad, se prevé inferior al rango normativo de aproximadamente 1700–1800 kg/m<sup>3</sup>, lo cual limita su capacidad de carga y desempeño estructural esperado.

Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar estrategias técnicas y de manejo forestal más rigurosas en la región. Entre las principales recomendaciones se incluyen: el desarrollo de planes de manejo silvicultural sostenible, la selección de culmos con edad y madurez óptimas, la adopción de protocolos de secado controlado que permitan reducir el contenido de humedad a niveles apropiados para uso estructural, así como la aplicación de tratamientos preservativos especializados que prolonguen la durabilidad del material y mejoren sus propiedades mecánicas.

No obstante, estas limitaciones para usos estructurales primarios, la guadua de Miraflores puede desempeñar un papel significativo en sistemas constructivos mixtos o híbridos, en aplicaciones no

portantes tales como divisiones interiores, cerramientos, cubiertas ligeras o mobiliario. Estas alternativas permiten aprovechar su disponibilidad local, bajo impacto ambiental y aporte potencial a la construcción sostenible, siempre que se garantice una selección y procesamiento técnicamente fundamentados.

Finalmente, resulta indispensable fomentar investigaciones complementarias y ensayos normalizados en estado seco que permitan validar estas propuestas, generar bases de datos regionales específicas y establecer lineamientos técnicos que faciliten la inclusión segura y responsable de la guadua de Miraflores en proyectos de vivienda de interés social en el futuro.

## 6. Conclusiones

El presente trabajo de grado constituye un aporte académico preliminar al conocimiento sobre las propiedades físico-mecánicas de la *Guadua angustifolia Kunth* cultivada en el municipio de Miraflores, Boyacá. A través de la aplicación de metodologías normalizadas y un enfoque experimental riguroso, se recopilaron datos relevantes que permiten evaluar su potencial uso en proyectos de Vivienda de Interés Social (VIS). Es importante enfatizar que los resultados aquí presentados tienen fines exclusivamente formativos y no constituyen una base suficiente ni válida para aplicaciones directas en diseños estructurales reales o trámites de licenciamiento. Cualquier uso práctico deberá contar con estudios complementarios y la aprobación de especialistas en la materia, conforme a la normativa técnica y legal vigente.

A continuación, se presentan las conclusiones específicas vinculadas directamente con cada uno de los objetivos planteados:

1. Determinar el contenido de humedad y la densidad básica de las muestras de *Guadua angustifolia Kunth* provenientes de Miraflores: El contenido de humedad promedio fue de 112.52%, valor considerablemente superior al rango recomendado (20-30%) para uso estructural según experiencias previas y normativas. Esto incrementa la susceptibilidad a deformaciones y ataques biológicos, reduciendo la vida útil del material. La densidad básica promedio obtenida fue de  $1522.89 \text{ kg/cm}^3$  (aprox.  $1.52 \text{ g/cm}^3$ ), inferior al rango característico reportado para *Guadua* del Eje Cafetero certificada en la NSR-10 (alrededor de  $1.7\text{-}1.8 \text{ g/cm}^3$ ). Esta diferencia implica menor contenido de fibras lignificadas y, por tanto, menor capacidad de carga estructural.

2. Analizar el comportamiento de la *Guadua* frente a esfuerzos de compresión paralelos perpendiculares en las fibras mediante ensayos de laboratorio: En los ensayos de compresión paralela, se obtuvo una resistencia promedio de 0.49 MPa, y en compresión perpendicular de 0.121

MPa, valores muy inferiores a los rangos de referencia establecidos en la NSR-10 para guadua estructural del Eje Cafetero (entre 40 y 60 MPa en compresión paralela). Esta diferencia significativa confirma limitaciones técnicas para su uso como elemento portante principal en sistemas estructurales, indicando la necesidad de restricciones de diseño o uso alternativo.

3. Comparar los resultados obtenidos con los valores de referencia establecidos en la NSR-10 para la guadua del Eje Cafetero: El análisis comparativo mostró diferencias sustanciales en todos los parámetros evaluados frente a los valores normativos. Tanto el contenido de humedad excesivo como la densidad reducida y las bajas resistencias a compresión hacen que la guadua de Miraflores no cumpla con los estándares mínimos requeridos en la NSR-10 para su uso estructural en VIS. Esta situación resalta la importancia de realizar caracterizaciones regionales específicas y evitar la extrapolación indiscriminada de valores normativos provenientes de otras zonas productoras.

4. Evaluar la factibilidad técnica de emplear guadua cultivada en Miraflores como alternativa sostenible en la construcción de Viviendas de Interés Social: Con base en los resultados obtenidos y su comparación con la normativa vigente, se concluye que la guadua de Miraflores no es viable como elemento estructural principal en VIS bajo las condiciones actuales. No obstante, su uso podría explorarse en componentes secundarios o no portantes (divisiones, acabados, mobiliario) o en sistemas constructivos mixtos que consideren sus propiedades específicas y su disponibilidad local. Se recomienda implementar prácticas de manejo silvicultural más rigurosas, procesos de secado y preservación controlados y una selección estricta del material para mejorar sus características estructurales y fomentar su aprovechamiento sostenible y responsable.

Adicionalmente, se identificó que la edad del material empleado (2 a 3 años) no corresponde con el rango recomendado por la NSR-10 para guadua de uso estructural (4 a 6 años).

La madurez de la guadua incide directamente en el desarrollo de su resistencia, contenido de lignina y estabilidad dimensional. Por tanto, es esencial que futuros estudios controlen esta variable, considerando exclusivamente muestras dentro del rango normativo. Así mismo, se resalta la necesidad de mejorar el proceso de secado posterior al corte, ya que este influye significativamente en la resistencia mecánica, la durabilidad y la prevención de defectos como fisuras o ataques biológicos. Un secado técnico, natural o artificial, pero adecuadamente controlado, podría optimizar el desempeño del material en aplicaciones estructurales.

Para concluir, este estudio representa un primer paso en la caracterización técnica de la *Guadua angustifolia Kunth* cultivada en Miraflores, Boyacá. Si bien los resultados obtenidos limitan su uso estructural principal bajo las condiciones actuales, la investigación evidencia el potencial de este recurso como material local sostenible para usos secundarios o mixtos. Asimismo, se destaca la importancia de continuar con estudios complementarios que incluyan mejoras en prácticas silviculturales, tratamientos técnicos y validaciones normativas, con el objetivo de promover un aprovechamiento responsable y seguro de este material en el sector de la construcción.

### Referencias

- Arango, J. (2009). *Estructura anatómica de la guadua y su influencia en el comportamiento estructural*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Arango, J. D. (2015). *Propiedades físicas y mecánicas de la guadua y su aplicación en la construcción sostenible*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2010). *Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente NSR-10. Título G - Estructuras de madera y estructuras de guadua*. Bogotá D.C.
- Bedoya, H. (2017). *Evaluación de la resistencia mecánica de la Guadua angustifolia Kunth en distintas zonas geográficas*. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- Betancur, J., & Ceballos, A. (2012). *Guadua: Estructura, manejo y usos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Castaño, D. (2015). *Manual técnico para la preservación y secado de la guadua*. Corporación Autónoma Regional del Quindío.
- Castaño, D. (2018). *Guía práctica para el control de humedad en bambúes estructurales*. Universidad del Quindío.
- Castaño, J., & Cardona, D. (2009). *Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth para su aplicación en elementos estructurales*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Castro, J. (2016). *Propiedades mecánicas de la Guadua angustifolia en función del tratamiento y el secado*. Universidad del Valle.
- Congreso de Colombia. (1997). *Ley 400 de 1997: Por la cual se adoptan normas sobre construcciones sísmo resistentes*. Diario Oficial No. 43.109.

- Correal, J. (2009). *Caracterización físico-mecánica de la Guadua angustifolia Kunth para usos estructurales*. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes.
- Correal, J. F., & Arbeláez, J. M. (2010). Influence of age and height position on Colombian *Guadua angustifolia* bamboo mechanical properties. *Maderas. Ciencia y Tecnología.*, 105-113.
- FAO. (2010). *Silvicultura sostenible: Conceptos y principios*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de <https://www.fao.org/>
- Fernández, N. V. (2020). *Certificación de plantaciones y cadena de custodia de bambú gigante y caña guadúa bajo criterios FSC*. Universidad Técnica del Norte.
- Garzón, A. F. (2016). *Caracterización físico - mecánica de la guadua en el municipio de Guadua, Cundinamarca* . Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Giraldo, F. A. (2018). Evaluación de la calidad estructural de la *Guadua angustifolia* en distintas regiones de Colombia. *Revista Ingeniería y Región*, 55-64.
- Gómez, J. (2015). *Evaluación de la densidad y resistencia de especies nativas para uso estructural*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Gómez, L. (2020). *Métodos de caracterización de materiales naturales para la ingeniería civil*. Editorial Ecoe.
- González , W. (2016). *Ensayos para determinar y comparar las propiedades físico \* mecánicas de la guadua angustifolia de Pacho Cundinamarca frente a la de Sylvania Cundinamarca*. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada.
- González, C. (2018). Guadua y construcción sostenible en Colombia: oportunidades y desafíos. *Revista de Ingeniería y Territorio*, 45-59.

- González, C., & Takeuchi, C. (2007). Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la *Guadua angustifolia* y determinación del módulo de elasticidad. *Ingeniería y Universidad*, 1(11), 89-103.
- ICONTEC. (2007). *NTC 5525. Métodos de ensayo para determinar propiedades físicas y mecánicas de la guadua*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- ICONTEC. (2007). *NTC 5525: Guadua angustifolia – Métodos de ensayo*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- ICONTEC. (2007). *NTC 5525: Materiales de construcción - Guadua - Métodos de ensayo físico y mecánico*.
- ICONTEC. (2010). *NSR-10: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Título G - Construcciones con Guadua*.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. (2007). *Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth (NTC 5525)*. Bogotá, D.C.: ICONTEC.
- International Organization for Standardization (ISO). (2019). *ISO 22157-1: Bamboo - Determination of physical and mechanical properties - Part 1: Requirements*. Geneva: ISO.
- Jimenez, P. (2016). *La guadua como alternativa estructural para vivienda social rural*. Universidad de La Salle.
- Junta del Acuerdo de Cartagena JUNAC. (1989). *Manual del Grupo Andino para el secado de maderas*. Colombia: Carvajal S.A.
- Lancheros, E. (2016). *Evaluación estructural de Guadua angustifolia Kunth cultivada fuera del Eje Cafetero*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.

Ley 388 de 1997. (s.f.). *Por la cual se modifica la Ley 9.<sup>a</sup> de 1989 y la Ley 3.<sup>a</sup> de 1991, y se dictan otras disposiciones.* Diario Oficial No. 43.091.

Londoño, E., & Camayo, J. (2014). Caracterización físico–mecánica de la *Guadua angustifolia* Kunth cultivada en el Eje Cafetero. *Revista Ingeniería y Región*, págs. 45-53.

Londoño, X. (1998). *La guadua en Colombia: ecología, manejo y uso sostenible.* Fondo FEN Colombia.

López, J. (2015). Potencial estructural de la guadua en proyectos de infraestructura sostenible. *Revista Estructuras*, 30-39.

López, L., & Correal, J. (2009). *Manual de diseño para estructuras de guadua.* Universidad de los Andes.

Luna, P., Granados, G., Takeuchi, C., & Lamus, F. (Junio de 2011). Metodología de diseño de estructuras en *Guadua angustifolia* como material estructural por el método de esfuerzos admisibles. *Educación en Ingeniería*, 66-75.

Luna, P., Lozano, J., & Takeuchi, C. (2014). Determinación experimental de valores característicos de resistencia para Guagua angustifolia. *Maderas. Ciencia y tecnología.*

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2011). *Los materiales de construcción de vivienda de interés social.* Bogotá D.C.: El Ministerio.

Ministerio de Medio Ambiente. (1993). *Ley 99 de 1993: Por lo cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales.*


Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente - NSR-10.* Decreto 926 de 2010.

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR-10. Título G.*
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2012). Lineamientos de política pública para la vivienda de interés social en Colombia.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2014). *robabilidad y estadística aplicada a la ingeniería.* McGraw-Hill.
- Montoya , E. (2019). *Análisis del ciclo de vida de materiales de construcción alternativos: el caso de la guadua.* Universidad Nacional de Colombia.
- Narvaéz Estefan, S. (2016). *Caracterización de las propiedades físico - mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth del municipio de Oiba, Santander.* Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59719>
- Presidencia de la República. (2015). *Decreto 1077 de 2015: Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.*
- Ramírez, C. A. (2012). Variación longitudinal de propiedades físico - mecánica en culmos de *Guadua angustifolia.* *Revista Colombiana de Materiales*, 45-52.
- Ramírez, S. (2020). Densidad básica y comportamiento mecánico de la guadua en distintas edades. *Revista Ingeniería y Desarrollo*, 25-41.
- Rincón, H. (2020). Potencial estructural de la guadua en regiones emergentes: una revisión técnica y normativa. *Revista de Ingeniería y Territorio*, 45-60.
- Sánchez Escobar, L. C. (2018). *Caracterización de las propiedades físico - mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth del municipio de Socorro, Santander.* Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69554>


- Sánchez, P. A. (2020). Bioconstrucción a detalle: una experiencia compartida. *Revista Gremium*, 185-188.
- Takeuchi, C. (2014). *Guadua: Propiedades y aplicaciones estructurales*. Universidad del Valle.
- Takeuchi, C. P. (2014). *Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Trujillo, D. (2010). *Structural behaviour of Guadua angustifolia—A modern approach to the mechanical characterization of bamboo*. PhD thesis, University of Bath.
- Valencia, R. (2021). *Construcción sostenible y materiales renovables: Evaluación técnica y ambiental*. Instituto Colombiano de Vivienda.
- Vargas, L., & Gómez, M. (2016). Evaluación de esfuerzos en conexiones de guadua mediante ensayos de compresión perpendicular a la fibra. *Revista Ingeniería*, págs. 93-102.

Apéndices


Apéndice A. Información recopilada en el ensayo de contenido de humedad

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS								CH %
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL								
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICA DE LA GUADUA (MIRAFLORES)								
ENSAYO: CONTENIDO DE HUMEDAD NTC 5525								
PROBETA	PESO INICIAL	24H	26HORAS	28HORAS	30HORAS	32HORAS	CH %	
M CH 01 I	144,6	62,3	62,2	62,1	62,0	62,0	133,23	
M CH 02 I	153,5	65,9	66,0	65,9	65,8	65,8	133,28	
M CH 03 I	117,2	50,9	50,9	50,8	50,8	50,7	131,16	
M CH 04 I	63,5	29,0	28,9	28,8	28,8	28,8	120,49	
M CH 05 I	44,6	18,7	18,6	18,6	18,6	18,6	139,78	
M CH 06 I	87,9	54,8	54,7	54,7	54,7	54,7	60,69	
M CH 07 I	108,4	58,7	58,6	58,5	58,5	58,5	85,30	
M CH 08 I	115,8	62,5	62,3	62,2	62,2	62,2	86,17	
M CH 01 M	250,2	132,7	87,6	87,3	87,1	87,1	187,26	
M CH 02 M	348,3	151,6	151,7	151,5	151,3	151,2	130,36	
M CH 03 M	669,2	330,8	329,3	327,5	326,2	326,1	105,21	
M CH 04 M	210,6	108,4	108,5	108,3	108,2	108,1	94,82	
M CH 05 M	293,8	147,8	147,5	147,5	147,5	147,5	99,19	
M CH 06 M	450,2	234,2	234,1	239,9	239,9	239,9	87,66	
M CH 07 M	620,2	217,6	217,5	217,5	217,5	217,5	185,15	
M CH 08 M	536,7	335,1	334,7	334,7	334,7	334,7	60,35	
M CH 01 S	123,8	54,6	54,7	54,6	54,5	54,5	127,16	
M CH 02 S	330,7	146,9	147,0	146,8	146,7	146,6	125,58	
M CH 03 S	226,5	104,0	104,2	104,0	103,9	103,9	118,00	
M CH 04 S	334,3	151,4	151,6	151,4	151,3	151,2	121,10	
M CH 05 S	225,8	113,9	113,5	113,5	113,5	113,5	98,94	
M CH 06 S	349,7	178,5	178,3	178,3	178,3	178,3	96,13	
M CH 07 S	297,4	157,5	157,5	157,3	157,3	157,3	89,07	
M CH 08 S	376,8	204,5	204,4	204,3	204,3	204,3	84,43	


**Apéndice B. Información recopilada en el ensayo de densidad**

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS													
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL													
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICA DE LA GUADUA (MIRAFLORES)													
ENSAYO: DENSIDAD NTC 5525													
PROBETA	DIÁMETRO EXTERIOR (cm)			DIÁMETRO INTERIOR (cm)			LONGITUD (cm)			ESPESOR (cm)			PESO (g)
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	L1	L2	L3	E1	E2	E3	
MD 01 I	9,5	9,5	9,5	8,4	8,4	8,3	19	19,2	19,1	1,1	1,1	1,2	127,5
MD 02 I	9,5	9,4	9,6	8,3	8,3	8,5	20	20,1	19,8	1,2	1,1	1,1	115,7
MD 03 I	10	9,8	9,9	8,6	8,4	8,5	19,8	19,9	19,8	1,4	1,4	1,4	136,7
MD 04 I	10,5	10	10,3	9	8,7	8,9	20	19,8	19,9	1,5	1,3	1,4	148,5
MD 05 I	9,8	10	9,8	8,6	8,6	8,5	19,5	19,5	19,5	1,2	1,4	1,3	147,8
MD 06 I	9,9	10	10	8,5	8,8	8,8	20,4	20,2	20,5	1,4	1,2	1,2	118,4
MD 07 I	10,5	10,4	10,4	9,1	8,6	8,7	19,5	19,5	19,7	1,4	1,8	1,7	139,5
MD 08 I	10,7	10,5	10,4	9	9,1	8,8	20,3	20,2	20,5	1,7	1,4	1,6	118,4
MD 01 M	9,5	9,5	9,5	8	8,0	8,1	20,5	20,4	20,5	1,5	1,5	1,4	147,5
MD 02 M	9,9	9,9	9,9	8,2	8,2	8	19,6	19,6	19,5	1,7	1,7	1,9	142,6
MD 03 M	10,5	10,2	10,2	8,7	8,7	8,6	20,7	20,5	20,6	1,8	1,5	1,6	154,2
MD 04 M	10,5	10,3	10,3	8,9	8,8	8,6	20	19,9	20	1,6	1,5	1,7	108,5
MD 05 M	10	9,8	9,7	8,6	8,5	8,4	19,9	19,5	19,8	1,4	1,3	1,3	114,2
MD 06 M	10,5	10,3	10,5	9	8,5	8,4	19,5	20,3	20,2	1,5	1,8	2,1	127,4
MD 07 M	10,8	10,8	10,8	9,2	9,1	9,2	20,3	20,4	20,4	1,6	1,7	1,6	138,7
MD 08 M	10,3	10,3	10,3	8,6	8,8	8,9	20,3	20,3	20,3	1,7	1,5	1,4	129,4
MD 01 S	9,7	9,7	9,7	8,1	8,3	8,3	20,5	20,5	20,4	1,6	1,4	1,4	116,8
MD 02 S	9,4	9,4	9,4	8	8,1	8,2	19,7	19,7	19,6	1,4	1,3	1,2	145,2
MD 03 S	9,8	9,8	9,8	8,7	8,6	8,6	19,9	19,9	20	1,1	1,2	1,2	113,5
MD 04 S	9,5	9,5	9,5	8,4	8,3	8,3	20,2	20,1	20,2	1,1	1,2	1,2	137,4
MD 05 S	9,3	9,3	9,3	8,1	8,1	8,2	19,8	19,6	19,8	1,2	1,2	1,1	136,4
MD 06 S	9,5	9,5	9,5	8,2	8,2	8,3	19,7	19,9	19,8	1,3	1,3	1,2	124,2
MD 07 S	9,4	9,4	9,4	8,2	8,2	8,3	20,2	20,3	20,2	1,2	1,2	1,1	112,7
MD 08 S	9,5	9,5	9,5	8,4	8,4	8,4	19,8	19,8	19,9	1,1	1,1	1,1	128,7

**Apéndice C. Información recopilada en el ensayo de compresión paralela a las fibras**

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS														
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL														
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICA DE LA GUADUA (MIRAFLORES)														
ENSAYO: COMPRESIÓN PARALELA NTC 5525														
PROBETA	DIÁMETRO EXTERIOR (cm)			DIÁMETRO INTERIOR (cm)			LONGITUD (cm)			ESPESOR (cm)			PESO (g)	CARGA DE FALLA DE LA PROBETA Fult (KN)
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	L1	L2	L3	E1	E2	E3		
M C 01 I	9,5	9,5	9,5	8,4	8,4	8,3	19	19,2	19,1	1,1	1,1	1,2	127,5	75,614
M C 02 I	9,5	9,4	9,6	8,3	8,3	8,5	20	20,1	19,8	1,2	1,1	1,1	115,7	85,981
M C 03 I	10	9,8	9,9	8,6	8,4	8,5	19,8	19,9	19,8	1,4	1,4	1,4	136,7	93,003
M C 04 I	10,5	10	10,3	9	8,7	8,9	20	19,8	19,9	1,5	1,3	1,4	148,5	89,489
M C 05 I	9,8	10	9,8	8,6	8,6	8,5	19,5	19,5	19,5	1,2	1,4	1,3	147,8	88,196
M C 06 I	9,9	10	10	8,5	8,8	8,8	20,4	20,2	20,5	1,4	1,2	1,2	118,4	100,311
M C 07 I	10,5	10,4	10,4	9,1	8,6	8,7	19,5	19,5	19,7	1,4	1,8	1,7	139,5	124,309
M C 08 I	10,7	10,5	10,4	9	9,1	8,8	20,3	20,2	20,5	1,7	1,4	1,6	118,4	113,851
M C 01 M	9,5	9,5	9,5	8	8,0	8,1	20,5	20,4	20,5	1,5	1,5	1,4	147,5	119,204
M C 02 M	9,9	9,9	9,9	8,2	8,2	8	19,6	19,6	19,5	1,7	1,7	1,9	142,6	97,117
M C 03 M	10,5	10,2	10,2	8,7	8,7	8,6	20,7	20,5	20,6	1,8	1,5	1,6	154,2	93,344
M C 04 M	10,5	10,3	10,3	8,9	8,8	8,6	20	19,9	20	1,6	1,5	1,7	108,5	102,985
M C 05 M	10	9,8	9,7	8,6	8,5	8,4	19,9	19,5	19,8	1,4	1,3	1,3	114,2	98,574
M C 06 M	10,5	10,3	10,5	9	8,5	8,4	19,5	20,3	20,2	1,5	1,8	2,1	127,4	117,687
M C 07 M	10,8	10,8	10,8	9,2	9,1	9,2	20,3	20,4	20,4	1,6	1,7	1,6	138,7	109,471
M C 08 M	10,3	10,3	10,3	8,6	8,8	8,9	20,3	20,3	20,3	1,7	1,5	1,4	129,4	110,633
M C 01 S	9,7	9,7	9,7	8,1	8,3	8,3	20,5	20,5	20,4	1,6	1,4	1,4	116,8	95,789
M C 02 S	9,4	9,4	9,4	8	8,1	8,2	19,7	19,7	19,6	1,4	1,3	1,2	145,2	90,101
M C 03 S	9,8	9,8	9,8	8,7	8,6	8,6	19,9	19,9	20	1,1	1,2	1,2	113,5	94,742
M C 04 S	9,5	9,5	9,5	8,4	8,3	8,3	20,2	20,1	20,2	1,1	1,2	1,2	137,4	95,352
M C 05 S	9,3	9,3	9,3	8,1	8,1	8,2	19,8	19,6	19,8	1,2	1,2	1,1	136,4	99,144
M C 06 S	9,5	9,5	9,5	8,2	8,2	8,3	19,7	19,9	19,8	1,3	1,3	1,2	124,2	108,749
M C 07 S	9,4	9,4	9,4	8,2	8,2	8,3	20,2	20,3	20,2	1,2	1,2	1,1	112,7	110,478
M C 08 S	9,5	9,5	9,5	8,4	8,4	8,4	19,8	19,8	19,9	1,1	1,1	1,1	128,7	115,477

**Apéndice D. Información recopilada en el ensayo de compresión perpendicular a las fibras**

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS														
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL														
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICA DE LA GUADUA (MIRAFLORES)														
ENSAYO: COMPRESIÓN PERPENDICULAR NTC 5525														
PROBETA	DIÁMETRO EXTERIOR (cm)			DIÁMETRO INTERIOR (cm)			LONGITUD (cm)			ESPESOR (cm)			PESO (g)	ESFUERZO ADMISIBLE $\sigma_{adm}$
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	L1	L2	L3	E1	E2	E3		
M CP 01 I	10,3	10,3	9,8	9,1	9,2	8,6	19,4	19,2	19,1	1,2	1,1	1,2	123,5	79,652
M CP 02 I	9,7	9,5	9,6	8,4	8,3	8,5	20,3	20,1	19,9	1,3	1,2	1,1	118,9	75,013
M CP 03 I	10,2	9,8	10,1	8,9	8,6	8,8	20	19,9	19,8	1,3	1,2	1,3	137,2	157,046
M CP 04 I	10,8	10,5	10,3	9,3	9,2	9	20,3	19,8	19,9	1,5	1,3	1,3	142,5	108,051
M CP 05 I	9,7	9,8	9,8	8,5	8,4	8,6	19,7	19,5	19,5	1,2	1,4	1,2	143,3	125,766
M CP 06 I	10,2	10,1	10	8,8	8,9	8,9	20,3	20,2	20,5	1,4	1,2	1,1	114,2	107,357
M CP 07 I	10,3	10,4	10,4	9	9,0	8,9	19,8	19,4	19,7	1,3	1,4	1,5	137,5	124,309
M CP 08 I	10,2	10,5	10,4	8,7	9,1	8,8	20,5	20,4	20,5	1,5	1,4	1,6	121,2	93,526
M CP 01 M	9,8	9,7	9,7	8,3	8,2	8,3	20,3	20,4	20,5	1,5	1,5	1,4	145,6	119,204
M CP 02 M	10,2	10,1	9,9	8,7	8,5	8,4	19,8	19,6	19,5	1,5	1,6	1,5	140,5	128,216
M CP 03 M	10,2	10,2	10,2	8,6	8,7	8,6	20,2	20,5	20,6	1,6	1,5	1,6	150,2	98,741
M CP 04 M	9,9	10,1	10,3	8,4	8,6	8,7	20,5	19,9	20	1,5	1,5	1,6	116,5	132,927
M CP 05 M	10,2	9,8	9,9	8,8	8,5	8,5	20,1	19,5	19,9	1,4	1,3	1,4	119,5	99,152
M CP 06 M	10,2	10,3	10,4	8,7	8,7	9	19,9	20,3	20,2	1,5	1,6	1,4	124,7	114,523
M CP 07 M	10,4	10,5	10,5	8,8	8,8	8,9	20,2	20,4	20,4	1,6	1,7	1,6	135,6	111,743
M CP 08 M	10,3	10,3	10,3	8,8	8,8	8,9	20,7	20,3	20,3	1,5	1,5	1,4	130,2	120,456
M CP 01 S	9,8	9,6	9,7	8,4	8,2	8,3	20,1	20,3	20,4	1,4	1,4	1,4	117,4	99,745
M CP 02 S	9,3	9,3	9,4	8,1	8,0	8,2	19,8	19,8	19,6	1,2	1,3	1,2	141,7	96,352
M CP 03 S	9,6	9,5	9,8	8,3	8,1	8,5	20,1	19,9	20,3	1,3	1,4	1,3	114,8	101,47
M CP 04 S	9,8	9,9	9,7	8,5	8,8	8,4	19,9	20,1	20,2	1,3	1,1	1,3	134,2	102,567
M CP 05 S	9,9	10,2	10,2	8,8	9,0	9,1	20,2	19,9	19,8	1,1	1,2	1,1	130,4	100,458
M CP 06 S	10,5	10,4	9,9	9,3	9,1	8,7	19,8	19,9	19,8	1,2	1,3	1,2	126,4	112,741
M CP 07 S	9,8	9,7	9,8	8,7	8,5	8,6	20,3	20,5	20,2	1,1	1,2	1,2	117,9	119,457
M CP 08 S	10,5	10,4	10,4	9,3	9,3	9,3	20,2	19,8	19,9	1,2	1,1	1,1	125,2	114,269