

ESFUERZO DE FLEXIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA *Guadua angustifolia* Kunth PROCEDENTE DEL MUNICIPIO DE PITALITO, HUILA

JESUS DAVID OSORIO URBANO  
EDUARD HERNAN SAPUYES MUÑOZ

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
PITALITO  
2017

ESFUERZO DE FLEXIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA *Guadua angustifolia* Kunth PROCEDENTE DEL MUNICIPIO DE PITALITO, HUILA

JESUS DAVID OSORIO URBANO  
EDUARD HERNAN SAPUYES MUÑOZ

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

Directores:  
M.Sc MAURICIO DUARTE TORO  
PhD. CAORI PATRICIA TAKEUCHI

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
PITALITO  
2017

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

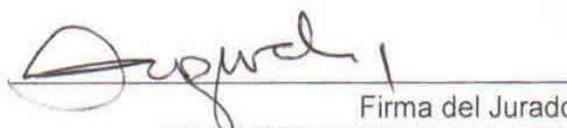
---



Firma del Director  
**MAURICIO DUARTE TORO**  
Magister en ingeniería civil



Firma del Jurado  
**ALVARO LOZANO OSORIO**  
Especialista en administración de obras



Firma del Jurado  
**EMILIO OROZCO CHAVARRO**  
Magister en educación

Pitalito, junio de 2017.

## DEDICATORIAS

*Dedico esta tesis a Dios y a mis padres Gerardo Sapuyes Ortiz y Nury Socorro Muñoz Gómez, a mi hermano Alex Fernando Sapuyes Muñoz, a mi gran amor Angélica Álvarez Ruiz, a mi hijo Marlon Stiven Sapuyes Álvarez quienes han estado a mi lado todo este tiempo apoyándome, a mis amigos quienes me han apoyado y a todos los que me prestaron ayuda, a todos ellos dedico esta tesis con cariño y un muy grande agradecimiento.*

*Eduard Hernán Sapuyes Muñoz.*

*Dedico este trabajo a Dios, a mis padres Nohora Denis Urbano Martinez y Eudimer de Jesus Osorio Rodriguez, mis hermanas Lina Maria y Olga Marcela, mi sobrina Maria Salome, mi novia Ingrid Tatiana Naveros, a todos mis familiares y amigos quienes con su apoyo y amor han sido muy importantes e incondicionales en mi crecimiento como persona y profesional, brindándome incondicionalmente su esfuerzo y colaboración para la realización de este proyecto.*

*Jesus David Osorio Urbano.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Nos gustaría que estas líneas sirvieran para expresar nuestro más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial MSc Wilson Javier Erazo Espinosa, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de este proyecto.

Nuestras familias por su compañía, comprensión, paciencia y apoyo económico y emocional.

Los directores del proyecto Caori Patricia Takeuchi T. y Mauricio Duarte Toro, quienes por su orientación, conocimientos, compromiso y comprensión, logramos sacar adelante este proyecto.

Especial reconocimiento merece el interés mostrado por nuestro trabajo y las sugerencias recibidas del Ing. Rensó Alfredo Aragón, con quien nos encontramos en deuda por el ánimo infundido y la confianza en nosotros depositada.

También nos gustaría agradecer la ayuda recibida de nuestros amigos y compañeros de estudio Jheffersson Gasca Gomez, Luis James Rojas, Michael Rivera, Juan Silva, Oscar Vargas y Miguel Salamanca

A la laboratorista Arq. Diana Carolina Valle Ovalle, por su colaboración durante los ensayos.

La Ing. Guisela Alexandra Lopez Rodriguez, por todas sus asesorías, dedicación y cooperación.

## CONTENIDO

RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
JUSTIFICACIÓN	
	Pág.
1. OBJETIVOS.....	22
1.1 Objetivo general.....	22
1.2 Objetivos específicos.....	22
2. ANTECEDENTES.....	23
3. MARCO TEORICO .....	26
3.1 PARTES DE LA GUADUA.....	27
3.1.1 SISTEMA SUBTERRÁNEO: .....	27
3.1.2 SISTEMA AÉREO: .....	27
3.2 MANEJO DE LA <i>Guadua angustifolia</i> Kunth PARA APROVECHAMIENTO FORESTAL.....	30
3.2.1 Propagación de la guadua.....	30
3.2.2 Preservación .....	30
3.2.3 Propiedades mecánicas .....	30
3.2.4 Tratamientos de conservación .....	31
3.2.5 Corte del tallado según su edad o grado de sazónamiento.....	31
3.2.6 Normas para el corte .....	32
3.2.7 Curado del bambú .....	32
3.2.8 Métodos de secado .....	33
3.3 PROPIEDADES FISICAS.....	34
3.3.1 Densidad ( $\rho$ ).....	34
3.3.2 Contenido de Humedad (CH) .....	34
3.3.3 Peso específico (Pe) .....	35
3.4 ESFUERZO ADMISIBLE .....	35
3.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD .....	35

3.6 VALOR CARACTERISTICO.....	36
3.7 ENSAYO A FLEXION .....	36
3.8 GUADUA A FLEXION EN LA COSTRUCCION.....	37
3.9 DISEÑO EXPERIMENTAL Y MÉTODOS ESTADÍSTICOS.....	37
3.9.1. Variables, Factores y Niveles .....	38
3.9.2. Unidad Experimental .....	38
3.10 ANALISIS DE VARIANZA.....	39
3.10.1 ANALISIS DE VARIANZA SIMPLE .....	40
3.11 HIPOTESIS DEL MODELO .....	40
3.11.1 Normalidad de los residuos .....	40
3.11.2 Homocedasticidad .....	41
3.11.3 Prueba de Levene .....	41
3.11.4 Independencia de los Residuos .....	41
4. METODOLOGÍA .....	42
4.1 LOCALIZACIÓN .....	43
4.2 NORMAS Y PROTOCOLOS .....	44
4.3 SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO.....	44
4.4 PREPARACION Y CORTE DE LOS CULMOS .....	45
4.5 PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYOS .....	48
4.6. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.....	48
4.7 ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD.....	50
4.8 ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD .....	50
4.9 ANÁLISIS DE DATOS .....	51
4.9.1 ANÁLISIS DE VARIANZA SIMPLE .....	51
4.9.2 FACTORES, NIVELES DE FACTOR Y VARIABLE DEPENDIENTE .....	51
5. CALCULOS Y RESULTADOS.....	52
5.1 CARACTERIZACION FISICA DE LOS CULMOS.....	52
5.2 ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL .....	52
5.3 CONTENIDO DE HUMEDAD .....	53
5.4 ESFUERZO NORMAL Y MÓDULO DE ELASTICIDAD .....	54

5.4.1 ESFUERZO NORMAL.....	56
5.4.2 MÓDULO DE ELASTICIDAD .....	58
5.5 ESFUERZOS ADMISIBLES Y VALORES CARATERISTICOS.....	61
5.5.1 VALOR CARACTERÍSTICO.....	61
5.5.2 ESFUERZO ADMISIBLE .....	62
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	64
6.1 ANALISIS EXPLORATORIO .....	64
6.2 EXCLUSIÓN DE DATOS ATÍPICOS .....	64
6.3 ANÁLISIS DESCRIPTIVO .....	64
6.4 ANÁLISIS DE VARIANZA SIMPLE.....	67
6.5 PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGOS.....	68
6.6 COMPROBACIÓN DE HIPOTESIS.....	68
6.6.1 Normalidad de los residuos .....	68
6.6.2 Prueba de homocedasticidad .....	69
6.6.3 Independencia de los residuos .....	70
6.7 ANÁLISIS DESCRIPTIVO MÓDULO DE ELASTICIDAD. ....	71
6.8 ANALISIS ESFUERZO ADMISIBLES A FLEXION .....	72
7. CONCLUSIONES .....	74
8. BIBLIOGRAFIA .....	766
ANEXOS.....	80

## LISTA DE ABREVIATURAS

A	: Área neta de la sección transversal de guadua.
$D_e$	: Diámetro externo de la guadua.
t	: Espesor de la pared de la guadua.
$m_i$	: Masa de la probeta antes del secado.
$m_o$	: Masa de la probeta después del secado.
$R_a$ y $R_b$	: Son respectivamente las reacciones en los apoyos de la viga.
a, b y c	: Características geométricas de las cargas.
L	: Luz libre entre apoyos.
P	: Carga aplicada
$\rho$	: Densidad
$\sigma$	: Esfuerzo normal.
$M_{max}$	: Momento flexionante máximo.
Pt	: Peso total
Vt	: Volumen total
$V_{Max}$	: Esfuerzo cortante máximo.
K	: Factor de forma de la sección circular hueca.
E	: Modulo de elasticidad a flexión.
G	: Modulo de rigidez a cortante.
$M_R$ y $m_U$	: Momentos internos de la estructura real y virtual.
$V_R$ y $v_u$	: Cortantes internos.
I	: Momento de inercia de la sección transversal.
m	: Pendiente de la recta Carga Vs. Desplazamiento.
$f_{0.05i}$	: Valor correspondiente al percentil 5 de los datos (MPa)
$\sigma_{adm}$	: Esfuerzo admisible.
$\bar{m}$	: Promedio.
E	: Deformación unitaria.
s	: Desviación Estándar.
n	: Número de ensayos.
$F_c$	: Esfuerzo básico promedio (MPa)
COVc	: Coeficiente de variación de esfuerzo
$F_{c adm}$	: Valor característico del esfuerzo admisible a compresión (MPa)
$f_{kc}$	: Valor característico del esfuerzo a compresión (MPa)
FS	: Factor de seguridad (2 según NSR-10)
FDC	: Factor de duración de carga (1.5 según NSR-10)
FC	: Factor de reducción por diferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de aplicación de las cargas en las estructuras
MOE	: Modulo de rotura

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Localización zonas de estudio. ....	45
Tabla 2 Factores, niveles de factor y variable dependiente .....	51
Tabla 3 Área de la sección transversal, espesores y dimensiones promedio de probetas procedentes de la zona A. ....	53
Tabla 4 Esfuerzo a carga máxima, contenido de humedad y densidad de las probetas de la zona A. ....	57
Tabla 5 Parámetros para el cálculo del módulo de elasticidad .....	60
Tabla 6 Análisis descriptivo para diámetros para las 4 zonas. ....	65
Tabla 7 Análisis descriptivo para espesor de pared para las 4 zonas. ....	65
Tabla 8 Análisis descriptivo para densidad para las 4 zonas.....	66
Tabla 9 Análisis descriptivo de Contenido de Humedad para las 4 zonas.....	66
Tabla 10 Análisis de varianza simple para esfuerzo a flexión.....	67
Tabla 11 Prueba de múltiples rangos para el esfuerzo a flexión. ....	68
Tabla 12 Módulos de elasticidad para las 4 zonas .....	71
Tabla 13 Análisis descriptivo para módulo de elasticidad de las 4 zonas.....	72
Tabla 14 Valores Característicos y Esfuerzos Admisibles para las 4 zonas.....	73

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Taxonomía de la Guadua .....	26
Figura 2 Partes de una guadua.....	29
Figura 3 Curva esfuerzo ( $\sigma$ ) -Deformación ( $\epsilon$ ).....	36
Figura 4 Localización Zonas de estudio.....	43
Figura 5 Selección de la guadua, predio La vega, Timana Huila. ....	45
Figura 6 Corte sobre el canuto, para evitar el daño físico del rizoma .....	46
Figura 7 Medición de diámetro, espesor y medición de entrenudos. ....	47
Figura 8 Nomenclatura usada para la identificación de las probetas.....	47
Figura 9 Esquema del ensayo de flexión. ....	48
Figura 10 Probeta de guadua apoyada en sus extremos y con aplicación de la carga en el tercio medio.....	49
Figura 11 Gráfico esfuerzo vs deformación .....	49
Figura 12 Secado de las probetas de guadua, Laboratorio de maderas y guadua. Universidad Nacional Sede Bogotá. ....	50
Figura 13 Modelo de los ensayos a flexión.....	54
Figura 14 Diagramas teóricos de fuerza cortante y momento flector .....	55

## LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1 Pendiente de la recta Carga Vs. Desplazamiento, dentro del rango elástico.....	61
Grafica 2 Esfuerzo a Flexión vs Contenido de Humedad. ....	67
Grafica 3 Probabilidad Normal para residuos. ....	69
Grafica 4 Residuos frente a predichos para esfuerzo a flexión en MPa. ....	70
Grafica 5 Residuos frente a número de fila para esfuerzo a flexión en MPa. ....	70

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Caracterización física de culmos del Predio A. Longitud de entrenudos cm.....	81
Anexo 2 Caracterización física de culmos del Predio B. Longitud de entrenudos (cm).....	82
Anexo 3 Caracterización física de culmos del Predio C. Longitud de entrenudos (cm).....	83
Anexo 4 Caracterización física de culmos del Predio D. Longitud de entrenudos (cm).....	84
Anexo 5 Caracterización de la <i>Guadua angustifolia</i> del Predio A. La Dalia.....	85
Anexo 6 Caracterización de la <i>Guadua angustifolia</i> del Predio B. Villa María .....	86
Anexo 7 Caracterización de la <i>Guadua angustifolia</i> del Predio C. La Vega. ....	87
Anexo 8 Caracterización de la <i>Guadua angustifolia</i> del Predio D. SENA .....	88
Anexo 9 Esfuerzo a carga máxima, contenido de humedad y densidad de las probetas de la zona A. ....	89
Anexo 10 Esfuerzo a carga máxima, contenido de humedad y densidad de las probetas de la zona B. ....	90
Anexo 11 Esfuerzo a carga máxima, contenido de humedad y densidad de las probetas de la zona C. ....	91
Anexo 12 Esfuerzo a carga máxima, contenido de humedad y densidad de las probetas de la zona C. ....	92

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se determinó el esfuerzo de flexión y módulo de elasticidad en muestras de *Guadua angustifolia* Kunth procedentes del municipio de Pitalito y Timaná del departamento del Huila. De esta manera se continuó con la caracterización físico – mecánica de la zona sur del departamento desarrollada en los siguientes estudios: Capera y Erazo (2012) “Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila”, Alarcón y Olarte (2013) “Esfuerzo máximo de tensión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila”, López y Salcedo (2016) “Resistencia a la compresión perpendicular y determinación del módulo de elasticidad circunferencial de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila” y, Campos y Rojas (2016) “Resistencia al corte paralelo a la fibra en muestras de *Guadua angustifolia* Kunth procedentes del municipio de Pitalito – Huila”.

La caracterización físico – mecánica de las probetas se realizó teniendo cuenta las normas NTC 5301 y NTC 5300. Los ensayos de flexión fueron desarrollados en la ciudad de Bogotá en la Universidad Nacional de Colombia en el área de investigación del SINDU siguiendo los procedimientos establecidos en la norma NTC 5525. Se aplicaron dos cargas puntuales lo más cerca posible a los tercios de la probeta y se determinó la deflexión mediante un transductor de desplazamiento colocado en el centro de la probeta. Con base en los resultados se determinaron el esfuerzo último a flexión y el módulo de elasticidad longitudinal a flexión. Además, se evaluaron propiedades físicas como la densidad básica, los contenidos de humedad, los diámetros y espesores de pared para probetas, y las longitudes de entrenudos para secciones de culmos.

Se realizó un análisis de varianza simple, partiendo de un diseño experimental donde se evaluó la incidencia del factor zona en el esfuerzo último a flexión y el módulo de elasticidad.

De forma comparativa y descriptiva se analizaron las variables de esfuerzo último a flexión y módulo de elasticidad, además de algunas propiedades físicas como diámetros, espesores de pared y densidad básica. Como referencia para estos análisis se utilizaron los resultados de otros estudios, así como lo establecido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10.

**Palabras clave:** *Guadua angustifolia*, esfuerzo a flexión, módulos de elasticidad.

## ABSTRACT

In this research work, the bending stress and modulus of elasticity were determined in samples of *Guadua angustifolia* Kunth from the municipality of Pitalito and Timana in the department of Huila. In this way it was continued with the physical and mechanical characterization of the southern area of the department of the studies of: Capera and Erazo (2012) "Resistance to the parallel compression to the fiber and determination of the modulus of elasticity of the *Guadua angustifolia* of the municipality of Pitalito- Huila ", Alarcón and Olarte (2013) "Maximum tension stress parallel to the fiber and determination of the modulus of elasticity of the *Guadua angustifolia* of the municipality of Pitalito-Huila ", Lopez and Salcedo (2016) "Resistance to compression Perpendicular and determination of the circumferential modulus of the *Guadua angustifolia* of the municipality of Pitalito-Huila " and, Campos and Rojas (2016) "Resistance to shear parallel to fiber in samples of *Guadua angustifolia* Kunth from the municipality of Pitalito – Huila”:

The characterization Physical - mechanical of the test samples was carried out taking into account the standards NTC 5301 and NTC 5300. The bending tests were developed in the city of Bogota at the Colombia National University in the research area of the SINDU, following the NTC 5525 Standards. The load was applied in two point as close as possible to the thirds of the sample. The deflection was measured with a LVDT located in the middle of the test sample. With the results, the bending strength and the modulus of elasticity were determined. In addition, physical properties such as basic density, moisture content, diameters and wall thicknesses of the cross section and the internode lengths for culm sections were evaluated.

A simple variance analysis was performed, starting from an experimental design where the incidence of the zone factor in the bending strength and the modulus of elasticity was evaluated.

The variables: compressive strength parallel to fiber, modulus of elasticity, diameter, wall thickness and basic density; were analyzed descriptively and in a comparative way. As a reference for these analyzes the results of other studies and the provisions of the NSR-10 were used.

**Key words:** *Guadua angustifolia*, flexural stress, modulus of elasticity.

## INTRODUCCIÓN

La guadua considerada por arquitectos y constructores como el “Acero vegetal” es uno de los materiales más empleados en Colombia. Además, juega un papel fundamental como cultivo agroforestal en los ecosistemas como protectores y reguladores de los regímenes hídricos de cuencas y microcuencas, aportando biodiversidad (Canelos Salazar & Hidrovo Andrade, 2004).

La guadua en el sur del departamento del Huila es utilizada e implementada en el área de las construcciones rurales, es un material vegetal que se caracteriza por su flexibilidad, resistencia, economía y fácil obtención en la región. Según Martínez (2005), solo desde hace poco tiempo su importancia económica y social está siendo valorada. En la zona cafetera y, en general, en la región andina colombiana la guadua es un producto significativo en la construcción de vivienda, puentes, canaletas, acueductos, y en la elaboración de artesanías, utensilios de cocina e instrumentos musicales

La guadua hallada en estado natural en Colombia, alcanza los 30 metros de altura y los 22 centímetros de diámetro es un bambú leñoso que pertenece a la familia de las gramíneas, taxonómicamente a las Poaceae de la cual existen realmente en el mundo cerca de 1.000 especies, 500 de ellas en América. De éstas, aproximadamente 20 conforman las especies prioritarias de bambú y dentro de ellas Colombia tiene una que posee las mejores propiedades físico-mecánicas del mundo y extraordinaria durabilidad: La *Guadua angustifolia*. Por esta es un recurso cuyo uso en la construcción ha sido de tradición en algunas regiones de Colombia, como el eje cafetero.

Por su alta resistencia a la tracción y compresión paralela a la fibra se han realizado varias investigaciones sobre sus potenciales usos, llegando a proponerla como un refuerzo para otros tipos de materiales como el concreto (Reyes y Rayo, 2014). Aunque las propiedades mecánicas de la guadua dependen de la especie botánica a la que pertenece, la resistencia a flexión también depende de la edad de corte de la planta, la sección del culmo que se utilice y de las propiedades físicas como son la humedad, la densidad básica y el peso específico (Martínez, 1992).

En el departamento del Huila predomina su uso en el sur occidente, en el área de influencia del macizo colombiano, especialmente en el municipio de Pitalito, debido a que en esta zona se presentan condiciones climáticas y edáficas muy favorables para su desarrollo vegetativo, de ahí la importancia de realizar investigaciones encaminadas a la validación de este elemento natural como material apto para la construcción según lo establecido en la Norma. Se pretende con este proyecto determinar la resistencia a flexión y el módulo de elasticidad longitudinal en muestras de *Guadua angustifolia* Kunth, tomadas de cuatro predios aleatoriamente: finca LA VEGA ubicada en la vereda Cinco Veredas del municipio de Timaná, finca

VILLA MARIA ubicada en la vereda Zanjones del municipio de Pitalito, finca LA DALIA ubicada en la vereda Palmarito del municipio de Pitalito y el Tecnoparque YAMBORÓ ubicado en la vereda Aguadas del municipio de Pitalito. El análisis estadístico será de varianza multifactorial desarrollado por medio del software STATGRAPHICS CENTURION VI.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La guadua es el bambú nativo de mayor importancia en el país. Es un excelente recurso renovable de rápido crecimiento y fácil manejo, que brinda beneficios económicos, sociales y ambientales a las comunidades (Martínez, 2005). Hasta hace poco su aplicación en el ámbito de la construcción, solo se limitaba a la elaboración de casetones y esterillas, y en forma de guadua rolliza para viviendas, fincas, cubiertas y puentes, en cuyos casos, los diseños se realizaban mediante métodos de ensayo y error.

Ahora, con la normalización de la guadua como material estructural en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) vigente desde Julio de 2010, es posible el diseño de estructuras con un nivel de seguridad comparable a los de edificaciones de otros materiales, como el concreto y el ladrillo, sin embargo, aún existen ciertos interrogantes que deben ser considerados. Como complemento de la NSR-10, conviene mencionar la existencia de las Normas Técnicas Colombianas publicadas con anterioridad entre el 2006 y el 2008. 1) NTC 5525 “Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth”, 2) NTC 5407 “Uniones de estructuras con *Guadua angustifolia* Kunth”, 3) NTC 5301 “Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth”, y 4) NTC 5300 “Cosecha y postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth”.

En la actualidad a pesar de la normatividad existente, y los avances en materia de investigación y tecnología en otras regiones como la del eje cafetero, se evidencia en el departamento del Huila la falta de información, producto del desinterés por buscar nuevas alternativas económicas. Mientras en otras regiones se habla acerca de la importancia de ofrecer otras clases de productos en guadua como laminados, pisos, molduras, tablillas, muebles, entre otros (Held y Manzano, 2003), en el Huila se desconocen las características y potencialidades del bambú guadua, situación que no debería presentarse, considerando que el sur del departamento cuenta con grandes extensiones de bosques de guadua y presenta las características óptimas desde el punto de vista ambiental para el crecimiento y desarrollo adecuado de la especie *Guadua angustifolia* Kunth.

Para empezar a solucionar esta problemática de gran escala, se propone continuar con la caracterización físico mecánica de la guadua del sur del departamento e iniciar con la divulgación a nivel departamental. Se espera que más adelante continúen las investigaciones bajo los diferentes enfoques que se le puede dar a la guadua. En lo referente al tema de caracterización se han dado los primeros pasos con los estudios de Capera y Erazo (2012) “Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila”, Alarcón y Olarte (2013) “Esfuerzo máximo de tensión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua*

*angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila, López y Salcedo (2016) “Resistencia a compresión perpendicular y determinación del módulo de elasticidad circunferencial de la *Guadua angustifolia* Kunth del municipio de Pitalito” y, “Campos y Rojas (2016) “Resistencia al corte paralelo a la fibra en muestras de *Guadua angustifolia* Kunth procedentes del municipio de Pitalito – Huila”.

## JUSTIFICACIÓN

Los bambúes son plantas extremadamente diversas y económicamente importantes que crecen en regiones tropicales y templadas de Asia y América (Londoño, 2002).

Entre los géneros de bambú, la guadua es una de las especies más importantes en América tropical distribuidas desde México hasta el norte de Argentina. En Colombia su uso data del siglo XIX, con los colonizadores como los primeros en darle la importancia que se merece como material para la construcción, seguido de los campesinos y maestros de la construcción (Salas, 2006). En la actualidad, la especie *Guadua angustifolia* Kunth, es considerada como una de las especies de bambú de mayor demanda y mejor aceptación en el sector productivo por su facilidad en la propagación, rápido crecimiento, tradición para trabajar sus productos y características benéficas para el medio ambiente (Martínez, 2005).

Con el paso del tiempo, se ha comprobado la importancia de la guadua como alternativa para resolver las necesidades de vivienda. Sus propiedades antisísmicas han despertado admiración y han captado la atención de investigadores, como resultado, se evidencia hasta la fecha el establecimiento de normas y procedimientos los cuales se encuentran en continua revisión, y el progreso en la industria de los laminados; incluso se ha llegado a comprobar que los recursos energéticos necesarios para la construcción de una vivienda, son menores con guadua que con concreto (Villegas, 2005).

La guadua considerada por arquitectos y constructores como el “Acero Vegetal” es uno de los materiales más empleados en Colombia. Es un material de gran uso por su versatilidad, disponibilidad y excelentes propiedades físicas y mecánicas. Además, juega un papel fundamental como cultivo agroforestal en los ecosistemas como protectores y reguladores de los regímenes hídricos de cuencas y microcuencas, aportando biodiversidad. A pesar de la importancia de este elemento natural, son pocas las investigaciones que se han adelantado a nivel nacional y se destacan algunas investigaciones realizadas por diferentes entidades investigativas y universidades procedentes de los departamentos de Quindío, Risaralda, Caldas, Cundinamarca y Valle del Cauca que han contribuido para la elaboración del capítulo G.12 para estructuras de guadua de las Normas Sismo Resistentes de 2010. (López y Salcedo, 2016).

La *Guadua angustifolia* Kunth actualmente es utilizada como material de construcción en estructuras para vivienda y puentes, entre otros. Sin embargo, debido a que es un material natural, su durabilidad puede verse afectada por el ataque biológico de insectos y hongos. Además de las recomendaciones de corte, manejo en la plantación y almacenamiento, se utilizan tratamientos con soluciones químicas que previenen el deterioro biológico acelerado en la guadua y por tanto en la estructura, aumentando así la durabilidad. (Runsinque, 2007).

La necesidad de superar los vacíos en el conocimiento que rodean a la guadua en el sur del departamento del Huila, puede enmarcarse dentro de los diferentes sectores, como el de la ciencia y la tecnología, el de medio ambiente, el agropecuario, el social y el económico. El primer caso, se relaciona con la generación de nuevo conocimiento en la región; el segundo, por tratar de sensibilizar a la población en el tema de sostenibilidad ambiental para reducir la deforestación; el tercero, por intentar asegurar la producción de bienes y servicios ambientales (agua y suelo); el cuarto, por pretender solventar las necesidades de vivienda en los sectores más vulnerables de la población urbana y rural, y en el último caso, para impulsar el posicionamiento del departamento con otros productos competitivos.

Las apuestas del departamento según el plan regional de competitividad del departamento del Huila (2010) visión 2032, que conciernen a la presente propuesta de investigación son: 1) el desarrollo de sectores de clase mundial y nacional donde el departamento presente grandes potencialidades, comenzando con la identificación y el desarrollo de nuevos sectores en la región sujetos a la generación de alto valor agregado; 2) la incorporación y aplicación de ciencia, tecnología e innovación; y 3) la promoción de estrategias de sostenibilidad ambiental (corredores biológicos, áreas singulares, reforestación y conservación de cuencas hidrográficas).

Para dar cumplimiento con los aspectos relacionados en el plan regional de competitividad, los cuales en su mayoría se encuentran consignados en el Plan de Desarrollo Departamental 2012-2015 y para superar los vacíos en el conocimiento, acabando con la incertidumbre de tipo investigativa, es necesario continuar con la caracterización física y mecánica de la guadua como primera medida. Al determinar la resistencia a la flexión de la guadua del municipio de Pitalito, se tendrán valores para el diseño de estructuras en guadua y se podrá comparar los resultados con los enunciados en la NSR-10 y otros estudios. Se espera además inculcar entre la población objetivo el valor ambiental, social y económico de la guadua, con el ánimo de estimular su participación en la búsqueda de soluciones a la problemática.

Otras consideraciones que también sustentan la presente iniciativa, tienen que ver con la consolidación de los vínculos formados con el SENA de Pitalito y el grupo GIES de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, a partir de los trabajos de Capera y Erazo (2012), Alarcón y Olarte (2013) y López y Salcedo (2016). Está claro que el fortalecimiento de la capacidad científica será determinante para solucionar la problemática de gran escala mencionada.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 Objetivo general

Determinar el esfuerzo a flexión y el módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* Kunth del municipio de Pitalito-Huila y su variabilidad respecto a las condiciones de sitio.

### 1.2 Objetivos específicos

- Seleccionar material representativo de la zona de estudio para el análisis en laboratorio de los esfuerzos a flexión y módulos de elasticidad.
- Realizar las pruebas de laboratorio correspondientes al estudio de esfuerzos a flexión, módulos de elasticidad y propiedades físicas según la normatividad vigente.
- Calcular mediante análisis estadístico y la aplicación de la mecánica de sólidos, los esfuerzos máximos y admisibles, así como el módulo de elasticidad de probetas de *Guadua angustifolia* Kunth.
- Determinar el contenido de humedad y la densidad básica de probetas de *Guadua angustifolia* de diferentes procedencias del municipio de Pitalito.
- Comparar los resultados obtenidos con estudios realizados en otras Universidades y lo establecido en el reglamento colombiano de construcciones sismo-resistentes (NSR-10).

## 2. ANTECEDENTES

Uno de los grandes investigadores colombianos reconocidos a nivel internacional por estudiar a fondo el Bambú, es el Arquitecto Oscar Hidalgo, el cual está trabajando junto al INBAR, Institute of Bamboo and Rattan, en la publicación de una enciclopedia especializada en el Bambú. Oscar Hidalgo ha concebido en Puerto Rico, un proyecto encaminado a prevenir la deforestación e incentivar la construcción de vivienda con materiales alternativos, económicos y sostenibles. El proyecto persigue la utilización sostenible del bambú como material de base para la realización de un programa de vivienda de interés social y para la industrialización y comercialización de los productos complementarios del bambú. Bajo este proyecto se construyeron 30 unidades familiares, soportando satisfactoriamente un sismo de magnitud 7.5 en la escala de Richter el 22 de abril de 1991 en Costa Rica. (Gutiérrez, 1992).

“Acero Vegetal” es la denominación que le ha otorgado a la guadua el arquitecto Simón Vélez. Este arquitecto es más osado en sus diseños, sometiendo la guadua especialmente a compresión. Construyó el pabellón Zeri, representando a Colombia en la feria mundial de Expo-Hannover en Alemania; de esta construcción se hizo una réplica exacta para someterla a pruebas de carga y resistencia, soportando cargas de 400 kg/m<sup>2</sup>. (AIS, 2001)

Con el trabajo de grado “Comportamiento Sismo resistente de Estructuras en Bahareque”, los estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional sede Manizales, Felipe López y Mario Silva, hicieron un gran aporte para que la Asociación de Ingeniería Sísmica desarrollara un manual de construcción sismo resistente de viviendas en Bahareque Encementado. Este manual presenta requisitos adicionales, para el Título E de las Normas NSR-98, en relación con el diseño simplificado y construcción de casas de uno y dos pisos de bahareque encementado de madera y guadua (AIS, 2001)

Así mismo, desde hace más de una década la Universidad Tecnológica de Pereira UTP, a través de su grupo de investigación, trabaja en las características físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth, en donde sobresalen las investigaciones relacionadas con la metodología de preparación de muestras experimentales para determinar la dureza Brinell y la influencia de la humedad relativa del ambiente, de la edad y la altura relativa del tramo, determinación de los valores del ensayo a flexión y comparación del secado solar de esta especie de bambú.

En el plano internacional, J.J. Janssen y el grupo de investigación en la Universidad Tecnológica de Eindhoven a partir del año 1981, presenta algunos documentos como “Bamboo in a building structures” o “Fundamentals of desing in bamboo

structures” los cuales muestran los procedimientos de ensayo y las metodologías de diseño de elementos estructurales con bambú.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional sede Bogotá D.C., se han desarrollado los siguientes proyectos de grado vinculados a la investigación del material: Evaluación de uniones a tracción en guadua, por Sandra Clavijo y David Trujillo (2000) ; Comportamiento de la *Guadua angustifolia* sometida a flexión, Edwin Prieto y Jorge Sánchez (2001); además, paralelamente al desarrollo de este proyecto se investigó en: Estudio de uniones de guadua con ángulo de inclinación entre elementos, Diego Jaramillo y Gisela Sanclemente (2003); estudio de conexiones en *Guadua angustifolia* solicitadas a momento flector, Isduar Páez y Víctor Camacho (2002).

A nivel departamental en lo referente al tema de caracterización, se han dado los primeros pasos con los estudios de Capera y Erazo (2012) “Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila”, Alarcón y Olarte (2013) “Esfuerzo máximo de tensión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila” y, López y Salcedo (2016) “Resistencia a compresión perpendicular y determinación del módulo de elasticidad circunferencial de la *Guadua angustifolia* Kunth del municipio de Pitalito”.

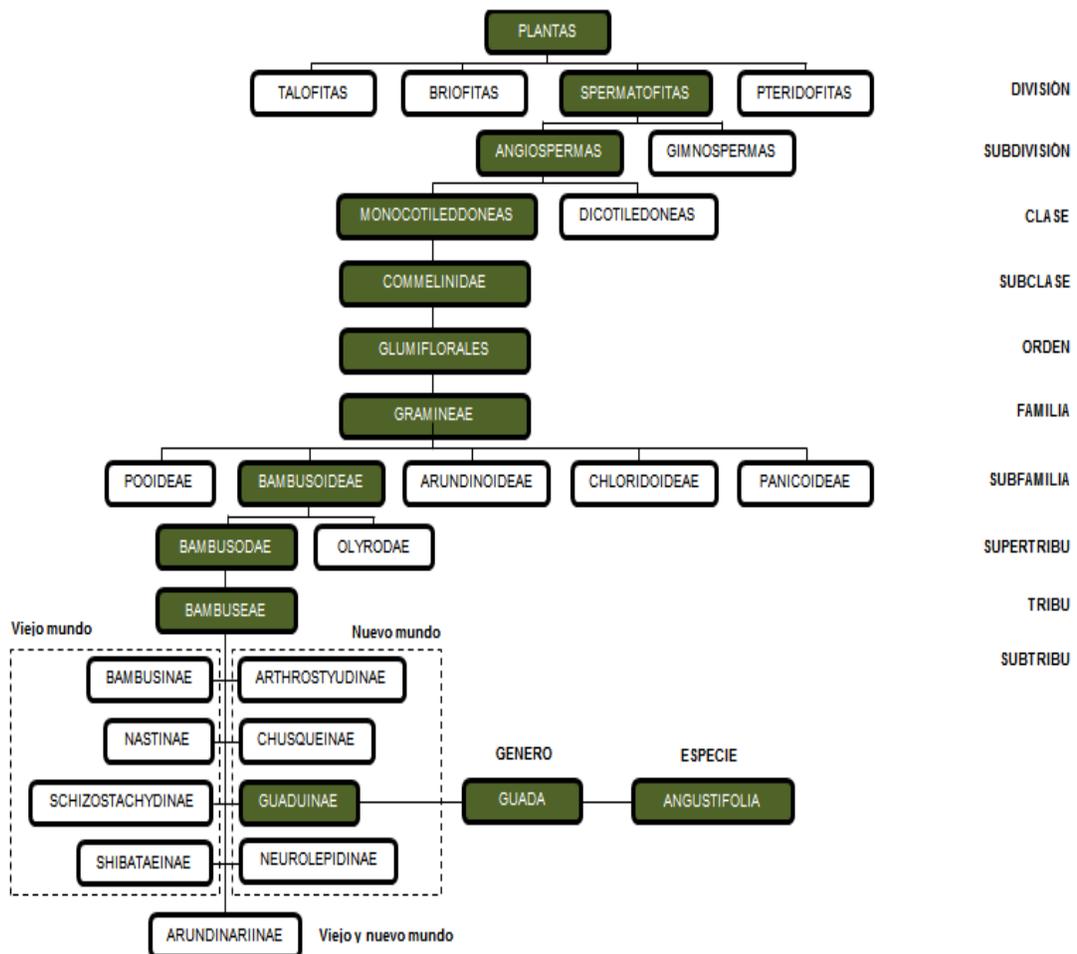
En investigaciones nacionales realizadas en guadua para determinar el esfuerzo a flexión se tiene: Prieto y Sánchez (2002), “Comportamiento de la *Guadua angustifolia* sometida a flexión” y Rusinque (2007), “Influencia de la perforación, para inmunización en los tabiques, en el comportamiento de elementos solicitados a flexión de *Guadua angustifolia*”. Implementaron los procedimientos estipulados en la Norma ISO 22157, implementado probetas con luces libres de 0.50m, 1.0m, 1.50m, 2.0m, 2.50m y 3.0m. El primero con valor de esfuerzo máximo a flexión de 58.60 MPa y el segundo con valor de 109,55 MPa a luz libre de 3.0 m. Lozano et al (2010) “Validación de la *Guadua angustifolia* como material estructural para diseño, por el método de esfuerzos admisibles “y Ardila (2013) “Determinación de los valores de esfuerzos admisibles del bambú *Guadua angustifolia* Kunth del departamento de Tolima, Colombia”. Implementaron los procedimientos estipulados en la Norma técnica colombiana NTC 5525 obteniendo valores de esfuerzo admisible de 12.46 MPa y 10.19 MPa respectivamente.

En investigaciones internacionales en ensayos a flexión en guadua se ha encontrado: Ordóñez-Candelaria y Bárcenas-Pazos (2014) “Propiedades físicas y mecánicas de tres especies de guadas mexicanas (*Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia* y *Guadua velutina*)” determinaron los valores de resistencia en flexión (MOR) y módulo de elasticidad en tres especies de guadas mexicanas, en condición verde, para *Guadua velutina* fueron entre 75,5 MPa y 88,3 MPa; para

*Guadua amplexifolia* de 77,0 MPa y 102,1 MPa; y para *Guadua aculeata* de 59,7 MPa a 89,2 MPa. Zaragoza-Hernández, I., et., (2015), "Propiedades físico-mecánicas de una guadua mexicana (*Guadua aculeata*)". Determinó el módulo de ruptura en flexión y su módulo de elasticidad en guadua mexicana (*Guadua aculeata*) obteniendo valores de 51,9 a 79,6 MPa para el módulo de rotura. Strzelecki. R., et., (2013) "Resistência à flexão estática e à compressão paralela do bambu-mossô (*phyllostachys pubescens*) y Dos Reis (2012), "Projeto bambu: introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações. Determinaron el módulo de rotura en laminados de guadua, con valores de 13719 MPa y 15600 MPa sin nodo y 12300 MPa con nodo respectivamente

### 3. MARCO TEORICO

Los bambúes según Londoño (2002) son plantas extremadamente diversas y económicamente importantes que crecen en regiones tropicales y templadas de Asia y América; taxonómicamente pertenecen a la familia de las gramíneas y a la subfamilia Bambusoideae, la cual se encuentra subdividida en dos grandes grupos o supertribus: los bambúes herbáceos u Olyrodae y los bambúes leñosos Bambusodae. Los bambúes leñosos son los más numerosos y dispersos de la subfamilia Bambusoideae con 61 géneros en todo el mundo agrupadas en nueve subtribus, cuatro de ellas exclusivas del nuevo mundo: Arthrostyudinae, Chusqueinae, Guaduinae y Neurolepidinae. La guadua es un género que forma parte de la subtribu Guaduinae y contiene entre sus especies a la *Guadua angustifolia* (figura 1).



**Figura 1** Taxonomía de la Guadua  
Fuente: Los autores. Tomado de Londoño (2002).

Entre los géneros de bambú, la guadua reúne las especies más importantes en América tropical distribuidas desde México hasta el norte de Argentina. En Colombia su uso data del siglo XIX, con los colonizadores como los primeros en darle la importancia que se merece como material para la construcción, seguido de los campesinos y maestros de la construcción (Salas, 2006). En la actualidad, la especie *Guadua angustifolia* Kunth, es considerada como una de las especies de bambú de mayor demanda y mejor aceptación en el sector productivo por su facilidad en la propagación, rápido crecimiento, tradición para trabajar sus productos y características benéficas para el medio ambiente (Martínez, 2005).

Con el paso del tiempo, se ha comprobado la importancia de la guadua como alternativa para resolver las necesidades de vivienda. Sus propiedades antisísmicas han despertado admiración y han captado la atención de investigadores, como resultado, se evidencia hasta la fecha el establecimiento de normas y procedimientos los cuales se encuentran en continua revisión, y el progreso en la industria de los laminados; incluso se ha llegado a comprobar que los recursos energéticos necesarios para la construcción de una vivienda, son menores con guadua que con concreto (Villegas, 2005).

### **3.1 PARTES DE LA GUADUA**

#### **3.1.1 SISTEMA SUBTERRÁNEO:**

**Raíces:** El sistema radicular está conformado por raíces adventicias y fibrosas, y por los rizomas que corresponden a modificaciones del tallo, de tipo paquimórfico (crece hacia afuera), en su conjunto son fuertes, abundantes y de la activación de las yemas se generan nuevos rizomas y por ende nuevos tallos.

#### **3.1.2 SISTEMA AÉREO:**

**Culmo-tallo:** El culmo, también llamado "cogollo" o "espolón" por nuestros campesinos, al emerger del suelo lo hace con un tallo definitivo. Un tallo o culmo adulto, alcanza una altura entre 15 y 25 metros. Es leñoso, recto ligeramente arqueado en la punta, y está formado por muchos nudos y entrenudos llamados "canutos". Alrededor de cada nudo aparece una banda blanca, que es una de las características de identificación de la especie.

**Rizoma:** Es un tallo modificado, subterráneo, que conforma el soporte de la planta. Es el lugar por donde la guadua absorbe los nutrientes. Se ha utilizado en estabilización de las laderas y prevención de la erosión producida por escorrentía, vientos fuertes y desmoronamiento.

**Cepa:** Es la parte del culmo con mayor diámetro y espesores de pared mayores; Posee una longitud de 4 metros. Las distancias de cañutos son las más cortas y en la construcción se les utiliza como columnas.

**Basa:** El diámetro es intermedio y la distancia entre nudos es mayor que en la cepa; es la parte del culmo de la guadua que más se utiliza; tiene una longitud aproximada de 11 metros.

**Sobrebasa:** El diámetro es menor y la distancia entre nudos es un poco mayor, comparada con la basa, la longitud es de aproximadamente cuatro metros.

**Varillón:** La sección tiene un diámetro pequeño y la longitud es de unos tres metros aproximadamente.

**Copa:** Es la parte apical de la guadua, con una longitud entre 1.20 a 2.00 metros.

**Culmo:** Eje aéreo segmentado de los bambúes, formado por nudos y entrenudos, que emerge del rizoma; es el equivalente al tallo de un árbol. Consta de cuello, nudos y cañutos.

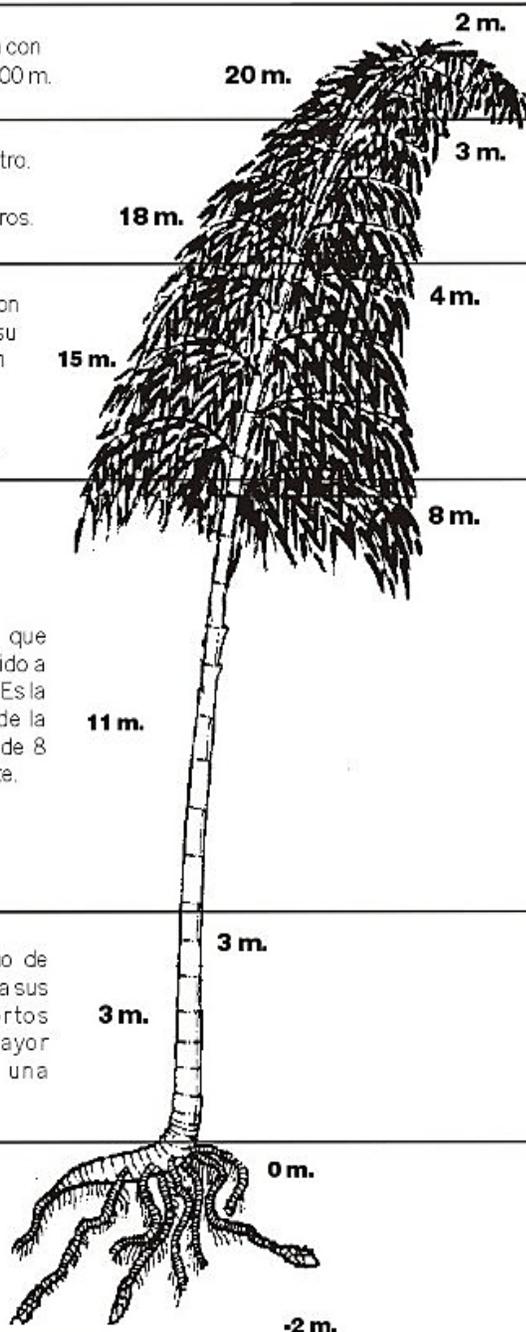
**Cuello:** Es la parte de unión entre el rizoma y el culmo.

**Entrenudo, canuto o cañuto:** Porción del culmo comprendida entre dos nudos. Su longitud varía a lo largo del culmo.

**Conicidad:** Se define como la diferencia de los promedios de los diámetros en los extremos, dividida por la longitud entre ellos.

## PARTES DE UNA GUADUA

DESCRIPCIÓN	UTILIZACIÓN
<p><b>COPA</b> Parte apical de la guadua con una longitud de 1,20 a 2,00 m.</p>	<p>Se replica en el suelo del guadua como aporte de materia orgánica.</p>
<p><b>VARILLON</b> Sección de menor diámetro. Su longitud tiene aproximadamente 3 metros.</p>	<p>Se utiliza en la construcción como correa de lechos con tejas de barro o de paja. Se emplea como tutor en cultivos transitorios.</p>
<p><b>SOBREBASA</b> Es un tramo de guadua con buen comercio debido a su diámetro, que permite un uso variado. Posee una longitud aproximada de 4 metros.</p>	<p>Utilizada como elemento de soporte en estructuras de concreto de edificios en construcción. También se emplea como viguetas para formaletear planchas y como postes de espalderas en cultivos.</p>
<p><b>BASA</b> Parte de la guadua que mayores usos tiene, debido a su diámetro intermedio. Es la sección más comercial de la guadua. La longitud es de 8 metros aproximadamente.</p>	<p>De esta sección se elabora generalmente la esterilla, la cual tiene múltiples usos: en construcción de paredes, casetones y formaletas de planchas. Esta parte se utiliza como vigas y columnas en construcciones nuevas de guadua.</p>
<p><b>CEPA</b> Sección basal del culmo de mayor diámetro, debido a sus entrenudos más cortos proporciona una mayor resistencia y tiene una longitud de 3 metros.</p>	<p>Se utiliza como columnas en construcción y para cercos.</p>
<p><b>RIZOMA</b> Es un tallo modificado, subterráneo, que se conoce popularmente como "caimán"</p>	<p>En decoración, muebles y juegos infantiles.</p>



**Figura 2** Partes de una guadua. Tomado de Chavarro 2016  
Fuente: (Cely, 2011)

**Yemas:** Las yemas están presentes en el tallo o culmo, en las ramas y en los rizomas o en las raíces que favorecen la reproducción y propagación vegetativa.

**Hojas Caulinares:** Estas hojas de color marrón o café claro, protegen al tallo y sus yemas durante su crecimiento inicial los primeros meses. Mientras un tallo conserva las hojas caulinares o "polainas" se le consideran como un brote o renuevo, los campesinos lo llaman "borracho". Son de forma triangular, fuertes, con pelillos en sus partes exteriores y lustrosos por el interior. Las hojas caulinares o polainas se desprenden del culmo, cuando salen las ramas que brotan de las yemas

**Hojas del Follaje:** Las hojas de las ramas son lanceoladas alternas y simples, su longitud varía entre 8 y 20 cm., y su ancho entre 1.5 y 3.5 cm. Por el envés presenta pubescencias blanquecinas esparcidas.

## **3.2 MANEJO DE LA *Guadua angustifolia* Kunth PARA APROVECHAMIENTO FORESTAL**

### **3.2.1 Propagación de la guadua**

La propagación más indicada es la vía vegetativa (siembra de tallos completos). La siembra intercalada de otras plantas como frijol y maíz, mantiene libre de malezas y el suelo sombreado, lo cual favorece el desarrollo rápido del guadua.

### **3.2.2 Preservación**

La preservación de los culmos de la guadua comienza desde el momento del corte de las guaduas maduras. Es necesario secarla de los contenidos de humedad por debajo del 20%. Se deben usar insecticidas e inmunizantes no tóxicos para la salud humana, para que pueda ser una alternativa de uso en construcciones y en el entorno humano.

Una alternativa de inmunización no tóxica es el ahumado. Consiste en poner la guadua dentro de una cámara por la cual circula humo obtenido por combustión incompleta de materia orgánica. Además de inmunizar, este sistema también seca la guadua y mejora las condiciones para evitar la pudrición.

Su principal enemigo es la broma (insecto coleóptero perforador que la reduce a polvo), también hongos y putrefacción.

### **3.2.3 Propiedades mecánicas**

La guadua tiene un bajo módulo de elasticidad respecto a la flexión por lo cual su rigidez es baja.

Su elasticidad es alta por su aptitud para deformarse y recuperar su forma original.

Ductilidad alta por la propiedad que permite la deformación permanente antes de la fractura en tracción, medido en valores de porcentaje de alargamiento.

Tenacidad media por su capacidad de soportar una carga de impacto o de choque sin romperse.

### **3.2.4 Tratamientos de conservación**

La guadua como la madera, una vez cortada se altera, se pudre, y finamente se reduce al polvo, por mala influencia de los agentes atmosféricos, los cambios de la humedad y la acción de organismos vegetales o animales. Debido a esto, el bambú se conserva tanto más cuanto se obtenga que todos estos elementos nocivos no se desarrollen y propaguen, y ello se logra sometiéndola a un tratamiento de conservación desde el momento del cortado hasta su utilización final en construcción o en artesanía; el cual consiste en la aplicación continua de una serie de cuidados y de tratamientos físicos y químicos como son:

- 1) Corte del tallado según su edad o grado de sazónamiento, lo cual determina la mayor o menor resistencia física del bambú como la mayor o menor dureza del mismo.
- 2) Curado del bambú.
- 3) Secado del bambú.
- 4) Tratamiento con preservativos contra hongos e insectos.
- 5) Tratamiento con resinas sintéticas, para el mejoramiento de sus propiedades físicas.

### **3.2.5 Corte del tallado según su edad o grado de sazónamiento**

La preparación de la guadua se inicia con el corte apropiado del tallo teniendo en cuenta su edad o grado de sazónamiento, del cual depende tanto su resistencia física como su grado de dureza.

El tallo tiene un periodo de crecimiento de 4 a 6 años en promedio, los primeros 80 días el tallo no aumenta de altura y tiene un contenido de humedad del 95%. Al terminar su crecimiento, el tallo comienza a tomar un color amarillento donde ya ha completado su etapa de madurez, pero después de esto el tallo se torna blanco donde va perdiendo su grado de resistencia hasta secarse.

El bambú de tres años se emplea en obras artesanales cuyo uso final requiere una mayor resistencia y cierto grado de manejabilidad, tales como esteras y fabricación de paneles contrachapeados.

La guadua de 3 a 6 años se emplea en elementos que requieren mayor resistencia a la flexión, tensión, compresión y desgaste, como en miembros estructurales y en la fabricación de cables para puentes. Esta teoría de que el bambú adquiere su máxima resistencia desde los 3 a 6 años de edad, ha sido comprobada experimentalmente en el Japón y en la India y en ella se basan tanto para utilizar el bambú en la construcción como para la elaboración de ciertas obras artesanales. Sin embargo, Glenn en los ensayos físicos que realizó en diversas especies de bambú encontró que algunas especies aun no sazonadas tenían una resistencia igual o superior a las sazonadas (Gómez Z., Alexander; Gallego, Raúl. Trabajo académico la Guadua ó Bambú. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional Sede Manizales. 2003).

### **3.2.6 Normas para el corte**

Se ha comprobado que la guadua no sazonada (menor de tres años), una vez cortada es más propensa al ataque de los insectos que el sazonado; por ello es recomendable en cualquiera de los casos cortar el bambú en la época de invierno cuando los insectos se encuentran en hibernación. Los tallos deben cortarse a una altura entre 15 y 30 cm. sobre el nivel del suelo y en la zona localizada inmediatamente encima del nudo, en tal forma que el agua de las lluvias no se deposite en este, pudriéndolo, y afectando posteriormente el rizoma. El corte debe hacerse utilizando sierras o machetes limpios; en ningún caso se recomienda el empleo de hachas.

### **3.2.7 Curado del bambú**

Inmediatamente después de que los tallos de bambú se cortan de la mata, deben someterse a un tratamiento de curado con el fin de hacerlos menos propensos al ataque de insectos como el *dinoderos minutus*, “escarabajo del bambú”, que es atraído por los almidones o glucosas que contienen la savia del bambú.

**Curado en la mata:** Consiste en colocar los tallos una vez cortados, recostados lo más vertical posible contra los tallos no cortados, sin remover ni las ramas ni las hojas, aislándolos del suelo, colocándolos sobre piedras o soportes. En esta posición debe permanecer de 4 a 8 semanas de acuerdo a las condiciones del tiempo.

Este sistema es el más recomendado pues los tallos conservan su color natural, no se rajan y no son atacados por los hongos.

**Curado por inmersión:** Este sistema fue el más empleado por los orientales durante muchas generaciones; consiste en sumergir los tallos en agua por un tiempo no menor a cuatro semanas.

**Curado por calentamiento:** Este sistema consiste en colocar el tallo después de cortado sobre fuego abierto rotándolo, sin quemarlo; con ello se logra matar cualquier insecto que tenga en su interior, por otra parte, endurece la pared exterior haciéndola menos propicia al ataque de los insectos. Este sistema también se emplea tanto para secar como para enderezar los tallos torcidos.

### 3.2.8 Métodos de secado

Tanto los tallos vivos de la guadua como los árboles, contienen una cantidad considerable de humedad, la que se conoce comúnmente con el nombre de savia. Ella es conductora de los alimentos de la planta obtenidos del suelo por medio de los rizomas y es indispensable en la etapa de crecimiento y en la vida del bambú. Cuando el bambú se va a utilizar en obras artesanales o en la fabricación de materiales para la construcción, que van a estar expuestos a diversos factores físicos y climatéricos, debe someterse previamente a un secado, entre otras, por las siguientes razones:

- El bambú se contrae por la pérdida de humedad y se dilata cuando esta aumenta.
- Para reducir al mínimo los cambios de dimensión.
- El secado disminuye el peso del bambú y por tanto su costo de transporte.
- Los organismos que ocasionan pudrición y manchas, normalmente no viven en el bambú cuando su contenido de humedad está por debajo de 15%.
- Los pegantes actúan mejor en piezas secas de bambú.
- Las propiedades de resistencia del bambú se aumentan, cuando se seca a un contenido de humedad bajo. Uno de los objetivos del secado es obtener un mejoramiento de sus propiedades mecánicas.

El bambú después de curado, puede ser secado a través de formas diferentes que se denominan: secado al aire, secado en estufa y secado sobre fuego abierto.

**Secado al aire:** El secado al aire se realiza colocando o apilando los tallos de bambú horizontalmente bajo cubierta, expuesto a una atmósfera secante pero protegidos contra el sol y de la lluvia.

**Secado en estufa:** El secado de bambú puede ser llevado a cabo en aquellas estufas utilizadas comúnmente en secado de la madera aserrada, con cámaras de metal o de ladrillo en concreto, equipadas de tal manera que se pueda ejercer cierto grado de control sobre la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire en contacto con el bambú. Las estufas se clasifican según el método de carga y la forma de circulación del aire. El sistema es mucho más rápido que el secado al aire, pero mucho más costoso debido a las instalaciones y equipos que se necesitan; sin embargo, puede justificarse ampliamente, si el secado se hace a gran escala.

Secado sobre fuego abierto: Este es uno de los métodos más comunes de secado que se emplea en el oriente, en donde además se aprovecha para enderezar los tallos torcidos. Los tallos que se van a secar por este medio se colocan entre dos soportes a una altura aproximada de 45 a 50 cm. sobre el nivel del suelo. El calor que se aplique no debe ser muy intenso.

### **3.3 PROPIEDADES FISICAS**

#### **3.3.1 Densidad ( $\rho$ )**

Es una característica física que se estudia en muchos materiales. Es una relación entre el peso determinado y el volumen unitario de un material.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Existen diferentes condiciones del material en las que se analiza esta relación. Se presenta a continuación los diferentes tipos de densidades estudiados en los maderables.

La densidad verde es la relación que existe entre el peso verde y el volumen verde. Se obtiene en su condición natural y se determina con una muestra de poco tiempo de cortada. Es también conocida como densidad aparente.

La densidad seca al aire es la relación que existe entre el peso seco al aire y el volumen de la muestra seco al aire. Usualmente referenciada para conocer el contenido de humedad del material para el secado por ventilación y según la densidad se puede estimar si en promedio el contenido de humedad en equilibrio ya fue alcanzado o no en esas condiciones ambientales.

La densidad anhidra es la relación entre el peso seco al horno y el volumen seco al horno. Entra en consideración cuando se estudia la contracción de un maderable.

La densidad básica es la relación entre el peso seco al horno y el volumen verde. Es usualmente usada ya que en diferentes especies de maderas estos valores tienden a ser estables para cada especie.

#### **3.3.2 Contenido de Humedad (CH)**

Es la relación que existe entre el agua total contenida (libre e higroscópica) con respecto al peso seco de la probeta de guadua.

$$CH = \frac{m_i - m_0}{m_0} * 100$$

El equipo de secado que se emplea es un horno para obtener los pesos de las muestras en condición seca. El horno mantiene las probetas a una temperatura constante de  $100 \pm 5$  °C hasta que se obtenga el peso seco de la probeta.

### 3.3.3 Peso específico (Pe)

Es la relación entre el peso total de la muestra sobre el volumen total de la muestra. Debido a la porosidad y fisuramientos que tiene la guadua, se deben proteger las muestras con parafina y sumergirlas en mercurio, determinando el volumen desplazado.

$$Pe = Pt / Vt$$

Donde:

Pt: Peso total

Vt: Volumen total

### 3.4 ESFUERZO ADMISIBLE

El esfuerzo admisible, es el máximo al que puede ser sometido el material, con un cierto grado de seguridad en la estructura o elemento que se considere. En un diseño real, el esfuerzo admisible  $\sigma_{adm}$  ha de ser inferior al límite de proporcionalidad, con objeto de que pueda aplicarse en todo momento la relación lineal entre esfuerzos y deformaciones que establece la ley de Hooke (Pytel y Singer, 1994).

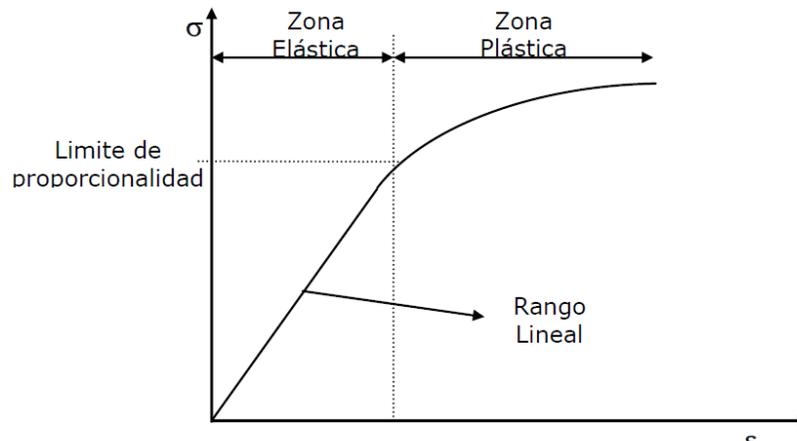
### 3.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD

Es la propiedad de cuerpos sólidos de deformarse bajo la acción de una fuerza y regresar a la forma original, cuando aquella deja de aplicarse. Este comportamiento se mantiene hasta cierto límite, por encima del cual la deformación total no es recuperable, es decir, se produce una deformación permanente en la muestra. Si continúa aplicándose una carga creciente se llega a la falla de la muestra (Seely, F.B. 1954).

El esfuerzo ( $\sigma$ ) se expresa como la fuerza que se distribuye uniformemente sobre un área de sección transversal por unidad de área, siempre y cuando la fuerza axial (P) actúe en el centroide del área de la sección transversal. La deformación ( $\delta$ ), se

produce cuando un cuerpo está sometido a una carga axial, como resultado se presentan cambios en su longitud. La deformación unitaria ( $\epsilon$ ) se calcula al dividir la deformación por la longitud inicial del sólido a evaluar.

Para la determinación del módulo de elasticidad, se establece la curva esfuerzo vs deformación unitaria (figura 3). Los puntos que reflejan proporcionalidad se ajustan a una línea recta por regresión lineal; en este punto el material debería recuperar sus dimensiones iniciales al retirar lentamente la carga. El módulo de elasticidad se determina a partir de la pendiente calculada.



**Figura 3** Curva esfuerzo ( $\sigma$ ) -Deformación ( $\epsilon$ ).  
Fuente: Seely, F.B. 1954

El procedimiento para la determinación del módulo de elasticidad en probetas de guadua se encuentra establecido en el capítulo 9 de la NTC 5525 y en la NSR10 capítulo G.12.7.3.

### 3.6 VALOR CARACTERISTICO

El valor característico de resistencia es el valor de referencia a partir del cual se calcula el esfuerzo admisible. Se calcula mediante criterios estadísticos, considerando un valor correspondiente a una determinada probabilidad de no ser superado durante un período de referencia, que tiene en cuenta la vida útil de la estructura y la duración de la acción (Ministerio de fomento, 2012).

### 3.7 ENSAYO A FLEXION

El ensayo a flexión se realizó con base en la norma NTC 5525 donde se determinan la resistencia máxima y la deflexión en diversos puntos del ensayo y el módulo de

elasticidad. Previo a las mediciones mencionadas se midió la base, la luz entre apoyos y altura de cada una de las probetas.

El módulo de elasticidad se calculó utilizando la deflexión medida en el momento en el que la probeta llega al límite de proporcionalidad.

Para la ejecución del ensayo, las probetas se colocaron sobre dos puntos de soporte, ubicados en cada uno de los extremos y se le aplicó la carga como una fuerza concentrada a la mitad de la distancia entre los puntos de apoyo.

Es importante aclarar que, para determinar la deflexión de la probeta, se acondicionó un transductor de desplazamiento que mide el desplazamiento vertical de la curva de deformación formada en la probeta.

### **3.8 GUADUA A FLEXION EN LA COSTRUCCION**

En el uso de la guadua para la construcción, la resistencia de la flexión es la propiedad más importante. Entre la compresión paralela, la tracción paralela y la flexión existen las siguientes relaciones: la resistencia a la flexión es alrededor del 75% mayor que la resistencia a la compresión. La flexión se presenta en partes estructurales denominadas vigas, las cuales pueden ser simples, empotradas y viga continua.

El bambú como material de construcción posee ventajas y desventajas dentro de las ventajas están: que es de uso ligero, flexible y existe una gran variedad para la construcción; los aspectos económicos son de bajos costos ya que es de crecimiento muy rápido de 13.5 cm /día, (Dinwoodie, J. M 1966) ecológicamente el bambú es un recurso renovable y sostenible, se utiliza como planta de reforestación, tienen una capacidad sísmica que es buena; esto debido a que es un material liviano que permite bajar el peso a la construcción y que es un factor muy importante para construcciones sismo resistentes.

### **3.9 DISEÑO EXPERIMENTAL Y MÉTODOS ESTADÍSTICOS.**

El diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso. El diseño de experimentos consiste en planear un conjunto de pruebas experimentales de tal manera que los datos generados puedan analizarse estadísticamente para obtener conclusiones válidas y objetivas acerca del sistema o proceso (Ramos R. 2008).

Los métodos estadísticos aplicados a experimentos son fundamentales para su interpretación y validación. En el diseño de experimento se plantea la secuencia completa que permitirá obtener además de información relevante y adecuada, conclusiones válidas y objetivas que den solución al problema de investigación. El investigador en un experimento diseñado realiza cambios deliberados o intencionados en las variables controlables del sistema o proceso, observa los resultados y luego interfiere o decide sobre las variables que son responsables de los cambios observados (Montgomery y Runger, 2003).

Para Mendoza y Bautista (2002), el diseño experimental debe tener algunas características como: simplicidad, grado de precisión, ausencia de error sistemático, rango de validez de las conclusiones y cálculo del grado de incertidumbre.

En términos de error experimental Kuehl (2001) destacó que se podría manejar mediante la aplicación de las acciones de control local que se refieren a continuación:

El investigador puede controlar

- Técnica
- Selección de unidades experimentales
- Bloquización o aseguramiento de la uniformidad de información en todos los tratamientos
- Selección del diseño experimental
- Medición de covariados

### **3.9.1. Variables, Factores y Niveles**

Es la característica que presentan las unidades o datos que componen una población y es lo que se desea estudiar, se representa en forma simbólica mediante símbolos o letras (Ríos V. Cecilia, 2012). Según los datos recopilados, las variables se clasifican en Cualitativas y Cuantitativas siendo la primera la representación de datos que indican cualidades atributos, características y propiedades. Por otro lado, las variables cuantitativas representan datos numéricos, son medibles y con estas variables se pueden hacer operaciones aritméticas.

Factor es aquella variable de interés cuyo posible efecto sobre la respuesta se quiere estudiar; por otro lado, los niveles de un factor son los tipos o grados específicos del factor que se tiene en cuenta en la realización del experimento.

### **3.9.2. Unidad Experimental**

Es el material para evaluar la variable respuesta y al que se le aplican los distintos niveles de los factores de tratamiento para obtener una medición o dato representativo. La hipótesis de investigación, según consideración de Kuehl (2001),

es la que establece un conjunto de circunstancias y sus consecuencias, mientras que Montgomery y Runger (2003), señalan se trata de una declaración acerca de algún aspecto del sistema en el que estamos interesados. Kuehl (2001) define como tratamientos al “conjunto de circunstancias creadas para el experimento, en respuesta a la hipótesis de investigación y son el centro de la misma.

El tipo de muestreo más importante es según Díaz (2008) el muestreo aleatorio, en el que todos los elementos de una población finita tienen la misma oportunidad o probabilidad de ser extraídos; aunque esto depende del problema y los objetivos de la investigación.

### 3.10 ANALISIS DE VARIANZA

Análisis de Varianza – ANOVA El análisis de varianza (ANOVA) es una técnica estadística que se aplica para contrastar la media de tres o más poblaciones independientes y con distribución normal, en las que operan simultáneamente varios efectos, para determinar qué clase de efectos son importantes y para estimar su influencia. Supuestas  $k$  poblaciones independientes, las hipótesis de contraste son las siguientes:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$  las medias poblacionales son iguales.

$H_1$ : Al menos dos medias poblacionales son distintas

En la Hipótesis Nula se afirma que todas las muestras proceden de la misma población, y que por lo tanto sus medias no difieren significativamente; sus diferencias se explican adecuadamente por el error muestral (la variabilidad normal que se encuentra en cualquier grupo).

Para comprobar esta hipótesis se calculan dos estimaciones de la varianza de esa supuesta misma población, siguiendo caminos distintos e independientes. Si realmente todas las muestras proceden de la misma población, y por lo tanto sus medias no difieren significativamente entre sí, ambos caminos llevan al mismo resultado.

Las dos estimaciones de la varianza  $\sigma^2$  de la población son:

Primero, a partir de las medias de los grupos, de su variabilidad con respecto a la media total; como si se asignara a cada sujeto la media de su grupo, prescindiendo de las diferencias individuales dentro de cada grupo. Es lo que se denomina Varianza entre grupos; y expresa lo que difieren unos grupos de otros.

Segundo, a partir de las puntuaciones individuales con respecto a sus medias respectivas, dentro de cada grupo. Es lo que se conoce como varianza dentro de

los grupos; indica lo que difieren los sujetos entre si dentro de cada grupo, prescindiendo de las diferencias entre medias.

Si ambas estimaciones de la varianza son iguales o muy similares, se puede afirmar que todas las muestras proceden de la misma población (se acepta la Hipótesis Nula), y por lo tanto no difieren significativamente entre sí. Si por el contrario, ambas estimaciones son muy diferentes se puede inferir que las muestras proceden de poblaciones distintas con distinta media. (Rojas, 2013)

### **3.10.1 ANALISIS DE VARIANZA SIMPLE**

El análisis de la varianza permite contrastar la hipótesis nula de que las medias de K poblaciones ( $K > 2$ ) son iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos una de las poblaciones difiere de las demás en cuanto a su valor esperado. Este contraste es fundamental en el análisis de resultados experimentales, en los que interesa comparar los resultados de K 'tratamientos' o 'factores' con respecto a la variable dependiente o de interés.

El ANOVA requiere el cumplimiento los siguientes supuestos:

- Las poblaciones (distribuciones de probabilidad de la variable dependiente correspondiente a cada factor) son normales.
- Las K muestras sobre las que se aplican los tratamientos son independientes.
- Las poblaciones tienen todas igual varianza (homoscedasticidad).

El ANOVA se basa en la descomposición de la variación total de los datos con respecto a la media global (SCT), que bajo el supuesto de que  $H_0$  es cierta es una estimación de obtenida a partir de toda la información muestra, en dos partes:

- Variación dentro de las muestras (SCD) o Intra-grupos, cuantifica la dispersión de los valores de cada muestra con respecto a sus correspondientes medias.
- Variación entre muestras (SCE) o Inter-grupos, cuantifica la dispersión de las medias de las muestras con respecto a la media global.

## **3.11 HIPOTESIS DEL MODELO**

### **3.11.1 Normalidad de los residuos**

La normalidad de los residuos puede contrastarse gráficamente mediante el gráfico probabilístico normal. En dicho grafico la diagonal representa la ubicación teórica de los residuos en el caso de que éstos sigan una distribución normal. Desviaciones de estos puntos respecto de la diagonal indican alteraciones de la normalidad de los residuos.

### **3.11.2 Homocedasticidad**

Representan los residuos estudentizados frente a los valores estimados. El análisis de este gráfico puede revelar que no se cumple la hipótesis de homocedasticidad, por ejemplo, si se detecta que el tamaño de los residuos aumenta o disminuye de forma sistemática a medida que aumenta  $Y$ . Si dicho gráfico no muestra patrón alguno entonces se puede aceptar que se cumple la hipótesis de varianza de los residuos constante. Además de contrastar la homocedasticidad, este gráfico sirve para detectar indicios de falta de adecuación del modelo propuesto a los datos. Si se observan trayectorias de comportamiento no aleatorio, esto es indicio de que el modelo propuesto no describe adecuadamente los datos.

### **3.11.3 Prueba de Levene**

La prueba de Levene, propuesta en 1960, es utilizada para evaluar la homogeneidad de varianzas de una variable calculada para dos o más grupos. Si el valor  $P$  resultante de la prueba de Levene es inferior a un valor crítico (Típicamente 0,05), la hipótesis nula de igualdad de varianzas se rechaza y se concluye que hay una diferencia entre las variaciones en la población (Turner & Thayer, 2001).

Algunos procedimientos estadísticos comunes asumen que las varianzas de las poblaciones de las que se extraen diferentes muestras son iguales. La prueba de Levene evalúa este supuesto. Se pone a prueba la hipótesis nula de que las varianzas poblacionales son iguales (llamado homogeneidad de varianza ú homocedasticidad).

### **3.11.4 Independencia de los Residuos**

La falta de independencia, se produce fundamentalmente cuando se trabaja con variables aleatorias que se observan a lo largo del tiempo, esto es, cuando se trabaja con series temporales. Por ello, una primera medida para tratar de evitar la dependencia de las observaciones consiste en aleatorizar la recogida muestral. El que no se cumpla la hipótesis de independencia afecta gravemente a los resultados del modelo de regresión ya que se obtienen estimadores de los parámetros y predicciones ineficientes y los intervalos de confianza y contrastes que se deducen de la tabla ANOVA no son válidos.

## 4. METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló con el objetivo de dar continuidad a la caracterización de las diferentes propiedades físico-mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth procedente del municipio de Pitalito-Huila, el proyecto fue desarrollado en 5 etapas como se indica a continuación:

Etapa 1: Revisión Bibliográfica.

- Manejo silvicultura de la *Guadua angustifolia*.
- Propiedades físicas de la *Guadua angustifolia*: Contenidos de Humedad y Densidad.
- Propiedades mecánicas: Esfuerzo a flexión.
- Normas Técnicas Colombianas (NTC 5525, NTC 5407, NTC 5301, NTC 5407), Normas Sismo resistentes 2010 (NSR-10), ISO/DIS 22157-2 “ Laboratory Manual On testing Methods for determination of Physical an Mechanical Properties of Bambu ” y protocolo para la medición del contenido de humedad de la *Guadua angustifolia* del Instituto de Investigaciones Tecnológicas de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

Etapa 2: Visita y reconocimientos de campo.

- Recolección de información básica de los lugares de donde se extrajo la guadua.
- Selección aleatoria del material para el corte.

Etapa 3: Transporte y preparación del material:

- Transporte de la guadua desde los municipios de Pitalito y Timana hasta la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.
- Corte y preparación de las probetas, según protocolo establecido por la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá para ensayos Físicos y Mecánicos.

Etapa 4: Ejecución de Ensayos.

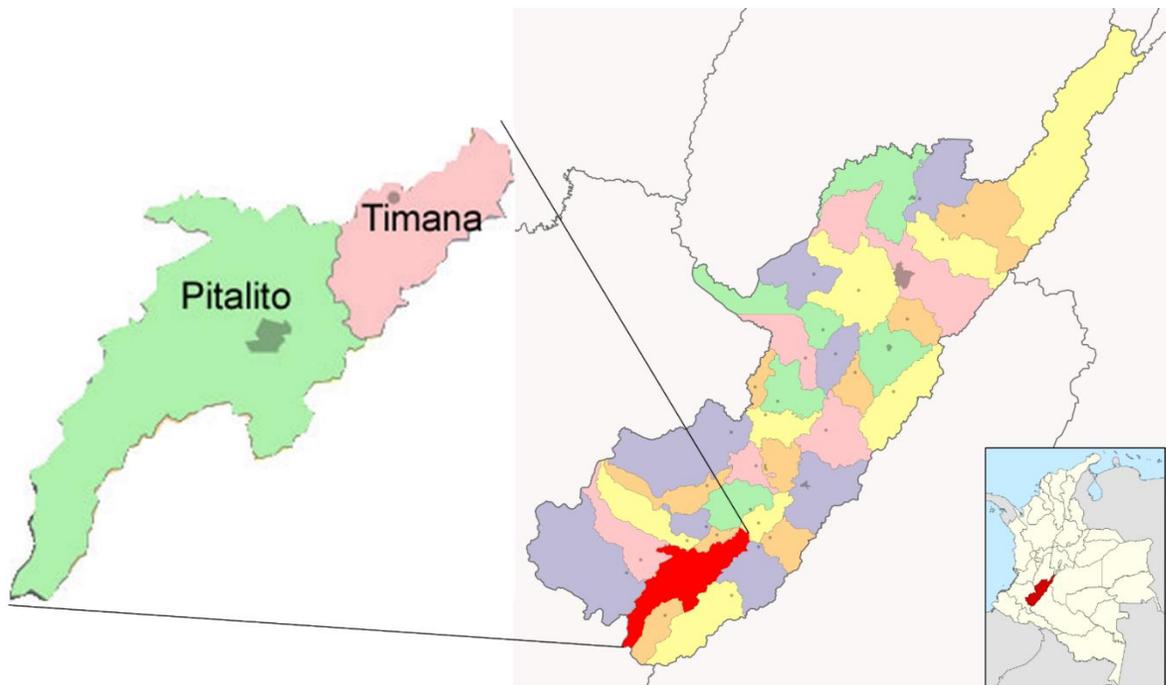
- Medición de Contenidos de Humedad y densidad de la *Guadua angustifolia*.
- Medición del esfuerzo a flexión y módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia*.

Etapa 5: Análisis Estadístico.

- Determinación del Contenido de Humedad de la *Guadua angustifolia*
- Determinación densidad de la *Guadua angustifolia*
- Determinación del esfuerzo a flexión y módulo de elasticidad Promedio de la *Guadua angustifolia*
- Comparación de las propiedades Físicas y Mecánicas a evaluar con estudios realizados.

#### 4.1 LOCALIZACIÓN

El estudio se desarrolló en la zona rural de los municipios de Pitalito y Timaná del departamento del Huila, los cuales se encuentran enmarcados dentro las siguientes coordenadas geográficas: 1°51'14" latitud norte, 76°03'05" longitud oeste y 1° 58' latitud norte, 75° 56' longitud oeste respectivamente, El rango de altitud de la zona de estudio es de 1000-1800 m.s.n.m, la temperatura media anual oscila entre 18-21°C promedio multianual. Los ensayos se realizaron en la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá la cual se encuentra a 291 km de la capital de Huila, con una altitud de 2600 msnm y una temperatura promedio de 12 °C. (figura 4).



**Figura 4** Localización Zonas de estudio  
Fuente: Los autores.

## 4.2 NORMAS Y PROTOCOLOS

Para la selección, caracterización física, corte, determinación de esfuerzo a flexión, módulos de elasticidad, densidad y contenido de humedad para la *Guadua angustifolia*, se procedió de acuerdo con las siguientes normas y protocolos:

1. Norma unificada para el manejo y aprovechamiento de la guadua.
2. Ley forestal 1021 de 2006.
3. ISO/TC 165N315. "Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo". 55
4. ISO/DIS 22157. "Determination of physical and mechanical properties of bamboo".
5. ISO/DIS 22157-2. "Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo".
6. NTC5300 "Cosecha y postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth".
7. NTC5301 "Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth".
8. NTC5525 "Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth".
9. NSR10 capítulo G.12 "Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistente".

## 4.3 SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

Las muestras de material vegetal fueron seleccionadas de cuatro 4 rodales, de los cuales ya se han realizado investigaciones como: "Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila" (Erazo y Capera, 2012), "Esfuerzo máximo de tensión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila" (Alarcón y Olarte, 2013), "resistencia a compresión perpendicular y determinación del módulo de elasticidad circunferencial de la *Guadua angustifolia* Kunth del municipio de Pitalito" (López y Salcedo, 2016). Se seleccionaron tres sitios en el municipio de Pitalito y uno en el municipio de Timaná (tabla 1), para garantizar representatividad del material en el área de estudio.

Por razones prácticas se asignó para cada predio o rodal una letra que los identificaran y diferenciaran, por consiguiente, se referirá a cada uno de ellos como zonas A, B, C y D.

**Tabla 1** Localización zonas de estudio.

PREDIO	VEREDA	MUNICIPIO	COORDENADAS MAGNASIRGAS		Altitud (m.s.n.m)
			LATITUD (N)	LONGITUD (O)	
A: La Dalia	Palmarito	Pitalito	1°47'13.80"	76°04'03.40"	1294
B: Villa María	Zanjones	Pitalito	1°50'26.11"	76°01'58.31"	1279
C: La Vega	Pantanos	Timaná	1°54'19.80"	75°58'02.80"	1253
D: Sena Yamboró	Aguadas	Pitalito	1°53'36.00"	76°05'25.10"	1331

#### 4.4 PREPARACION Y CORTE DE LOS CULMOS

En el proceso de corte primero se realizó una inspección ocular a los rodales objeto de estudio, donde se identificaron, seleccionaron y marcaron las guaduas maduras o hechas (entre 3 y 6 años de edad), con un anillo de pintura naranja a 1 metro de altura a partir del cuello de la guadua, para facilitar la identificación de los culmos a cortar dentro del guadual (Figura 5).



**Figura 5** Selección de la guadua, predio La vega, Timana Huila.  
Fuente: Los autores

Para el corte de la guadua se siguieron algunas recomendaciones propias de los campesinos de la zona, este se realizó con machete y se hizo a una altura de aproximadamente un metro por encima del suelo (Figura 6). Posterior al corte, se siguió con el proceso de sangrado o avinagrado en el guadual (pérdida de humedad), durante aproximadamente 2 semanas. Los permisos de corte y aprovechamiento fueron otorgados por la oficina de ambiente y gestión de riesgos del municipio de Pitalito-Huila.

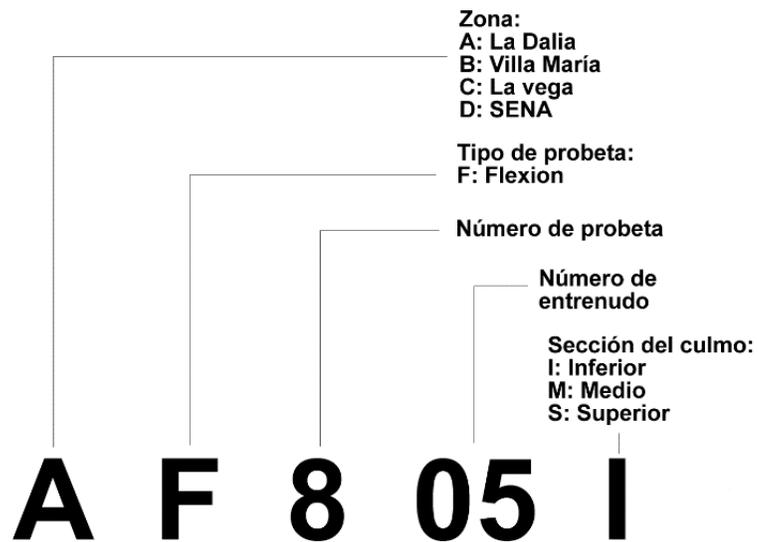


**Figura 6** Corte sobre el canuto, para evitar el daño físico del rizoma  
Fuente: Los autores

Finalizado este proceso, los tallos fueron medidos y marcados en 3 secciones longitudinales: cepa (1,5m), basa (4,5m) y sobre-basa (3,0m) (Figura 7), posteriormente se realizó la marcación y medición de los entrenudos de los tallos (Figura 8), seguidamente se extrajo del tallo una sección de 5 metros proveniente de la cepa y basa de la cual se midieron dos diámetros perpendiculares para la sección transversal, inferior y superior, en los mismos puntos se realizó la medición de 4 espesores, finalmente se registró en un formato el nombre del predio, los entrenudos, longitud, diámetro y espesores de la sección como se indica en las normas NTC5525 y NTC5300.



**Figura 7** Medición de diámetro, espesor y medición de entrenudos.  
Fuente: Los autores



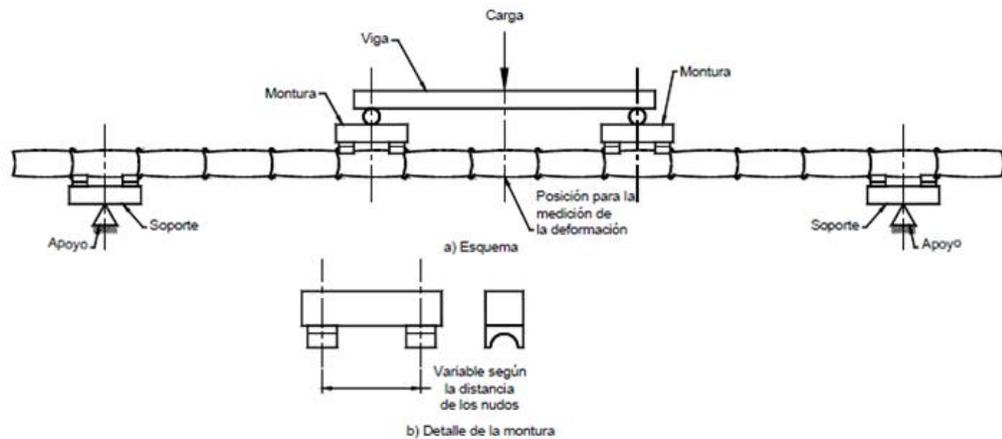
**Figura 8** Nomenclatura usada para la identificación de las probetas  
Fuente: Los autores.

#### 4.5 PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYOS

El material fue transportado desde la zona de estudio hasta las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia, edificio SINDU, sede Bogotá, el cual fue cubierto con plástico negro para evitar la pérdida de humedad del material. La preparación de las probetas para el ensayo a flexión se realizó según la norma NTC-5525, estas no debían tener defectos visibles, el espacio libre entre apoyos debía ser al menos  $30 \times D$ , donde  $D$  es el diámetro externo. La longitud total de la probeta debía ser la longitud entre apoyos más una longitud adicional para garantizar al menos un entrenado después del apoyo en cada extremo.

#### 4.6. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Los ensayos se realizaron con la máquina universal Hung Ta Instrument Co Ltd. Modelo 2010 localizada en el laboratorio SINDU de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, con ayuda de la laboratorista Diana Carolina Ovalle Ovalle. Se utilizaron probetas de la sección media de los culmos. La carga se aplicó sobre los tercios medios de cada probeta, a una velocidad constante de 0.5 mm/s conforme a lo señalado por la norma NTC 5525. La disposición de las probetas se realizó como se ilustra en la figura 9.



**Figura 9** Esquema del ensayo de flexión.  
Fuente: NTC 5525 (2007)

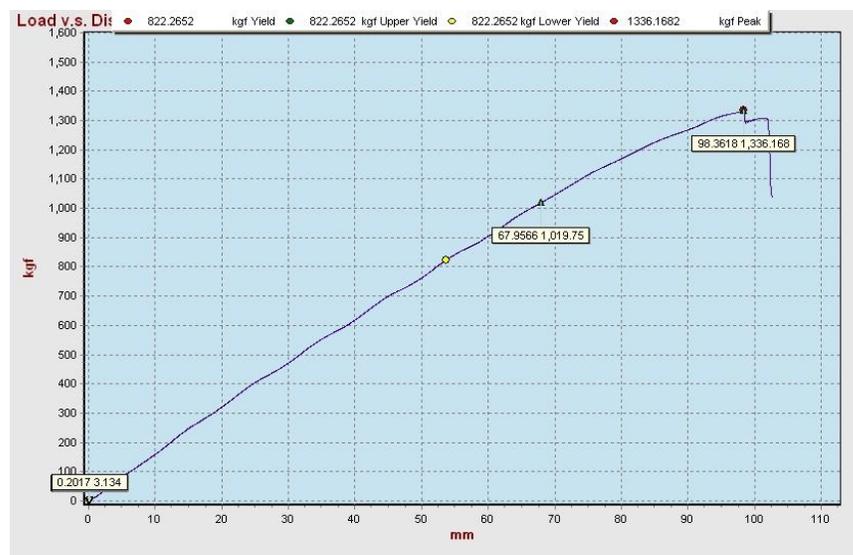
De acuerdo con la norma, el ensayo debía ser de flexión en cuatro puntos y en los soportes se debía permitir que el culmo rotara libremente, razón por la cual la configuración de los soportes quedó como se presenta en la figura 10.



**Figura 10** Probeta de guadua apoyada en sus extremos y con aplicación de la carga en el tercio medio.

Fuente: Los autores

Los ensayos se realizaron hasta la carga última con el fin de analizar el comportamiento elástico del material, las gráficas esfuerzo vs deformación elaboradas por el ordenador adaptado a la máquina universal, permitieron realizar una primera aproximación (figura 11).



**Figura 11** Gráfico esfuerzo vs deformación

Fuente: Los Autores

Se ensayaron 75 probetas hasta la carga máxima para determinar la resistencia última a flexión y el Módulo de Elasticidad.

#### 4.7 ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD

La prueba del contenido de humedad se hizo con las mismas probetas falladas en los ensayos de esfuerzo a flexión y módulo de elasticidad, esto con el fin de medir con la mayor aproximación posible el contenido de humedad de las probetas; una vez finalizado el ensayo. Se tomó un tramo de la probeta lo más cerca posible a la falla, se marcaron dependiendo la zona y el número de la probeta.

Posteriormente se realizó el pesaje de las muestras, la cuales se guardaron en bolsas ziploc, esto para evitar pérdida o ganancia de humedad de las muestras, finalmente se introdujeron al horno de secado a una temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , como lo establece la Norma Técnica Colombiana NTC 5525 (Figura 12).



**Figura 12** Secado de las probetas de guadua, Laboratorio de maderas y guadua. Universidad Nacional Sede Bogotá.  
Fuente: Los autores

#### 4.8 ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD

Para determinar la densidad de las probetas se implementó el principio de Arquímedes el cual afirma que todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado.

## 4.9 ANÁLISIS DE DATOS

### 4.9.1 ANÁLISIS DE VARIANZA SIMPLE

El análisis estadístico se realizó con base al diseño experimental, por lo cual se desarrolló un análisis de varianza (ANOVA) simple para las 75 probetas. La selección de las muestras y el procesamiento estadístico se realizó de forma totalmente aleatoria, evaluando fundamentalmente los esfuerzos a flexión de las probetas ensayadas. El análisis fue desarrollado por medio del software STATGRAPHICS CENTURION XVI, asumiendo como hipótesis la normalidad, homocedasticidad e independencia de los datos.

### 4.9.2 FACTORES, NIVELES DE FACTOR Y VARIABLE DEPENDIENTE

La variable dependiente para el ANOVA simple es el esfuerzo a flexión de la guadua y el factor que puede afectarla es la procedencia. Se mencionan a continuación, en la tabla 17 la variable dependiente, el factor y niveles del factor. (Tabla 2)

**Tabla 2** Factores, niveles de factor y variable dependiente

Factor	Niveles de Factor	Variable dependiente
Zona	1. La Dalia 2. Villa María 3. La Vega 4. SENA- Yamboró	Esfuerzo a Flexión (MPa)

## 5. CALCULOS Y RESULTADOS

Los datos correspondientes a la geometría de las probetas obtenidos durante la caracterización física tomada en campo, permitieron calcular la distancia de la probeta para el ensayo a partir de los diámetros promedios, las áreas de las secciones transversales de cada una de las probetas fueron calculadas con los diámetros y espesores promedios tomados en los puntos de carga de cada una de las probetas como lo establece la Norma Técnica Colombiana NTC 5525. Con estos últimos se calcularon, luego de los ensayos a carga última, los esfuerzos a flexión; se obtuvieron además valores de Contenidos de Humedad para todas las probetas. Los valores característicos y esfuerzos admisibles se calcularon luego del análisis estadístico de los resultados. Se identificaron de forma general algunos parámetros para la caracterización física.

### 5.1 CARACTERIZACION FISICA DE LOS CULMOS

Los resultados de la caracterización física de los culmos se muestran en los ANEXOS 1, 2, 3 y 4 para los Predios La Dalia, Villa María, La Vega y Sena Yamboró respectivamente, los diámetros y espesores de pared correspondientes a las secciones transversales superior e inferior de cada culmo se presentan en los ANEXOS 5, 6, 7 y 8, así como el número de entrenudos con su respectiva medida de longitud. La tabla 3 se listan algunos valores promedios junto con las áreas de secciones transversales calculadas.

### 5.2 ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Según lo establecido por la NSR 10

$$A = \frac{\pi}{4} (D_e^2 - (D_e - 2t)^2)$$

Donde:

A = área neta de la sección trasversal de guadua, mm<sup>2</sup>

D<sub>e</sub> = diámetro externo de la guadua, mm

t = espesor de la pared de la guadua, mm

Muestra de cálculo:

Probeta A1

$$A = \frac{\pi}{4} ((107.33 \text{ mm})^2 - (107.33 \text{ mm} - 2(13.42))^2)$$
$$A = 3959,89 \text{ mm}^2$$

**Tabla 3** Área de la sección transversal, espesores y dimensiones promedio de probetas procedentes de la zona A.

PROBETA	D (mm)	e (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )
A1	107,33	13,42	3959,89
A2	110,37	13,03	3983,74
A3	109,77	14,93	4449,43
A4	105,69	12,18	3578,35
A5	109,38	12,69	3855,51
A6	108,71	12,90	3881,97
A7	106,71	12,50	3698,78
A8	105,40	11,61	3420,65
A9	104,99	12,61	3660,30
A10	109,76	12,46	3807,87
A11	111,06	13,60	4163,61
A12	105,77	13,83	3994,83
A13	109,66	12,59	3839,47
A14	103,97	12,52	3595,74
A15	101,49	11,42	3231,84
A16	112,87	13,50	4215,44
A17	105,99	12,15	3582,04
A18	111,43	12,50	3884,87
A19	108,06	13,45	3998,44
A20	116,03	14,27	4561,39

### 5.3 CONTENIDO DE HUMEDAD

Según la NTC 5525

$$CH = \frac{m_i - m_0}{m_0} * 100$$

$m_i$  : Masa de la probeta antes del secado.

$m_0$  : Masa de la probeta después del secado.

Muestra de cálculo:

Probeta A1

$$CH = \frac{24.39 - 11.63}{11.63} * 100$$

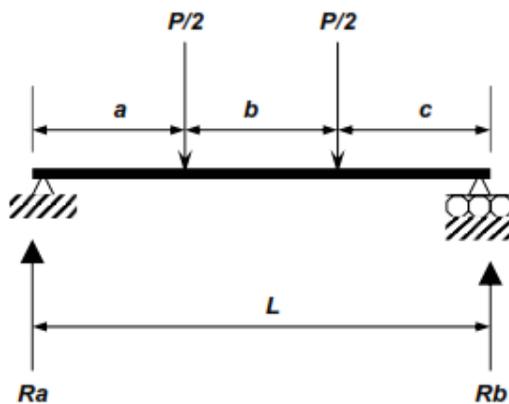
$$CH = 109.716 \%$$

## 5.4 ESFUERZO NORMAL Y MÓDULO DE ELASTICIDAD

Para determinar las propiedades mecánicas de la guadua sometida a flexión se tomaron como referencia las investigaciones de Rusinque (2007) titulada: "Influencia de la perforación, para inmunización en los tabiques, en el comportamiento de elementos solicitados a flexión de *Guadua angustifolia*" y Prieto y Sánchez (2002). "Comportamiento de la *Guadua angustifolia* sometida a flexión".

Se modela un ensayo en el cual los extremos de las probetas pueden girar libremente, pero no pueden trasladarse o moverse en dirección lateral (es decir, transversalmente al eje). Así mismo, un extremo de la viga puede moverse libremente en dirección axial o longitudinal. Los apoyos de una viga simple generan reacciones verticales que actúan hacia arriba. Las cargas están aplicadas en los tercios medios del elemento o muy cerca de ellos.

También se espera que en la región central o sus límites se presente el momento de flexión máximo. Los valores de carga máxima, esfuerzo último a flexión, densidad y contenido de humedad de cada probeta se encuentran en los anexos 9,10,11 y 12. La tabla 4 contiene una muestra de los valores obtenidos para probetas de la zona A.



**Figura 13** Modelo de los ensayos a flexión.

Fuente: Prieto y Sánchez (2002).

Al ser una viga estáticamente determinada sus reacciones se pueden calcular y de acuerdo a la figura 13 son iguales a:

$$R_a = \frac{P(b + 2c)}{2L}$$

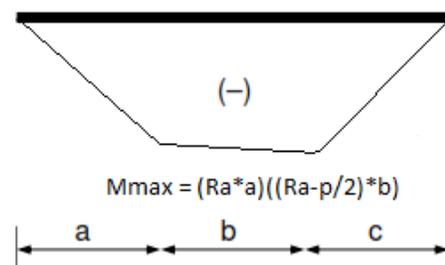
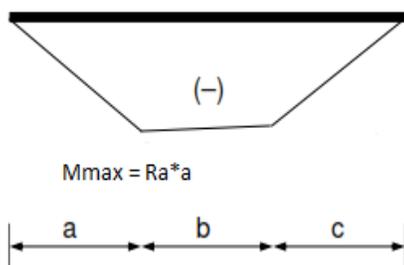
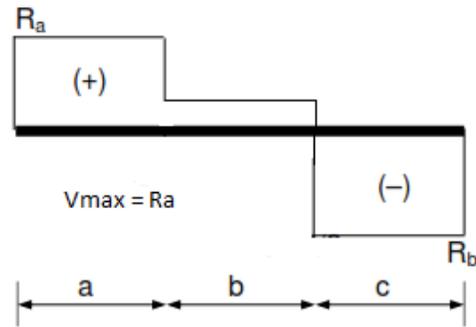
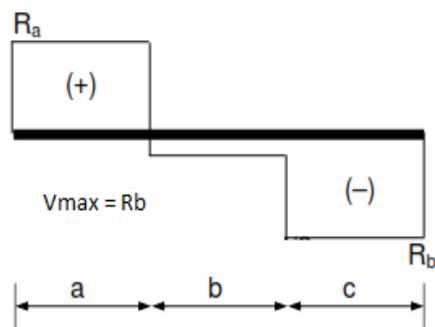
$$R_b = \frac{P(b + 2a)}{2L}$$

- $R_a$  y  $R_b$  : Son respectivamente las reacciones en los apoyos de la viga.  
 $a, b$  y  $c$  : Características geométricas de las cargas.  
 $L$  : Luz libre entre apoyos.  
 $P$  : Carga aplicada

La figura 14 muestra las fuerzas internas producidas por las cargas y reacciones descritas:

Si  $\frac{P}{2} > R_a < R_b$

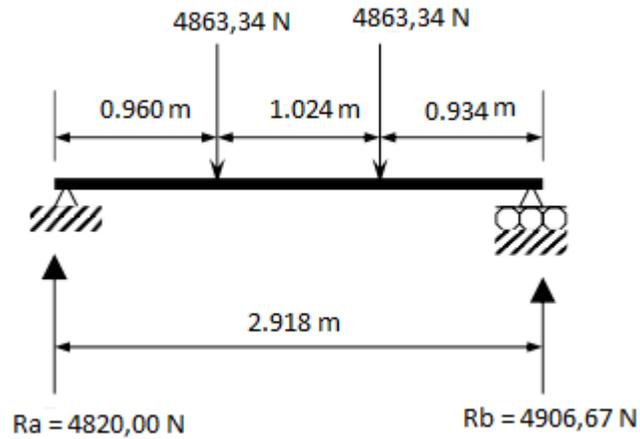
Si  $\frac{P}{2} < R_a > R_b$



**Figura 14** Diagramas teóricos de fuerza cortante y momento flector  
Fuente: Los autores.

Muestra de cálculo:

Probeta A1



$$R_a = \frac{9726,67 \text{ N}(1,024 \text{ m} + 2(0,934 \text{ m}))}{2(2,918 \text{ m})}$$

$$R_a = 4820 \text{ N}$$

$$R_b = \frac{9726,67 \text{ N} (1,024 \text{ m} + 2(0,960 \text{ m}))}{2(2,918 \text{ m})}$$

$$R_b = 4906,67 \text{ N}$$

$$V_{\max} = 4906,67 \text{ N}$$

$$M_{\max} = 4820 \text{ N} * 0,960 \text{ m} = 4627,20 \text{ N} - \text{m}$$

#### 5.4.1 ESFUERZO NORMAL

$$\sigma = \frac{32M_{\max}D_e}{\pi(D_e^4 - (D_e - 2t)^4)}$$

Donde:

- $\sigma$ : Esfuerzo normal, Pa
- $M_{\max}$ : Momento flexionante, N-m
- $D_e$ : Diámetro externo, m
- $t$ : Espesor de la pared, m

Muestra de cálculo:

Probeta A1

$$\sigma = \frac{32(4627,20 \text{ N} - \text{m})(0.10733 \text{ m})}{\pi((0.10733 \text{ m}^4) - (0.10733 \text{ m} - 2(0.01342 \text{ m}))^4)}$$

$$\sigma = 55.74 \text{ Mpa}$$

**Tabla 4** Esfuerzo a carga máxima, contenido de humedad y densidad de las probetas de la zona A.

PROBETA	Carga P (N)	$\sigma$ (MPa)	CH (%)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )
A1	9726,67	55,75	109,72	1,09
A2	12169,33	67,97	76,32	1,11
A3	10752,67	53,22	124,16	1,10
A4	10275,67	57,14	136,17	1,07
A5	11879,33	63,04	106,69	1,06
A6	10971,33	58,06	100,30	1,09
A7	8782,67	56,71	100,32	1,07
A8	7286,33	55,84	94,59	1,06
A9	13401,33	71,62	85,39	1,15
A10	11478	58,91	125,96	1,10
A11	9782,33	42,54	130,71	1,07
A12	10116,33	51,26	116,60	1,07
A13	10666	70,52	84,37	1,09
A14	11345,33	67,46	82,36	1,09
A15	9517,00	59,95	105,71	1,11
A16	10173,67	47,76	97,75	1,06
A17	12073,33	62,99	82,27	1,25
A18	9696,67	56,63	91,60	1,06
A19	10494,33	55,73	126,29	1,06
A20	13824	58,41	102,05	1,10

Para algunos ensayos las distancias de aplicación de la carga fueron diferentes a L/3 (al aplicar cargas donde hay nudos), esto genera reacciones diferentes en los extremos y como los momentos producidos también son diferentes, con el máximo se calcula el esfuerzo para cada aplicación de carga y con la carga última los esfuerzos últimos a flexión.

## 5.4.2 MÓDULO DE ELASTICIDAD

La mecánica de sólidos proporciona varios métodos para encontrar los desplazamientos que se producen en una viga en función de la disposición de aplicación de cargas y la rigidez de la misma, de esta manera se puede hallar el módulo de elasticidad, conociendo además la geometría de la sección transversal.

Para calcular las deformaciones debidas a corte la aplicación del método de la carga unitaria conlleva a determinar que la deflexión total tiene dos componentes una debida a flexión y otra debida a corte. Es decir:

$$\Delta = \Delta (E) + \Delta (G)$$

La aplicación del método de la carga unitaria supone resolver la estructura para dos sistemas: uno real y otro virtual, el sistema real lo componen las cargas aplicadas para el caso general de la viga simplemente apoyada de la figura 9 y el sistema virtual consiste en suponer una carga unitaria sobre la estructura actuando en el punto donde se coloca el deformímetro (en  $b/2$ ); dicho desarrollo conduce a la siguiente expresión:

$$\Delta = \int \frac{M_R * m_u}{EI} dx + \int \frac{V_R * v_u}{GA} dx$$

Donde

- $M_R$  y  $m_u$  : Corresponden a los momentos internos de la estructura real y virtual.
- $V_R$  y  $v_u$  : Representan los cortantes internos de las estructuras mencionadas.
- $E$  y  $G$  : Módulos de elasticidad a flexión y de rigidez a cortante.
- $I$  : Momento de inercia de la sección transversal.
- $A$  : Área modificada por cortante.

En teoría los desarrollos de estas integrales resuelven las deflexiones debidas a flexión y a cortante. Su desarrollo para el caso general de la Figura 13 conlleva a las siguientes expresiones:

$$\Delta (E) = \frac{P}{LEI} \left[ \left( c + \frac{b}{2} \right) \left( \frac{\left( a + \frac{b}{2} \right)^3}{3} \left( \frac{(b+2c)}{2L} - \frac{1}{2} \right) + \frac{a \left( a + \frac{b}{2} \right)^2}{4} - \frac{a^3}{12} \right) + \left( a + \frac{b}{2} \right) \left( \frac{\left( c + \frac{b}{2} \right)^3}{3} \left( \frac{(b+2a)}{2L} - \frac{1}{2} \right) + \frac{c \left( c + \frac{b}{2} \right)^2}{4} - \frac{c^3}{12} \right) \right]$$

Teniendo en cuenta que el término en paréntesis es constante puesto que sólo depende de la geometría de aplicación de las cargas, entonces la expresión se puede abreviar como sigue.

$$\Delta (E) = \frac{P}{LEI} [\alpha]$$

$$\Delta (G) = \frac{P}{LGKA} \left[ \left( c + \frac{b}{2} \right) \left( \frac{(b+2c)(a+\frac{b}{2})}{2L} - \frac{b}{4} \right) + \left( a + \frac{b}{2} \right) \left( \frac{(2a+b)c}{2L} + \frac{b(b+2c)}{4l} - \frac{b}{4} \right) \right]$$

De la misma manera, llamando  $\beta$  al término constante en paréntesis, se tiene:

$$\Delta (G) = \frac{P}{LGKA} [\beta]$$

Donde:

K = Es el factor de forma de la sección circular hueca, el cual incluye las deformaciones que sufre la sección transversal de la viga debido a los esfuerzos cortantes, en este caso K es igual a  $\frac{1}{2}$ . También se define como la relación entre el esfuerzo cortante promedio en la sección y el esfuerzo cortante en el centroide de la sección transversal.

Para hallar el módulo de elasticidad a flexión real, teniendo en cuenta tanto las deformaciones por flexión como las deformaciones por cortante, se consideró en primer lugar la relación entre el módulo de elasticidad por flexión y el módulo de rigidez a cortante ( $E/G=5.1$ ), presentada por Torres (2005). Sin embargo, en su investigación, no se realizaron ensayos para hallar el módulo de rigidez a cortante en *Guadua angustifolia*, y en su lugar se adoptaron los resultados encontrados para Bambú Mosó extraído de Sao Paulo, Brasil; por ser una especie de bambú con características similares a la *Guadua angustifolia*.

En el presente trabajo, para la determinación del módulo de elasticidad se adoptó una relación entre el módulo de elasticidad por flexión E y el módulo de rigidez a cortante G, de una investigación realizada por (Lozano y colaboradores (2010) titulada: "Validación de la *Guadua angustifolia* como material estructural para diseño, por el método de esfuerzos admisibles", realizada con material procedente de los departamentos del Quindío, Valle del Cauca y la provincia de Rionegro, en el año 2010.

Relación  $E/G = 12$

Seguidamente, con las relaciones de Carga Vs. Desplazamiento encontradas experimentalmente, se halló el módulo de elasticidad a flexión, de acuerdo a las expresiones obtenidas y teniendo en cuenta que su relación con el módulo de rigidez a cortante es aproximadamente 12. Se tiene:

$$E = m \left( \frac{\alpha}{LI} + \frac{12 \beta}{LKA} \right)$$

La expresión en paréntesis depende de la disposición de las cargas aplicadas, la geometría de la sección transversal en el punto donde se tomaron lecturas de desplazamiento, es decir, el centro de la luz y la longitud de la probeta.

Donde:

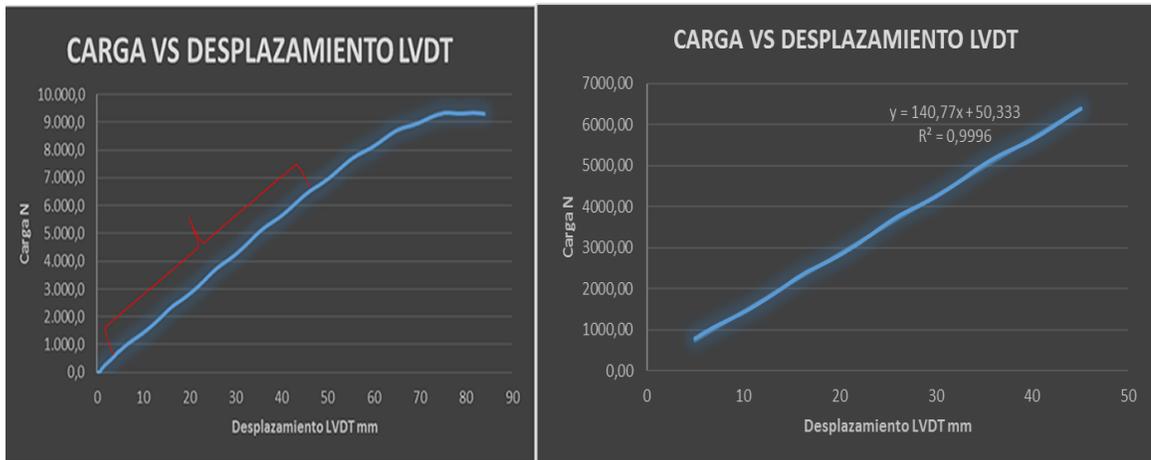
m : Pendiente de la recta Carga Vs. Desplazamiento, dentro del rango elástico:

Muestra de cálculo:

Probeta A1

**Tabla 5** Parámetros para el cálculo del módulo de elasticidad

L (mm)	2918
I (mm <sup>4</sup> )	4454277,92
K	0.5
A (mm <sup>2</sup> )	3959,89
β (mm <sup>2</sup> )	1374788,69
α (mm <sup>4</sup> )	12,638x10 <sup>11</sup>
m (N/m)	140.77



**Grafica 1** Pendiente de la recta Carga Vs. Desplazamiento, dentro del rango elástico.

$$E = 140.77 \frac{N}{m} \left( \frac{1263836730709,33 \text{ mm}^4}{(2918 \text{ mm})(4454277.92 \text{ mm}^4)} + \frac{12 (1374786.69 \text{ mm}^2)}{(2918 \text{ mm})(0.5)(3959.89 \text{ mm}^2)} \right)$$

$$E = 14089,92 \text{ Mpa}$$

## 5.5 ESFUERZOS ADMISIBLES Y VALORES CARATERISTICOS.

Los esfuerzos admisibles y valores característicos fueron calculados con base en la información estadística mostrada por el programa STARGRAPHICS CENTURIUN VI. Los datos utilizados para dicho fin son: esfuerzo ultimo a flexión promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Se utiliza como referencia para las respectivas muestras de cálculos probetas procedentes de culmos de la zona A.

### 5.5.1 VALOR CARACTERÍSTICO

Se calculó para las probetas de falla el valor característico en MPa según lo establecido en la ecuación (G.12.7.4- NSR-10)

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

Donde:

$f_{0.05i}$  : Valor correspondiente al percentil 5 de los datos (MPa)  
m : Promedio,  
s : Desviación Estándar.  
n : Número de ensayos.

Para el cálculo del percentil 5% se utiliza la siguiente ecuación (G.A.1 - NSR-10):

$$f_{0.05i} = Fc * (1 - (1.645 * COVc))$$

Donde:

Fc : Esfuerzo básico promedio (MPa)  
COVc : Coeficiente de variación de esfuerzo

#### Muestra de Calculo:

El esfuerzo a flexión promedio para 19 probetas fue de 58,3444 MPa y el coeficiente de variación de los datos 12.71 %; con esta información se calculó el valor del percentil 5 de los datos y seguidamente el valor característico considerando la desviación estándar  $s = 7.42$

$$f_{0.05i} = 58.3444 \text{ Mpa} * (1 - (1.645 * 0.1271))$$

$$f_{0.05i} = 46.15 \text{ Mpa}$$

$$f_{kc} = 46.15 \text{ Mpa} \left[ 1 - \frac{2.7 \frac{7.42}{58.3444 \text{ Mpa}}}{\sqrt{19}} \right]$$

$$f_{kt} = 42.51 \text{ Mpa}$$

### 5.5.2 ESFUERZO ADMISIBLE

La ecuación que se muestra a continuación representa el cálculo de esfuerzos admisibles que se calcula luego de obtener el valor característico:

$$Fc_{adm} = \left( \frac{FC}{FS * FDC} \right) * fkc$$

Donde

$F_{c adm}$  : Esfuerzo admisible a flexión (MPa)  
 $f_{kc}$  : Valor característico del esfuerzo a flexión (MPa)  
FS : Factor de seguridad (2 según NSR-10)  
FDC : Factor de duración de carga (1.5 según NSR-10)  
FC : Factor de reducción por diferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de aplicación de las cargas en las estructuras (1,0 según NSR-10)

$$F_{c adm} = \left( \frac{1}{2 * 1.5} \right) * 42.52 \text{ Mpa}$$

$$F_{c adm} = 14.17 \text{ Mpa}$$

## **6. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **6.1 ANALISIS EXPLORATORIO**

Los datos de esfuerzo a flexión, diámetro, espesor de pared, Módulo de Elasticidad, densidad, luz entre apoyos y Contenido de Humedad, fueron analizados independientemente y de manera exploratoria en su totalidad, por factor y niveles de factor para determinar si correspondían a una distribución normal. La normalidad se verificó mediante el análisis de los coeficientes de asimetría y curtosis. Los datos atípicos encontrados que afectaban la normalidad de los datos fueron descartados.

El análisis descriptivo para la variable mencionada y el análisis de varianza simple para esfuerzo a flexión se muestran en el presente capítulo.

### **6.2 EXCLUSIÓN DE DATOS ATÍPICOS**

Las probetas A17, B2, C11, D4 y D12, fueron excluidas por tratarse de valores atípicos. Las Probetas A17 y B2 no contaban con datos de desplazamiento y por tal motivo no se pudo calcular su respectivo módulo de elasticidad. La probeta C11 tenía un valor demasiado alto de módulo de elasticidad, la D4 su densidad tiene diferencia significativa con el resto de probetas de la zona D y la D12 cuenta con un esfuerzo a flexión muy bajo.

### **6.3 ANÁLISIS DESCRIPTIVO**

La información contenida en las tablas que se presentan a continuación permitió caracterizar el conjunto de datos para cada una de las variables a partir de medidas de tendencia central y de variabilidad o dispersión; para el caso de esfuerzo a flexión dichas mediciones se presentan en las Tablas 6 a la 9.

El resumen estadístico del diámetro se presenta en la Tabla 6, del mismo modo que en la Tabla 7 se presenta para espesor de pared y en las Tablas 8 y 9 para la densidad y contenido de Humedad.

**Tabla 6** Análisis descriptivo para diámetros para las 4 zonas.

Zona	Recuento	Promedio (mm)	Desviación Estándar (mm)	Coefficiente Variación (%)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Rango (mm)
La Dalia	19	108,33	3,42	3,15	101,49	116,02	14,53
Villa María	19	119,47	8,63	7,23	102,24	135,23	32,98
La Vega	19	121,27	7,02	5,79	109,65	133,48	23,82
SENA	13	115,87	6,76	5,84	100,49	123,65	23,16
Total	70	116,27	8,39	7,22	100,49	135,23	34,73

Se encontró que el diámetro presentaba una disminución de la sección inferior a la superior, comportamiento normal en el desarrollo de la guadua. Los menores diámetros se encontraron en las probetas del Predio A (La Dalia) con diámetro promedio de 108.33 mm, también se encontró que los predios B y C (Villa María y la vega), cuentan con los mayores diámetros, con promedio de 119.48 mm y 121.27 mm respectivamente.

**Tabla 7** Análisis descriptivo para espesor de pared para las 4 zonas.

Zona	Recuento	Promedio (mm)	Desviación Estándar (mm)	Coefficiente Variación (%)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Rango (mm)
La Dalia	19	12,94	0,87	6,70	11,42	14,93	3,51
Villa María	19	14,80	1,14	7,74	13,01	17,02	4
La Vega	19	14,48	1,38	9,54	11,45	16,86	5,41
SENA	13	14,49	1,83	12,67	11,63	17,76	6,12
Total	70	14,15	1,48	10,46	11,42	17,76	6,34

El espesor muestra un comportamiento de mayor a menor a medida que aumenta la altura de la guadua; el espesor de pared correspondiente a la zona A (La Dalia) fue el más bajo con promedio de 12.95 mm, el promedio más alto fue de 14.81 mm para la zona B (Villa María).

**Tabla 8** Análisis descriptivo para densidad para las 4 zonas.

Zona	Recuento	Promedio (gr/cm <sup>3</sup> )	Desviación Estándar (gr /cm <sup>3</sup> )	Coefficiente Variación (%)	Mínimo (gr /cm <sup>3</sup> )	Máximo (gr /cm <sup>3</sup> )	Rango (gr /cm <sup>3</sup> )
La Dalia	19	1,08	0,0223	2,06	1,06	1,14	0,087
Villa María	19	1,08	0,0279	2,59	1,05	1,15	0,105
La Vega	19	1,12	0,0426	3,80	1,04	1,18	0,144
SENA	13	1,13	0,0128	1,14	1,10	1,15	0,053
Total	70	1,10	0,0361	3,28	1,04	1,18	0,144

Los valores más bajos se presentaron en las probetas correspondientes a la zona A y B (La Dalia y Villa María) encontraste los valores más altos se encontraron en la zona C y D (La Vega y SENA).

**Tabla 9** Análisis descriptivo de Contenido de Humedad para las 4 zonas

Zona	Recuento	Promedio (%)	Desviación Estándar (%)	Coefficiente Variación (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	Rango (%)
La Dalia	19	105,11	17,62	16,77%	76,32	136,17	59,85
Villa María	19	108,02	13,96	12,93%	84,71	134,84	50,13
La Vega	19	108,51	16,02	14,77%	87,81	146,26	58,45
SENA	13	80,21	8,55	10,67%	68,49	96,83	28,34
Total	70	102,2	18,03	17,65%	68,49	146,26	77,76

El contenido de humedad de las probetas en su mayoría presentó un valor promedio de más del 100%, al momento del ensayo presentó una amplia variación. La razón, el orden en que se fallaron (una a la vez), por lo que la exposición de algunas probetas a la acción del aire durante más tiempo produjo una mayor deshidratación (Capera y Erazo, 2012).



**Grafica 2** Esfuerzo a Flexión vs Contenido de Humedad.

En la Gráficas 2 se evidencia una tendencia, en la medida que aumenta la humedad disminuye la resistencia.

#### 6.4 ANÁLISIS DE VARIANZA SIMPLE

La tabla ANOVA descompone la varianza de Esfuerzo en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 7,43147, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Esfuerzo entre un nivel de procedencia y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Se presenta a continuación en la tabla 10.

**Tabla 10** Análisis de varianza simple para esfuerzo a flexión.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1355,16	3	451,719	7,43	0,0002
Intra grupos	4011,78	66	60,7846		
Total (Corregido)	5366,94	69			

## 6.5 PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGOS

El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Para determinar la posible homogeneidad entre los niveles del factor o determinar si los valores que se comparan presentan diferencias estadísticamente significativas, con este método hay una confianza del 95%.

**Tabla 11** Prueba de múltiples rangos para el esfuerzo a flexión.

Procedencia	La Dalia	Villa María	La Vega	SENA	Total
Casos	19	19	19	13	70
Media (MPa)	58,34	56,28	54,05	<b>66,78</b>	58,18
Desviación Estándar (MPa)	7,42	8,52	8,17	6,53	8,82
Coeficiente de Variación (%)	12,71	15,14	15,12	9,78	15,1
Mínimo (MPa)	42,54	41,05	38,49	52,30	38,49
Máximo (MPa)	71,62	70,8	70,15	75,88	75,88
Límite Inferior (MPa)	55,82	53,76	51,52	63,73	
Límite superior (MPa)	60,87	58,81	56,57	69,83	

La zona como factor tuvo un efecto estadístico significativo, Las probetas de la zona D (SENA) presentaron una resistencia promedio mayor a las demás zonas; se podría considerar que las posibles causas del valor del esfuerzo a flexión encontrado en la zona D tiene relación con la densidad y el contenido de humedad, ya que la zona D cuenta con los valores más altos en densidad y los valores más bajos en contenidos de humedad, según la gráfica 2 se evidencia que entre menor sea el contenido de humedad de las muestras mayor será su resistencia.

Según Gutiérrez y Gómez (2002), las propiedades tanto físicas como mecánicas de la guadua, dependen directamente de las características medioambientales in situ, se puede considerar como otra posible causa que la zona D presente diferencia significativa con el resto de rodales, ya que la zona D no presenta fuentes hídricas cercanas al rodal en comparación con las demás zonas.

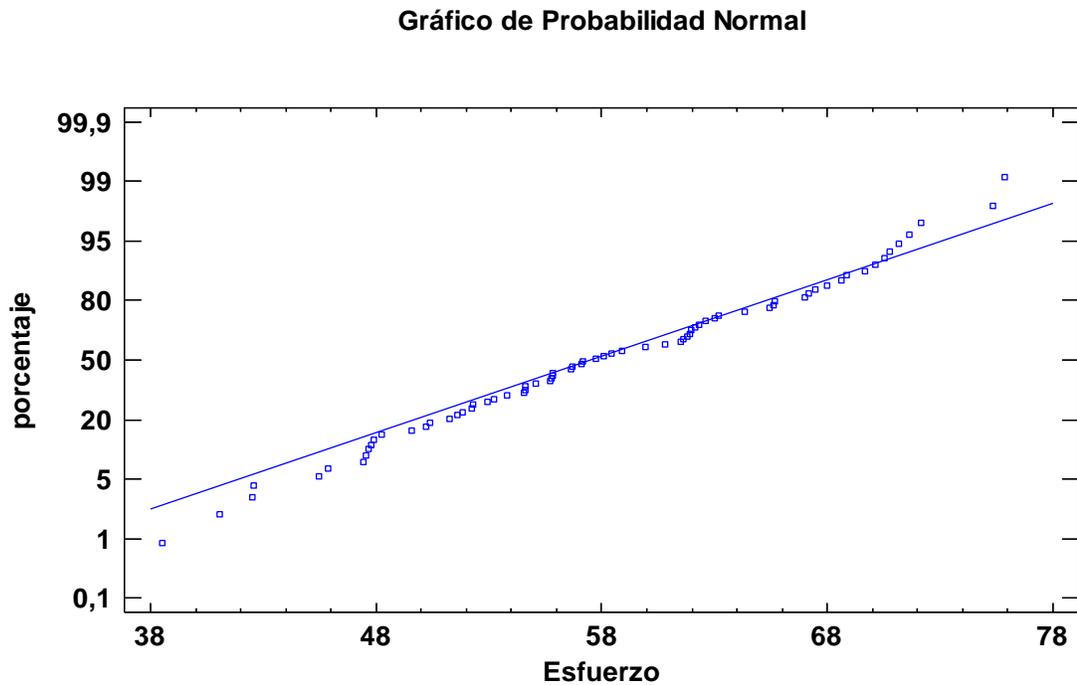
## 6.6 COMPROBACIÓN DE HIPOTESIS

### 6.6.1 Normalidad de los residuos

Como prueba para verificar que efectivamente los datos provienen de una distribución normal se presenta el gráfico de probabilidad normal de los residuos (Gráfica 3), en donde se observa que los datos se acomodan a lo largo de la línea

de referencia que pasa a través de la mediana (determinada por el rango intercuartilico), lo cual representa efectivamente normalidad entre los datos.

**Grafica 3** Probabilidad Normal para residuos.

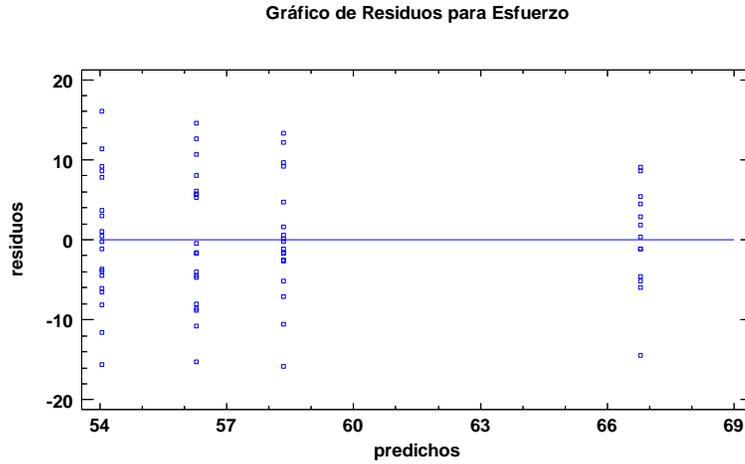


### 6.6.2 Prueba de homocedasticidad

Se verificó la homocedasticidad en el gráfico de residuos frente a valores predichos de resistencia (Gráfica 4), en él se observa que no existe un patrón general en forma de embudo formado por los puntos por lo que no hay indicios de heterocedasticidad, confirmando que para un nivel de confianza del 95% las varianzas de los tres grupos son homogéneas.

Al igual que González, et. (2008), Córdoba (2009), Capera y Erazo (2012) y Rojas (2013), la homogeneidad de varianza se revisó con la prueba de Levene, cuyo resultado fue la no significancia ( $p = 0,485$ ) indicando con esto que se puede asumir homogeneidad de varianzas entre las zonas.

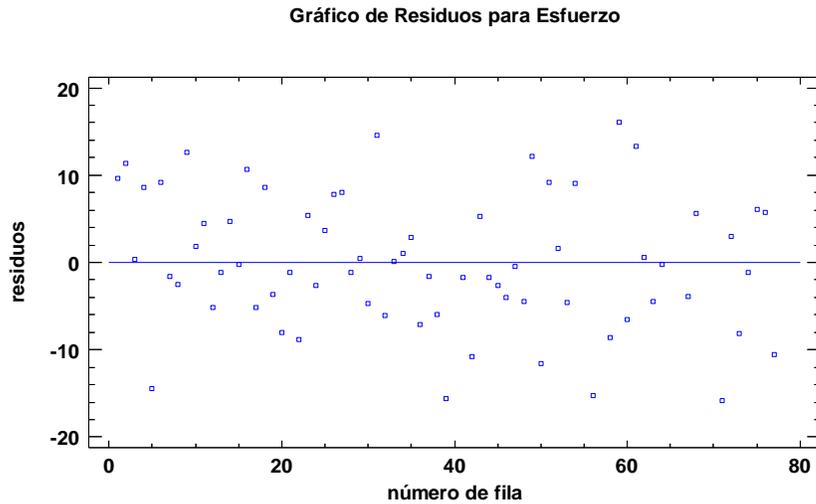
**Grafica 4** Residuos frente a predichos para esfuerzo a flexión en MPa.



### 6.6.3 Independencia de los residuos

La aleatoriedad durante la selección de las zonas, culmos y lugares de corte para la extracción de las probetas se comprueba en el gráfico residuos frente número de fila (Gráfica 5); estos procesos estuvieron orientados al cumplimiento de este criterio. La dispersión aleatoria es una prueba de la representatividad de las muestras, se deduce además que no existe ninguna correlación serial entre los datos, dicho de otra forma, no existe dependencia entre las observaciones.

**Grafica 5** Residuos frente a número de fila para esfuerzo a flexión en MPa.



## 6.7 ANÁLISIS DESCRIPTIVO MÓDULO DE ELASTICIDAD.

Para el cálculo de módulo de elasticidad se efectuaron un total de 70 pruebas, cuyos resultados se presentan en la tabla 12 y 13.

**Tabla 12** Módulos de elasticidad para las 4 zonas

Probeta	Módulos de Elasticidad (GPa)			
	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
1	14,09	15,41	15,13	13,84
2	17,47	**	10,94	14,25
3	14,89	13,36	18,47	18,40
4	14,09	14,19	15,75	17,58
5	15,54	14,32	12,56	18,03
6	17,13	16,71	14,74	18,67
7	15,92	16,61	12,22	16,59
8	16,93	15,61	16,62	16,20
9	13,02	17,71	16,85	16,78
10	17,46	14,54	13,26	13,68
11	10,53	14,71	24,15	15,66
12	13,93	14,61	16,81	15,74
13	17,08	16,51	16,97	15,61
14	16,98	14,68	17,50	16,19
15	16,77	12,91	16,53	15,07
16	14,90	16,95	15,13	
17	**	16,02	14,74	
18	14,83	18,71	15,13	
19	13,35	16,84	14,51	
20	16,18	15,47	14,00	

\*\* Falta de datos

**Tabla 13** Análisis descriptivo para módulo de elasticidad de las 4 zonas.

Recuento	70
E 0,5 Promedio (GPa)	15,483
Desviación Estándar (GPa)	1,74644
Coefficiente de Variación	11,28%
Mínimo (GPa)	10,526
Máximo (GPa)	18,713
Rango	8,187
E 0,05 (GPa)	12,557

El módulo de elasticidad más alto para las probetas dio 18.71 GPa y el más bajo fue de 10.53 GPa. Según la norma NSR-10 los valores de módulos de elasticidad para un contenido de humedad del 12% son 9.5 GPa, 7.5 GPa y 4 GPa para módulos promedio, percentil 5 y mínimo respectivamente. El promedio de módulo de elasticidad encontrado en el estudio fue de 15.48 GPa presentado en la tabla 13, el cual es superior al presentado en la norma, igualmente sucede con los módulos percentil 5 y mínimo, que son superiores a los de la norma; se debe tener en cuenta que para el estudio el número de ensayos fue bajo y por tal razón los datos no son muy representativos para las zonas.

Se encontraron diferencias en el estudio realizado por Ardila (2013), encontró valores de módulo de elasticidad de 14.93 GPa, 11.59 GPa y 11.44 GPa, para módulos promedio, percentil 5 y mínimo respectivamente con contenidos de humedad promedio del 19.91 %, los cuales se encuentran por encima de lo estipulado por la norma NSR-10, al igual que Lozano et al (2010), los valores para módulos promedio, percentil 5 y mínimo son mayores a los estipulado por la norma con contenidos de humedad promedio de 71.04 %, Rusinque (2007) y Prieto y Sánchez (2002), encontraron valores superiores para módulos de elasticidad trabajando a diferentes longitudes , las diferencia entre los valores hallados en los módulos de elasticidad pueden ser causa de los diferentes contenidos de humedad en la realización de los ensayos.

## **6.8 ANALISIS ESFUERZO ADMISIBLES A FLEXION**

Los resultados obtenidos para los esfuerzos admisibles a flexión de las diferentes zonas de estudio se presentan en la tabla 14.

**Tabla 14** Valores Característicos y Esfuerzos Admisibles para las 4 zonas.

Procedencia	La Dalia	Villa María	La Vega	SENA	Total
Casos (n)	19	19	19	13	70
Media (MPa)	58,34	56,28	54,04	66,78	58,18
Desviación Estándar (s)	7,41	8,52	8,17	6,53	8,82
Coefficiente de Variación (%)	12,71	15,14	15,12	9,78	15,16
Percentil 5 (MPa)	46,15	42,27	40,61	56,04	43,68
Valor característico (MPa)	42,51	38,30	36,80	51,93	41,54
Esfuerzo admisible (MPa)	14,17	12,77	12,27	17,31	13,85

En la NSR-10 (G,12,7,3), el valor de esfuerzo admisible para elementos solicitados a flexión es de 15 MPa para un contenido de humedad del 12% el cual se encuentra superior al promedio obtenido para las 4 zonas correspondiente a 13.85 MPa. Tanto este valor como el esfuerzo admisible de 15 MPa de acuerdo a la norma al multiplicarse por el coeficiente de modificación para contenidos de humedad superiores a 19% ( $C_m = 0,70$ ) se reducen, obteniéndose 10.5 MPa para el valor fijado por la NSR-10 y 9.69 MPa para el presentado en este estudio. De esta forma se evidencia un esfuerzo admisible menor al presentado por la norma.

Se encontraron también diferencias con el estudio de Lozano et al (2010), debido principalmente a diferencias en los factores de reducción utilizados en su estudio (0,5 para diferencias entre los ensayos en laboratorio y condiciones reales de carga, 1,0, 1,25, y 1,50 para el factor de reducción por duración de carga y 2,25 como factor de seguridad); de haber utilizado los mismos factores de reducción, se esperarían resultados inferiores de esfuerzos admisibles, para corroborar esta afirmación basta con comparar los valores característicos presentados en la tabla 14 con los valores presentados por Lozano et al en la tabla 7. Prieto, E. y Sánchez, J, (2002) obtuvieron valores característicos superiores con las diferencias de que sus probetas contaban con diferentes longitudes entre apoyos y los factores de reducción de esfuerzo debidos a la calidad (F.C.=1), tamaño (F.T.=1), factor de duración de carga (F.D.C.=1.15) y factor de reducción por servicio y seguridad (F.S.= 1.8), de haber utilizado los mismos factores de reducción se esperarían resultados inferiores de esfuerzos admisibles en su estudio. Al igual que Ardila (2013) se obtuvieron valores de esfuerzo admisible a flexión por debajo de lo estipulado en la NSR 10 con contenidos de Humedad superiores al 12%.

## 7. CONCLUSIONES

La guadua se comporta como un material elastoplástico, es decir, las curvas esfuerzo – deflexión presentan dos secciones claramente diferenciables: un comportamiento elástico lineal, donde las deformaciones son proporcionales a los esfuerzos y otra plástica, en donde las deformaciones no son proporcionales a los esfuerzos hasta alcanzar la rotura. Así, la *Guadua angustifolia* tiene un comportamiento elástico similar al de la madera.

Se evidenció una tendencia en los esfuerzos de las probetas de *Guadua angustifolia* Kunth sometida a flexión, a medida que aumenta la humedad disminuye su resistencia.

El esfuerzo admisible determinado por el ensayo a flexión es menor comparado con el que determina la NSR-10, siendo los valores 13.85 MPa con un CH=102,2%, y 15.00 MPa con un CH=12%, respectivamente, sin tener en cuenta el coeficiente de modificación por contenido de humedad. Estas diferencias entre los valores de esfuerzos admisibles del presente trabajo con los determinados en la NSR-10, podrían ser consecuencia de la diferencia entre los contenidos de humedad.

Los diámetros de la sección transversal en los culmos disminuyen con la altura. El promedio para los cuatros zonas fue de 116.27 mm. En cuanto a promedio por zonas se encontró que los mayores diámetros en culmos están en la Zona B y C, y los de menor diámetros en la zona A y D.

El espesor de pared en los culmos disminuye con la altura. El promedio para las cuatro zonas fue de 14.15 mm. El promedio de espesor de pared por zona fue mayor en la zona B. Los valores más bajos de espesor de pared corresponden a los de la zona A.

El valor promedio de Contenido de Humedad para las probetas de las cuatro zonas fue de 102.2%, con un valor mínimo y máximo de 68,49% y 146,26% respectivamente, y una desviación estándar de 18.03%. La zona C (La vega) presento los contenidos de humedad más altos y la zona D (SENA) los más bajos.

Entre niveles de factor, el factor zona tuvo un efecto estadístico significativo para el esfuerzo a flexión, se encontró para la zona D diferencias significativas en comparación con las demás zonas según la prueba LSD de Fisher.

Los valores de densidad obtenidos no mostraron diferencia significativa de acuerdo al análisis exploratorio, el promedio para las cuatro zonas fue de 1.10 gr/cm<sup>3</sup>. Los

valores más bajos se presentaron en las probetas correspondientes a la zona A y B (La Dalia y Villa María) en contraste los valores más altos se encontraron en la zona C y D (La Vega y SENA).

El módulo de elasticidad promedio  $E_{0.5}$  para la totalidad de las probetas fue de 15.483 GPa, el percentil 12.557 GPa y mínimo 10.526 GPa, siendo superiores a los presentado por la norma NSR-10, Lozano et al (2010), y Ardila (2013).

## 8. BIBLIOGRAFIA

AIS ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SÍSMICA. Manual de Construcción Sismo Resistente de Viviendas en Bahareque Encementado. 2001. Publicación con el auspicio de la Fundación Corona.

Alarcón, J., Olarte, J., 2013. Esfuerzo máximo de tensión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la Guadua *Angustifolia* del municipio de Pitalito - Huila. Proyecto de grado. Neiva: Universidad Surcolombiana.

Ardila Cesar, 2013. Determinación de los valores de esfuerzos admisibles del bambú *Guadua angustifolia Kunth* del departamento de Tolima, Colombia-Universidad Nacional de Colombia, Sede; Bogota.

Boqué, Ricard, 2004. y MAROTO, Alicia. El análisis de la varianza (ANOVA). 1. Comparación de múltiples poblaciones. Grupo de Quimiometría y Cualimetría. Universitat Rovira i Virgili.

Camacho, Víctor; Perez Isduar. 2002. Estudio de conexiones en guadua solicitadas a momento flector. Tesis Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

Campos, M., Rojas, G., 2016. Resistencia al corte paralelo a la fibra en muestras de *Guadua angustifolia kunth* procedentes del municipio de Pitalito – Huila. Universidad Surcolombiana.

Canelos Salazar, P., & Hidrovo Andrade, P. (2004). “EL ACERO VEGETAL” Una alternativa para la construcción y la promoción turística de Ecuador. Cuestiones Económicas, 188-233.

Capera, A., Erazo, W., 2012. Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la Guadua *Angustifolia* del municipio de Pitalito - Huila. Proyecto de grado. Neiva: Universidad Surcolombiana.

Chavarro Sergio, 2016. Deflexiones de la *Guadua angustifolia Kunth* para culmos sometidos a esfuerzos por flexión con cargas permanentes en el ambiente de Bogotá. Modelo de Burger y modelo de Findley. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

Cely Moreno Luis Alberto, 2011 La Guadua, Acero Vegetal Y Prodigio de la Naturaleza.

Clavijo, Sandra; Trujillo, David. 2000. Evaluación de uniones a tracción en guadua. Tesis Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil.

Córdoba Ketty, 2009. Resistencia natural de la *Guadua angustifolia Kunth*. Al ataque de hongos ligninolíticos como alternativa hacia nuevas posibilidades de uso. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Díaz, Francisca, et al. Bioestadística: métodos y aplicaciones. Universidad de Málaga. 2008.

Dinwoodie, J. M. (1996). Propiedades mecánicas del bambú. Alemania: Editorial, A. Publisher.

Gómez, Alexander; Gallego, Raúl, 2003. Trabajo académico la Guadua ó Bambú. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional Sede Manizales.

González, H., et., 2007. Resultados del ensayo a flexión en muestras de bambú de la especie *Guadua angustifolia Kunth*. Universidad Tecnológica de Pereira.

González, H., et., 2008. Comportamiento de muestras de *Guadua angustifolia kunth* con diafragma y sin diafragma sometidas a esfuerzo de compresión. Universidad Tecnológica de Pereira.

Gutierrez G., Jorge A. Comportamiento Estructural y resistencia sísmica de las viviendas de bambú. En CONGRESO MUNDIAL DE BAMBÚ / GUADUA. (1º: 1992: Pereira). Memorias I Congreso Mundial de Bambú / Guadua. Pereira: 1992.

Gutiérrez, J., Gómez, R., 2002. Diseño y elaboración a escala natural de armaduras en *Guadua angustifolia*. Universidad Nacional de Colombia, Sede; Bogotá.

Héctor J. Martínez Covalada, LA CADENA DE LA GUADUA EN COLOMBIA UNA MIRADA GLOBAL DE SU ESTRUCTURA Y DINAMICA 1992.

Held, C., Manzano, I., 2003. El sector productivo y el mercado regional de la guadua en el eje cafetero colombiano. Informe del proyecto Guadua-Bambú de la Unión Europea. Universidad Tecnológica de Pereira. Universidad de Friburgo.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Cosecha y postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia Kunth*. Bogotá: ICONTEC, 2008 (NTC5300).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá: ICONTEC, 2008 (NTC1486).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia Kunth*. Bogotá: ICONTEC, 2007 (NTC5525).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia Kunth*. Bogotá: ICONTEC, 2007 (NTC5301).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Propagación vegetativa de *Guadua angustifolia Kunth*. Bogotá: ICONTEC, 2006 (NTC5405).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Bamboo structural design. ISO, 2004 (ISO 22156).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Determination of physical and mechanical properties of bamboo. ISO, 2004 (ISO 22157).

Jaramillo, Diego; SANCLEMENTE, Ana. 2003. Estudio de uniones en guadua con ángulo de inclinación entre elementos. Tesis. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

Kuehl, Robert. Diseño de experimentos: Principio estadístico de diseño y análisis de investigación. Segunda edición. International Thomson Editores, Inc. México, 2001.

Londoño I., et., 2002. La responsabilidad social como factor de competitividad del eslabón de producción de la guadua en bosques naturales en el Quindío

Lopez, G., Salcedo, J., 2016. Resistencia a compresión perpendicular y determinación del módulo de elasticidad circunferencial de la *guadua angustifolia kunth* del municipio de pitalito: Universidad Surcolombiana, Sede; Neiva.

Lozano, E., et., 2010. Validación de la *Guadua angustifolia* como material estructural para diseño, por el método de esfuerzos admisibles. Universidad Nacional de Colombia, Sede; Bogotá.

Martínez, H., Pinzón, N., Espinosa, D., 2005. La cadena de la guadua en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá.

Mendoza, Henry y BAUTISTA, Gloria. Diseño Experimental. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2002.

Montgomery, Douglas y RUNGER, George. Applied statistics and probability for engineers. Third edition. John Wiley & Sons, Inc. United States of America. 2003.

Montoya A., Jorge Augusto, 2001. Investigación Tecnológica en Métodos para la Preservación de la guadua angustifolia”

Ordóñez-Candelaria, V.R. y G.M. Bárcenas Pazos. 2014. Propiedades físicas y mecánicas de tres especies de guaduas mexicanas (*Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia* y *Guadua velutina*). *Madera y Bosques* 20(2):111-125.

PEREIRA, Marco Antonio dos Reis. Projeto bambu: introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações. 2012. 200 f. Tese (livre-docência) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, 2012. Disponible en: <<http://hdl.handle.net/11449/106710>>.

Prieto, E., Sánchez, J., 2002. Comportamiento de la guadua angustifolia sometida a flexión. Proyecto de grado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Reyes, E., Rayo G., 2014. , comportamiento a flexión de vigas de madera de gran longitud de sección compuesta reforzadas con láminas pegadas prensadas de guadua “*Angustifolia Kunth*”

Ríos v. Cecilia. Estadística y Diseño de Experimentos. Peru: Universidad Nacional de Ingeniería, 2012.

Rojas Javier, 2013. Análisis de las propiedades mecánicas de la *Guadua Angustifolia* mediante técnicas estadísticas y redes neuronales. Universidad Nacional de Colombia, Sede; Bogotá.

Rusique Melissa, 2007. Influencia de la perforación, para inmunización en los tabiques, en el comportamiento de elementos solicitados a flexión de *Guadua angustifolia*. Universidad Nacional de Colombia, Sede; cogota.

Salas, E., 2006. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia. Tesis doctoral. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

Strzelecki. R., et., 2013. Resistência à flexão estática e à compressão paralela do bambu-mossô (*phyllostachys pubescens*).

Ticona, Julio, et al. Diseño Factorial Multinivel. [Diapositivas]. 2014.

Villegas, F., 2005. Comparación consumo de recursos energéticos en la construcción de vivienda social: Guadua vs Concreto. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

Zaragoza-Hernández, I., et., 2015. propiedades físico-mecánicas de una guadua mexicana (*guadua aculeata*). *Maderas. Ciencia y tecnología* 17(3): 505 - 516, 2015

# **ANEXOS**

## Anexo 1 Caracterización física de culmos del Predio A. Longitud entrenudos (cm)

Entrenudo	Culmo																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	14,5	12,7	12,1	13,2	10,6	13	14,2	11,4	10,9	12,8	14	14	12,5	11	12,7	14	14	11	9	13,7
2	15,8	14	13,9	12,7	13,5	13,2	15,7	12,4	12,3	14	14,5	15	13	10	13	16,5	14,5	12,6	9,4	15
3	17,2	14,7	14,6	14,7	13,3	14,3	17	14,4	14	14,8	15,8	15,3	15	12,4	13,5	17	16	12,9	11	16,7
4	18,4	16,4	15	15,6	14,6	14,5	18,5	14,3	13,6	15	16	16,2	15,8	14,5	13,4	16,5	16,2	14,7	11,5	17,5
5	18,8	16,7	16	16,6	15,3	15,2	18,6	14,9	16,2	16	17	16,5	16,5	15	15,5	16,7	16,2	15,4	12,7	18,6
6	18,9	17,8	16,4	17	16	16	19,2	15	16,7	16,7	17	16,4	17,2	15,8	15,4	15,8	18,5	17,7	14	20,5
7	19	17,9	17,7	16,6	16,8	16,8	18,6	15,7	18	17,5	19	19	17,8	16,7	16	17,5	17,8	18	15	20,5
8	19,3	19	17,5	16,4	16,8	18	19,1	16,2	18,3	17,5	18,3	17,8	17,8	17,4	16	19	20,4	19,5	16	21,5
9	20	19,1	19,3	17,5	18,9	18,1	19,9	17	20	17	19,5	19	18,3	18	17,5	19	19,4	19,5	15,8	21
10	20,2	19,9	19	17,5	19	18,6	20,3	17,4	20	17,6	19	19	18,7	19	17	20	22,5	19,9	15,8	20
11	20,4	20,8	20	19,4	20,5	20	20,6	17,6	21	17,8	20,5	19,6	19	19	18,8	19	21	20	15,7	17
12	20,4	21	20	19	20	20	21,7	18,7	20,5	18,8	20	19,4	20	20,5	17,6	21,2	23,8	20	16,5	15,3
13	20,7	22	21,1	20,2	22,2	20,2	21,5	19	21,7	19	22	20,6	20	20,2	19,5	19,6	24,2	21,3	18,3	14,9
14	20,7	21,8	20,9	20,5	21	20,5	22,5	20,5	22	19,4	21,3	20,3	20,3	22	19	22,2	27,7	21,5	18,4	21
15	21,4	23	21,7	21,3	22,9	21,8	23	21	23,8	19,9	23,3	22,5	20	22	20,2	21,5	28	22,5	20	22,5
16	23	22,5	21,6	22,2	22,3	22,8	24,7	22	23	21,3	22,7	22,3	21,3	23,5	21	24,5	33	22,8	20,2	25,3
17	24	24,4	23,6	23,2	24,4	24	26	23	26	22	25	23,5	21,5	24	23	23,5	33	24,9	21,7	24,5
18	25	25,4	23	24,6	24,2	25,2	27,4	25	27,2	23	24,6	24	23,6	26	23,5	27	35,2	25	21,7	28
19	27	28	25,5	25	26,7	27,5	29	26,2	28,5	23,6	27,7	25,5	24	27	25,4	25,5	34	27,3	22,5	27,5
20	28,3	28,2	26,8	25,6	26,1	28,3	30,5	28	29	25,3	26,5	26,4	26	29	25,2	29	36,8	28	24	30
21	28,8	30	28,5	26	29,4	30	31,6	28	30	29,8	30	27,5	26,5	29,3	27	26,7	35,2	28,9	25,2	29
22	29,4	30	28,2	26	27,6	30	32,3	30	29,5	26	28,5	28	29	30,5	27,5	29	37	29	26,5	31,6
23	29,9	31	30,2	27	30	31	32,5	30	29,6	26	31	28,3	28	31	29	27	36	31	27	30
24	30	30,9	28,5	26,4	28	30	32,5	31,3	28	27	28,8	29	29	32	28,5	30	37,5	30,9	28	33
25	30,1	31,5	29,2	27,1	30,6	31	31,6	31	29	27,4	31,3	29,3	29	32	29,5	27,2	36	31,7	29	31,5
26	30,6	30,8	28,7	27	29,1	30,5	31,1	32	28	28,3	29,3	29,3	29	33	29	29	37	30,5	29	33,5
27	31,5	31,5	29,6	26,9	31,8	31	31	32	28	28,3	31,7	29,9	30,2	33	30,5	26,5	36	32	29,4	32
28	30,9	31,1	29,4	26,9	29,2	30	30	32	28	29,6	29,8	30	29,9	34	30,5	29	37	31	28,4	33
29	31,3	32,6	29,7	27	30,5	30,7	30	32,4	28	28,7	31,5	30,3	31	34,2	32	27	36,2	33	29	31,5
30	31,5	32	30	27	29,2	30	30	32,1	27,7	30	29,4	30,4	31	35,3	32	29,5	37	32	31	34
31	31,8	32,8	30,7	28	30,5	30,5	30,6	33	28,8	29,8	29	31,2	30	35,5	33	27	34,7	33	29,8	34
32	31,8	31,6	30,9	28,1	29,2	30,4	31	32,5	27	31,3	30,5	30,8	31	36	33	31	35,8	32	31	35
33	31	32,4	30,4	28,5	31,3	30,3	31,6	33,2	28	31,2	31,5	32	30,9	35	35	30	35	34,8	32,2	35,3
34	31,2	31,4	30,7	28,4	30,4	31	30,6	32	29	32	32	32,4	30,9	36	34,5	32		34,5	32,8	35,5
35	31	32,5	30,3	29,6	31	35,7	32,1	33	29,5	32,8	33,3	33	32	35,5	36	31		36	33	35,7
36	31,3	32,5	31	29,5	29,5	31	32,4	34,5	30,5	33,3	33,5	33,3	32,2	37	36,7	30,5		36,5	33	36
37	32,3	33,6	32,2	30,2	30,5	30,5		36	30,4	33,8	34	34,5	32,5		39,5	29		37	34	
38			31,8	30	30				31,6	34,5		34,8	33						33,4	
39				29,5						36			33,2						34,4	
40				30,2															34	

## Anexo 2 Caracterización física de culmos del Predio B. Longitud entrenudos (cm)

Entrenudo	Culmo																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	12,3	10	11	10,1	6,3	18	11,2	103	9	10	10,2	12,5	9	9,5	11,5	12	10	10	7,5	11
2	12,6	11,2	12,7	11,2	8,6	12	13	12,6	11,3	11,8	12,6	13	10,5	11	12	11,5	10,5	11,5	8,5	11,6
3	13,5	12,7	13	11,5	8,4	12,4	14	13,3	12	12,6	13	14	12	12	12	13	11,7	13,8	9	12
4	13,4	13	14,5	12,7	10	12,6	16,5	16,2	13,2	13,3	13,6	14,3	12,4	13	12	13,9	12	12,5	10	12,4
5	15,5	13,2	14	13,8	10,2	13,5	17	16	13	13,8	14,5	15,5	14	13	12,5	10	11	14,5	11,3	13,3
6	15	14,6	15,5	14,3	12	13,5	18,5	18,1	15	15	15,4	15	14	13,2	13	15,8	11,7	13	12,2	14
7	16,7	15	15,5	14,7	12	14,6	18,8	17,5	14,5	15,4	15,7	17	15,4	15,5	13,8	17	13,5	15	13,5	14,5
8	15,9	15,2	18,2	15	14	14,5	20	18,3	16,2	16	16	16	15	15	14,9	16	14,5	13	12,8	15,3
9	18	16,3	17	15,5	13	15,5	20	18,3	15,5	16,5	16,5	18	16,7	17	15,9	16,8	14,5	17	13,2	16
10	17,2	16,2	20	16	14,5	15,6	20,3	19,9	17	17,2	17,2	17	16,4	16	15	16	15	14	13,5	16,6
11	18,8	17,8	19	17,2	15	16,5	19	19,5	16,5	17,3	16,5	18,5	18	17,4	16	18	16	16	15	19,2
12	17,7	17	21	18	16,5	17,7	19,6	20,3	18	19	17	18	17	17,5	17,3	17,5	16	15	14	18,5
13	20	18,2	20,5	17,8	15,2	18,2	21,2	22,2	17,2	18	17,5	25	18	19	18,2	20,8	17,5	18	16,2	20
14	20	17,5	22,5	20	16,5	19,6	21,3	21,3	20,5	18,4	18	20,2	18,2	18	19,5	21	18	17,5	17	20
15	22,1	16	21	19,5	16,5	20	23	23	20,5	20,5	18,5	23	20	21	19,8	25	17,8	18,5	19,3	22
16	23	13,2	23,4	21,5	19,5	22	24	24,5	22,5	20,4	19,7	24	19,9	20,6	21,4	24	17,9	18,3	18,1	22
17	25,2	19,5	24	22	18	22,5	26,8	24,1	23	22,8	20	25,5	21,6	23,4	23	27,5	18,5	20	20,5	24
18	25,4	23,8	27,5	24	20,2	25,2	26,2	26,8	25,2	23,6	22,5	24,5	22	23	25	26	21,7	18,2	20,5	25
19	26,8	26,4	28	25,2	20	25,3	27,2	28,5	26	24,6	23,5	27	24	27	25,5	27,2	24	19,2	22,6	28
20	27,2	28	29,7	27,2	23,2	27,2	28	30,6	29	25,5	25,5	27	25	25,5	26,7	26,5	26,5	18,2	21,4	28
21	28,4	27,7	30,2	28,4	22,2	28	30	30,8	28,7	26,5	27	28,5	28	19	28	29,3	28	20,3	23	29,5
22	29,2	31	31,7	30	24,9	29,8	30	32	31	28,7	29	28,6	28	28,5	29,4	28	29	21,5	22	30
23	30,6	31,2	30,7	30	24,9	29,2	30	32	30,4	30	29,5	30	30,3	32,2	29,3	30	30,5	24,3	27	30
24	30,5	31	32,8	31,7	27,6	30	31,3	33,2	30,6	30,2	30,5	30	30	31	30,5	29	31	24	24,8	27,8
25	32,5	33,6	33	30,7	25,4	29,7	32	33,7	33	31,5	30,2	30,5	32	33	31,5	31	32	27,2	30	28,7
26	31,5	32,3	34	32,5	28,2	30,2	34	35,8	33,3	31,6	32	30,4	31,6	32	32	30,7	33	26	30,6	27,1
27	31,5	34,5	33,3	31,8	27,5	30,8	34	35	32	32	31	31	31,5	34,4	32	30,7	33,5	28,7	32,1	27,8
28	30,5	32,7	34,3	32,2	30	31,8	35	37	34	32	31	30,5	30	35	33	31	35	30	31,5	26
29	33	35	34	31,2	28,7	31	35	37,5	32,5	33	31	33,4	32	37	33	32,5	36	33	34,3	26,5
30	31,5	32,3	36	33,3	30,8	32,3	35,6	38	34,6	32,5	31	33,5	32,5	35,6	32	32	36	33	33,5	27
31	32	35,8	37,5	34,7	31	31,6	36	36,6	33,5	32	32	34	33,5	39,5	35	33,5	37	33	34,5	30,5
32	31	33,8	36,4	34,1	33,2	33	38	39,8	35	32,5	32,5	34	33,4	38,6	33,8	32,5	37	31,8	33	31,5
33	31,3	34,2	36	34,6	32,2	32,3	37,5	38,5	36	31,5	33,5	34,3	33,5	38	35	34,7	37,5	32	32	36
34	33	34,2	38	34	32,8	34,3	39	40,3	36	34	32	35	35,5	38,3	33,8	34,5	39	31,2	34	37
35	34	36,3	38	35,8	34	32,7	37	38,7	37	33	32,8	35,7	35	39	36,5	36	38	31,2	32,5	39,5
36	36,1	34,2		36	33,5	35	37,7		37	35,5	37	36,5	35,5	37	37	35	40	31,5	34,3	39,8
37		36,2		37,5	34	34,5			37,5		33,5		36		39,5		40	33,2	34,6	40,5
38		36,8		36,8	33	36,3					33,8		38					32,2	35	40
39					34													35	35,2	
40					35,5													34	35,8	
41					37,5													36		

### Anexo 3 Caracterización física de culmos del Predio C. Longitud entrenudos (cm)

Entrenudo	Culmo																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	14,3	12,2	14	15	13	15,5	12,4	11	16	17	15,5	15,8	15,6	14,5	15,5	12	14	15,2	15,6	16,5
2	17,3	14	17	16	15,5	17,5	15	12,8	16,8	19,4	15	17,5	17,5	17	15	15	16	18,3	17,5	18
3	17,3	16,1	16,5	16,7	16	17	17	16	19	19	18	18	18	16	18	16,5	17,5	19,4	19	19,2
4	19,8	18,2	19,2	17,5	19	19	16,8	17	18	20	18,5	19	20	19	17,5	19	20	21,2	20	20
5	18,8	17,1	18,2	18,5	19,5	18,8	18,8	19	21	19,8	20	19,5	21,5	19,5	19,5	17	19	20	20,5	19,5
6	21,5	18,5	20,9	20	23	21	18	18,8	20,2	22	19	22	22	21	19	20	21	22,3	21	21,6
7	20	18,4	20	19,5	22,5	20	22	20	21,5	23	21,5	21,2	21,8	20	21	18,5	21,3	21	21	21
8	22,5	20,5	22	21	25,8	22,8	20	21,5	20	24	20	23	22,5	22,8	20	21	24	23,5	22	24,5
9	21,5	20,2	20,5	20,5	24	22	23	21	23	22,8	23	22	22,7	22,5	23	21	21,5	23,8	23,5	24,8
10	24,5	21,5	23	21,7	26,5	25	23	22	21,5	26	21,5	23	23,4	25	22	23,5	23,2	25	23	26
11	22,8	21,5	21,8	22	26	24	25	23	24	23	24	22,8	24	24	23	23	24	25,3	22,5	27
12	25,5	24	24,3	22,5	28	27	24,8	22,8	23,1	26	23	25	25,5	27	24,5	25,5	25,1	26,5	24,5	28,2
13	24	23,8	23,5	23	27,5	26,5	27	24	25	25	26	24,3	25,8	27,5	26	25	24,5	26	25,5	29
14	27	25,5	25,5	24	30	29	26,5	25	24	28	25,5	27	26,5	29	26	27,5	26	26,5	26,5	31,4
15	26	25	25	25	29,8	30	30	27	26	27	28	26	27,8	28,8	28	27,8	26,6	27,6	28,1	32,5
16	29	28,5	27	25,5	32	33	30	27	24,8	30	27	28,2	29	31	28	30	28	31,2	29	35,1
17	29	28	26	26,4	31,5	32,8	34	28,5	28,8	29,8	29,4	28	29,8	31,5	32	29	28,4	29,8	31,2	35,3
18	32,8	30	29	27,5	36	36	34	29	29	34	30,2	31	30	34,5	32,5	31	30	29,5	30	37
19	33,2	30	28,5	28,7	35	36,8	36,5	32	33	33	34,5	31	32	35	32,7	30,5	31	31	33,4	36,8
20	36,8	33	31	29,8	37,5	40	36	32	32	34	35	35	34,5	37	36	33,5	34,5	36	34,7	38
21	36	33,2	20,5	30,5	37	39	38,5	34	36	33,2	37	34,8	35	36	36	33	35	36,3	35	37,8
22	39	33,5	32	32,2	38	41	37	34,5	34,1	34	36,8	36	36,3	38	37	36	37	37	34,1	38,5
23	37,8	35,1	34,4	33	37	39	40	36	36	32,8	38	36	37	37	37,8	36	37,2	37,4	37,1	38,8
24	37,6	35,5	32,5	34,2	38,5	41	38,8	35	35	34,8	38,5	38	37,5	38,3	37	39	38,7	38,5	36	38,5
25	37,5	34	31,1	35	38	39	41	36,5	36,8	33	40	37,5	38	36,4	37,3	38	38	37,5	35	39
26	40,2	34,8	33	35	40	40	39,5	36,7	35	35	37,5	39	39	39,2	35	39	39,2	38,5	36,1	40
27	39	35,2	31,7	36	39	39,5	42,1	36,5	36,5	33	41	38	38,5	38	35	37,5	38,4	38	38	41
28	40,5	38,9	32,5	36,6	39,8	40	41	37,3	34,5	34,8	36,5	38,7	39	39	34,5	39,4	39,5	37,4	37,8	41,5
29	40	37,5	32	36	39	38	42	38	36	33,3	40	37	38,8	37	35,5	39	38,5	36,7	36,2	41
30	41	38,5	33,4	36,7	40	41	40	38	32	35	41,5	38,5	38,5	39	32	39,4	39,5	37,1	37,8	41,5
31	40	38	32,8	35,6				40	35,8	34,4	43	37	38,3	38,5	24	38,5	38	37	37,5	
32		39,2	33,5	36				39,6	35,2	36,5		37,5			25	40	40	37,5		
33		38,6	33	34,5				40,1	36,5											
34			32,5	35,6																
35			32,1																	
36			32,1																	

#### Anexo 4 Caracterización física de culmos del Predio D. Longitud entrenudos (cm)

Entrenudo	Culmo														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	15,5	17,5	17	15	13	15	12	14	15	14	18	12	14	12,5	14,5
2	16	19,5	18	15,5	15,7	17	13,7	16	18,5	15	18	14	14,5	12,5	17
3	17,7	18,5	18,7	18	15,5	17	17	17	18,9	14	19	16	16,5	13,5	15,5
4	16	20	19,5	17	18	19	18	19,5	20	15,7	18,2	16	17,2	14	18
5	18	20	19	18,5	17,4	17	20	17,5	20	17,5	19	18	18,6	14,5	16
6	16	20,8	19,5	17,3	19,5	18	20,5	21	23	20,5	18,4	16	18,8	15	18,5
7	19	20,5	21	19	18,5	16,5	21,4	21,5	21,5	20	20,2	18,3	20	16	18,5
8	19,4	20,5	20,5	17,8	20	17,5	20,5	23	24	22,5	20,6	18	19,5	17,5	20,2
9	20,6	22	21,3	19	19,7	15	22,5	23,5	23,5	23,5	21	20	20	18	20
10	18	21,5	21	19	21,5	17	22,5	25,5	25,5	25	21	20	20,5	18	20,5
11	18,8	21	25,5	19	22	16,5	24	22,5	25	26,2	22	22,8	21,5	19	23,3
12	18	21,5	20	17,7	24	19,5	23,3	26	26	27	22,6	22,5	21,5	19,7	21
13	19	21,2	19	20	25	19	25	27,3	27	25,5	22,7	23,5	23	22,5	20
14	18,2	21,5	20	19	27	21,5	24,5	28	27	27,3	23	22	23	24	21,5
15	20,8	22	21	20,5	27	29	27	27,8	28	27	25,5	24	24	26	22
16	20	23,5	20,7	21	28,8	22	26	29	26,5	29,6	25	25	23,5	27,5	23
17	22,2	27	22	23,5	28,3	20,5	29	30,6	28	29,5	25,5	29,6	24,5	28	23
18	21	25,2	23	23,5	29	21	29	34,5	31	32,5	24	32	23,8	29	24
19	23	27	23,6	25	28,5	21,5	31	35	31	34,5	23	35,5	25,8	31	23,5
20	23	27,5	24,5	24,5	28,5	23,5	32	37,5	33,5	36	26	31	25	32,5	25
21	26,2	28,5	27	25,3	30,5	24,5	34,5	38	35,5	37,4	30,5	34	27	34,5	24,5
22	28,7	27,5	26,3	26,5	33	26,5	35	40	38,5	34	32	36	28,6	36	25
23	28,7	29	23,5	28	31,5	27	36	39,8	37	36	34,5	39,2	29,4	36,5	24,2
24	30	30	23,7	29	34	30	33	39,5	37	37,5	38	36,5	29,5	38	24,3
25	32	32,5	26,5	32	35,5	29,5	28,5	38	38,5	36,2	39,5	39,5	30	40	23,5
26	31,3	33,5	24,5	33	37	31,5	24,5	40,2	37	36	38,5	39	30	40,3	24
27	31,5	25	24	33	37,8	33	20	39,5	38	37	38	40	31,4	39	24,5
28	30,5	24,5	26,5	33,5	38,5	34	21,5	41	37,5	38	39,5	39	30,5	39,4	22,5
29	30	26	31,5	31	37,5	31	26	39	38,5	38,7	39	41,5	32	41,5	29
30	29	27	34	29	37,2	32,7	31,5	40,7	39	37,5	38,8	40,5	33,8	43	
31	31,2	28,5	35,5	29	36,8	33	35	40	39,8	40	38,5	42,5	35	42,6	
32	33	29	38,7	30	37	35	33,5		38,8		37,5	40,5	34	42,2	
33	35	29	39,5	30,5	37,7	35,5	34				38,5	42	36	42	
34	36,5	20,5	38,5	33		36	34,5						37		
35	39,8	29,5	39,9	34		34,5	34,5						37		
36	40		39,7	36		36,5							37,5		
37	39,9			37,5		36									
38				39											

## Anexo 5 Caracterización de la Guadua angustifolia del Predio A. La Dalia

A1	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	A11	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	10,96	10,85	10,905	9,9	9,85	9,875		Diámetro (cm)	11,09	12	11,545	9,7	9,6	9,65
	Espesor (cm)	1,78	2,22	1,965	1,34	1,21	1,2775		Espesor (cm)	1,88	2,2	2,0175	1,1	1,34	1,2
1,78		2,08	1,33		1,23	2		1,99		1,18	1,18				
A2	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	A12	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	11,11	11,09	11,1	10,45	10,52	10,485		Diámetro (cm)	10,74	10,7	10,72	10,5	10,2	10,35
	Espesor (cm)	1,56	1,72	1,635	1,2	1,1	1,1825		Espesor (cm)	2,2	2,52	2,3775	1,28	1,37	1,2725
1,78		1,48	1,15		1,28	2,4		2,39		1,25	1,19				
A3	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	A13	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	11,49	11,42	11,455	10,21	10,16	10,185		Diámetro (cm)	11,45	11,56	11,505	10,5	10,43	10,465
	Espesor (cm)	1,99	1,64	2	1,13	1,21	1,1975		Espesor (cm)	1,17	1,95	1,6075	1,05	1,2	1,185
2,27		2,1	1,25		1,2	1,74		1,57		1,24	1,25				
A4	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	A14	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	11,25	11,15	11,2	9,6	9,9	9,75		Diámetro (cm)	11,16	11,39	11,275	9,64	9,63	9,635
	Espesor (cm)	1,58	1,7	1,7975	1,09	1,15	1,0975		Espesor (cm)	1,78	1,68	1,735	1,15	1,07	1,1475
1,94		1,97	1,06		1,09	1,7		1,78		1,17	1,2				
A5	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	A15	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	12,06	12,24	12,15	10,4	10,37	10,385		Diámetro (cm)	10,85	11,17	11,01	9,44	9,43	9,435
	Espesor (cm)	2,13	1,7	2,0075	1,36	1,32	1,3175		Espesor (cm)	1,42	1,9	1,6675	1	1,24	1,07
2		2,2	1,33		1,26	1,75		1,6		0,94	1,1				
A6	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	A16	SECCIÓN	I		PROM	S		PROM
	Diámetro (cm)	11,47	11,41	11,44	10,41	10,4	10,405		Diámetro (cm)	13,07	12,89	12,98	10,43	10,58	10,505
	Espesor (cm)	1,76	2,05	1,87	1,22	1,07	1,155		Espesor (cm)	2,14	2,18	2,135	1,35	1,12	1,215
1,95		1,72	1,21		1,12	1,92		2,3		1,24	1,15				
A7	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	A17	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	11,93	11,87	11,9	10,07	10	10,035		Diámetro (cm)	11,54	11,89	11,715	10,65	10,62	10,635
	Espesor (cm)	1,54	2	1,7825	1,16	1,12	1,1425		Espesor (cm)	1,9	1,75	1,7925	1,28	1,4	1,33
1,93		1,66	1,05		1,24	1,93		1,59		1,3	1,34				
A8	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	A18	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	11,26	11,4	11,33	10,07	10,2	10,135		Diámetro (cm)	12,37	11,95	12,16	10,15	10,18	10,165
	Espesor (cm)	1,54	1,68	1,6225	1,2	1,18	1,1825		Espesor (cm)	1,55	1,74	1,905	1,1	1,14	1,125
1,37		1,9	1,09		1,26	2,24		2,09		1,13	1,13				
A9	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	A19	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	11,06	10,8	10,93	9,55	9,54	9,545		Diámetro (cm)	11,3	11,2	11,25	10,2	10,1	10,15
	Espesor (cm)	1,37	1,78	1,63	1,1	1,11	1,1225		Espesor (cm)	1,8	2,2	1,975	1,3	1,3	1,3
1,7		1,67	1,03		1,25	1,9		2		1,3	1,3				
A10	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	A20	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	11,8	11,77	11,785	10	11	10,5		Diámetro (cm)	117,2	116	116,59	111,5	111,9	111,72
	Espesor (cm)	1,95	2,13	1,925	1,07	1	1,12		Espesor (cm)	18,14	17,51	17,265	11,44	14,56	13,09
1,72		1,9	1,15		1,26	16,11		17,3		12,69	13,67				

## Anexo 6 Caracterización de la Guadua angustifolia del Predio B. Villa María

B1	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	B11	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	11,94	11,87	11,905	8,94	8,92	8,93		Diámetro (cm)	12,7	12,84	12,77	10,86	10,92	10,89
	Espesor (cm)	1,7	2	2,0875	1,32	1,2	1,1875		Espesor (cm)	2,07	1,82	1,9675	1,3	1,33	1,2825
2,52		2,13	1,08		1,15	1,88		2,1		1,3	1,2				
B2	SECCIÓN	M		PROM	S		PROM	B12	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	13,35	13,41	13,38	11,1	11,34	11,22		Diámetro (cm)	12,34	12,6	12,47	10,68	10,5	10,59
	Espesor (cm)	2,05	2,2	2,1275	1,22	1,43	1,3425		Espesor (cm)	1,96	1,86	1,92	1,41	1,18	1,28
2,06		2,2	1,42		1,3	1,86		2		1,25	1,28				
B3	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	B13	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	13,28	13,23	13,255	11,68	12,1	11,89		Diámetro (cm)	12,69	12,62	12,655	11,18	11	11,09
	Espesor (cm)	2,23	1,95	1,6225	1,75	1,5	1,5525		Espesor (cm)	1,84	2,19	2,075	1,2	1,25	1,3325
1,14		1,17	1,31		1,65	2,28		1,99		1,39	1,49				
B4	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	B14	SECCIÓN	M		PROM	S		PROM
	Diámetro (cm)	12,99	13,3	13,145	11,44	11,73	11,585		Diámetro (cm)	13,95	13,9	13,925	11,65	11,7	11,675
	Espesor (cm)	2,22	1,99	2,0825	1,27	1,44	1,37		Espesor (cm)	2,14	1,84	1,9225	1,54	1,36	1,4875
1,9		2,22	1,41		1,36	1,89		1,82		1,67	1,38				
B5	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	B15	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	10,87	10,66	10,765	9,2	9,33	9,265		Diámetro (cm)	13,3	13,36	13,33	10,98	10,84	10,91
	Espesor (cm)	1,56	1,45	1,5475	1,22	1,24	1,2525		Espesor (cm)	1,7	1,9	1,75	1,4	1,38	1,3125
1,69		1,49	1,2		1,35	1,8		1,6		1,17	1,3				
B6	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	B16	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	10,95	10,73	10,84	9,2	9,35	9,275		Diámetro (cm)	13,38	13,29	13,335	11,12	11,2	11,16
	Espesor (cm)	2	1,94	1,885	1,19	1,12	1,205		Espesor (cm)	2,04	2,32	2,15	1,17	1,26	1,34
1,82		1,78	1,22		1,29	2,32		1,92		1,39	1,54				
B7	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	B17	SECCIÓN	M		PROM	S		PROM
	Diámetro (cm)	12,33	12,35	12,34	11,85	11,96	11,905		Diámetro (cm)	12,2	11,94	12,07	10,35	10,47	10,41
	Espesor (cm)	1,96	2,19	1,995	1,82	1,69	1,6275		Espesor (cm)	1,65	1,9	1,8125	1,2	1,37	1,3075
1,84		1,99	1,47		1,53	1,8		1,9		1,38	1,28				
B8	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	B18	SECCIÓN	I		PROM	S		PROM
	Diámetro (cm)	13,63	13,47	13,55	12,26	12,62	12,44		Diámetro (cm)	13,15	13,9	13,525	12,83	11,9	12,365
	Espesor (cm)	2,12	2,11	2,2175	1,61	1,58	1,585		Espesor (cm)	2	1,7	1,625	1,5	1,63	1,5575
2,37		2,27	1,51		1,64	1,74		1,06		1,42	1,68				
B9	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	B19	SECCIÓN	M		PROM	S		PROM
	Diámetro (cm)	12,54	12,7	12,62	11	11,15	11,075		Diámetro (cm)	12,55	12,7	12,625	11,14	11,02	11,08
	Espesor (cm)	2,17	2,22	2,0125	2,03	1,86	1,7575		Espesor (cm)	1,93	1,66	1,81	1,9	1,13	1,3975
1,86		1,8	1,34		1,8	1,75		1,9		1,36	1,2				
B10	SECCIÓN	M		PROM	S		PROM	B20	SECCIÓN	M		PROM	S		PROM
	Diámetro (cm)	13,04	13,36	13,2	11,5	11,65	11,575		Diámetro (cm)	12,4	12,16	12,28	8,09	9,03	8,56
	Espesor (cm)	2	1,65	1,8	1,4	1,37	1,3475		Espesor (cm)	1,7	2,1	1,9375	0,95	1,04	0,99
1,61		1,94	1,23		1,39	2,12		1,83		0,95	1,02				

## Anexo 7 Caracterización de la *Guadua angustifolia* del Predio C. La Vega.

C1	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	C11	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	12,56	13	12,78	11,89	11,83	11,86		Diámetro (cm)	12,15	12,35	12,25	11,56	11,35	11,455
	Espesor (cm)	1,76	2,16	1,93	1,22	1,36	1,2675		Espesor (cm)	1,76	2,05	1,8975	1,35	1,23	1,325
1,9		1,9	1,23		1,26	1,86		1,92		1,36	1,36				
C2	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	C12	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	11,44	11,05	11,245	10,81	10,73	10,77		Diámetro (cm)	11,72	11,87	11,795	12,04	12,24	12,14
	Espesor (cm)	1,85	1,42	1,6425	1,27	1,28	1,25		Espesor (cm)	1,93	1,66	1,8175	1,32	1,54	1,38
1,7		1,6	1,1		1,35	1,95		1,73		1,36	1,3				
C3	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	C13	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	11,36	11	11,18	9,48	9,49	9,485		Diámetro (cm)	11,18	11,3	11,24	11,08	11,87	11,475
	Espesor (cm)	1,26	1,65	1,4975	0,82	0,97	0,9325		Espesor (cm)	2,06	1,94	1,9875	1,96	1,44	1,545
1,48		1,6	1		0,94	1,82		2,13		1,49	1,29				
C4	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	C14	SECCIÓN	M		PROM	S		PROM
	Diámetro (cm)	11,1	11,34	11,22	10,83	10,81	10,82		Diámetro (cm)	11,98	11,75	11,865	11,24	11,03	11,135
	Espesor (cm)	1,65	1,75	1,7225	1,3	1,34	1,34		Espesor (cm)	1,54	1,46	1,5075	1,27	1,11	1,205
1,61		1,88	1,45		1,27	1,4		1,63		1,21	1,23				
C5	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	C15	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	12,25	12,08	12,165	12,66	12,78	12,72		Diámetro (cm)	11,3	11,43	11,365	10,63	10,7	10,665
	Espesor (cm)	1,81	1,55	1,72	1,45	1,3	1,36		Espesor (cm)	1,73	1,68	1,675	1,23	1,3	1,2525
1,76		1,76	1,36		1,33	1,79		1,5		1,3	1,18				
C6	SECCIÓN	M		PROM	S		PROM	C16	SECCIÓN	M		PROM	S		PROM
	Diámetro (cm)	12,38	12,64	12,51	11,05	11,27	11,16		Diámetro (cm)	12,25	12,35	12,3	11,55	11,55	11,55
	Espesor (cm)	1,57	1,7	1,6	1,28	1,25	1,275		Espesor (cm)	2	1,86	1,9375	1,5	1,35	1,4325
1,54		1,59	1,3		1,27	1,93		1,96		1,4	1,48				
C7	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	C17	SECCIÓN	M		PROM	S		PROM
	Diámetro (cm)	12	12,23	12,115	11,85	12,16	12,005		Diámetro (cm)	13,33	13,13	13,23	12,43	12,5	12,465
	Espesor (cm)	1,69	2,05	1,8325	1,9	1,93	1,6675		Espesor (cm)	1,95	2,17	2,02	1,4	1,34	1,3675
1,89		1,7	1,48		1,36	1,95		2,01		1,25	1,48				
C8	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	C18	SECCIÓN	M		PROM	S		PROM
	Diámetro (cm)	11	11,2	11,1	10,44	10,38	10,41		Diámetro (cm)	12,15	12,19	12,17	11,47	11,43	11,45
	Espesor (cm)	1,5	1,7	1,585	1,1	1,24	1,1525		Espesor (cm)	1,72	1,94	1,78	1,17	1,36	1,255
1,64		1,5	1,15		1,12	1,56		1,9		1,23	1,26				
C9	SECCIÓN	M		PROM	S		PROM	C19	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	12,63	12,5	12,565	10,67	10,53	10,6		Diámetro (cm)	12,4	12,47	12,435	12,1	12,07	12,085
	Espesor (cm)	1,76	1,77	1,7425	1,17	1,13	1,1425		Espesor (cm)	2,08	2,017	2,0593	1,32	1,4	1,375
1,67		1,77	1,2		1,07	1,84		2,3		1,4	1,38				
C10	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	C20	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	12,52	12,32	12,42	11,2	11,36	11,28		Diámetro (cm)	11,2	11	11,1	11,1	11,6	11,35
	Espesor (cm)	1,93	1,69	1,805	1,2	1,16	1,1675		Espesor (cm)	1,45	1,69	1,575	1,24	1,28	1,27
1,7		1,9	1,24		1,07	1,54		1,62		1,31	1,25				

## Anexo 8 Caracterización de la *Guadua angustifolia* del Predio D. SENA

D1	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	D9	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	10,62	10,6	10,61	10,62	10,34	10,48		Diámetro (cm)	11,12	11,2	11,16	10,48	10,38	10,43
	Espesor (cm)	1,73	1,74	1,7775	1,2	1,1	1,14		Espesor (cm)	1,93	1,85	1,8975	1,26	1,33	1,295
1,78		1,86	1,22		1,04	1,8		2,01		1,33	1,26				
D2	SECCIÓN	I		PROM	S		PROM	D10	SECCIÓN	I		PROM	S		PROM
	Diámetro (cm)	10,99	11,04	11,015	9,27	9,36	9,315		Diámetro (cm)	11,69	11,5	11,595	12,2	12,078	12,139
	Espesor (cm)	1,4	1,65	1,4775	0,7	1,13	0,9025		Espesor (cm)	2	2,07	1,97	1,68	1,5	1,6475
1,5		1,36	1,08		0,7	1,94		1,87		1,72	1,69				
D3	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	D11	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	12,82	12,56	12,69	10,39	10,05	10,22		Diámetro (cm)	11,83	11,78	11,805	10,6	10,3	10,45
	Espesor (cm)	1,6	1,7	1,715	1,3	1,12	1,2425		Espesor (cm)	1,65	1,75	1,6575	1,25	1,14	1,1975
1,87		1,69	1,35		1,2	1,63		1,6		1,2	1,2				
D4	SECCIÓN	I		PROM	S		PROM	D12	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	9,59	9,75	9,67	9,14	8,85	8,995		Diámetro (cm)	10,84	11	10,92	10,93	10,96	10,945
	Espesor (cm)	1,37	1,4	1,3625	1,07	1,09	1,08		Espesor (cm)	1,7	1,74	1,69	1,61	1,5	1,5425
1,28		1,4	1,07		1,09	1,62		1,7		1,54	1,52				
D5	SECCIÓN	I		PROM	S		PROM	D13	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	12,05	12,06	12,055	10,82	10,8	10,81		Diámetro (cm)	10,48	10,42	10,45	9,26	9,09	9,175
	Espesor (cm)	1,87	1,95	1,94	1,3	1,34	1,325		Espesor (cm)	1,4	1,44	1,4	0,93	1,13	1,01
2,08		1,86	1,3		1,36	1,43		1,33		1,03	0,95				
D6	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM	D14	SECCIÓN	I		PROM	S		PROM
	Diámetro (cm)	11,87	12,1	11,985	10,75	10,64	10,695		Diámetro (cm)	11,82	11,46	11,64	11,1	11,4	11,25
	Espesor (cm)	2,13	2,06	1,99	1,31	1,42	1,38		Espesor (cm)	1,87	1,77	1,8525	1,42	1,64	1,49
1,88		1,89	1,34		1,45	1,82		1,95		1,45	1,45				
D7	SECCIÓN	I		PROM	I		PROM	D15	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM
	Diámetro (cm)	11,87	11,93	11,9	11,14	11	11,07		Diámetro (cm)	12,39	12,44	12,415	9,93	9,83	9,88
	Espesor (cm)	1,8	2,03	1,935	1,35	1,36	1,4		Espesor (cm)	1,76	1,84	1,8025	1,14	0,9	1,0425
2,01		1,9	1,39		1,5	1,78		1,83		1,13	1				
D8	SECCIÓN	I		PROM	M		PROM								
	Diámetro (cm)	11,88	11,98	11,93	11,25	11,37	11,31								
	Espesor (cm)	1,91	2,09	1,99	1,5	1,5	1,48								
2,06		1,9	1,4		1,52										

**Anexo 9** Esfuerzo a carga máxima, contenido de humedad y densidad de las probetas de la zona A.

PROBETA	Carga P (N)	$\sigma$ (MPa)	CH (%)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )
A1	9726,67	55,75	109,72	1,09
A2	12169,33	67,97	76,32	1,11
A3	10752,67	53,22	124,16	1,10
A4	10275,67	57,14	136,17	1,07
A5	11879,33	63,04	106,69	1,06
A6	10971,33	58,06	100,30	1,09
A7	8782,67	56,71	100,32	1,07
A8	7286,33	55,84	94,59	1,06
A9	13401,33	71,62	85,39	1,15
A10	11478	58,91	125,96	1,10
A11	9782,33	42,54	130,71	1,07
A12	10116,33	51,26	116,60	1,07
A13	10666	70,52	84,37	1,09
A14	11345,33	67,46	82,36	1,09
A15	9517,00	59,95	105,71	1,11
A16	10173,67	47,76	97,75	1,06
A17	12073,33	62,99	82,27	1,25
A18	9696,67	56,63	91,60	1,06
A19	10494,33	55,73	126,29	1,06
A20	13824	58,41	102,05	1,10

**Anexo 10** Esfuerzo a carga máxima, contenido de humedad y densidad de las probetas de la zona B.

PROBETA	Carga P (N)	$\sigma$ (MPa)	CH (%)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )
B1	14264	68,88	107,43	1,11
B2	**	0,00	103,02	1,09
B3	14530,67	52,24	134,84	1,07
B4	11927,33	55,82	109,46	1,05
B5	11741,33	51,86	105,23	1,06
B6	12353,33	66,99	101,93	1,07
B7	16383,33	62,32	91,76	1,05
B8	16648,67	61,98	93,25	1,08
B9	14232,67	61,93	111,73	1,10
B10	9674,67	47,43	128,32	1,08
B11	8209,33	41,05	105,31	1,05
B12	10944,67	51,62	98,33	1,05
B13	12552	70,80	84,71	1,12
B14	10567	54,60	98,80	1,07
B15	14226	45,46	108,93	1,07
B16	10131	48,22	116,04	1,06
B17	11074,67	47,68	126,91	1,09
B18	12334	64,35	109,97	1,12
B19	14958	61,50	91,38	1,15
B20	11021,33	54,63	128,07	1,09

\*\* Datos faltantes

**Anexo 11** Esfuerzo a carga máxima, contenido de humedad y densidad de las probetas de la zona C.

PROBETA	Carga P (N)	$\sigma$ (MPa)	CH (%)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )
C1	17666,00	65,45	97,10	1,12
C2	9843,67	42,48	115,81	1,07
C3	9463,33	63,17	120,25	1,09
C4	12677,33	52,95	111,96	1,08
C5	16592,67	54,55	110,86	1,10
C6	10719,67	57,08	95,03	1,11
C7	12386,00	45,88	98,68	1,15
C8	9812,00	50,20	126,76	1,08
C9	9664,00	50,39	105,35	1,09
C10	9832,33	38,49	132,70	1,04
C11	**	57,02	108,21	1,10
C12	13683,33	57,76	96,15	1,12
C13	18646,67	61,79	88,18	1,16
C14	17026,00	70,15	92,78	1,18
C15	10515,00	47,57	122,18	1,15
C16	14595,33	55,08	87,81	1,19
C17	14076,67	53,82	115,31	1,09
C18	10854,33	49,57	97,70	1,16
C19	15416,67	62,62	100,79	1,19
C20	11268,67	47,92	146,26	1,15

\*\* Datos faltantes

**Anexo 12** Esfuerzo a carga máxima, contenido de humedad y densidad de las probetas de la zona C.

PROBETA	Carga P (N)	$\sigma$ (MPa)	CH (%)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )
D1	13651,330	61,593	76,202	1,154
D2	13576,000	75,326	71,918	1,133
D3	12998,000	62,167	78,577	1,125
D4	12186,000	73,235	86,759	1,051
D5	12674,000	69,669	79,379	1,120
D6	16844,000	75,884	83,061	1,134
D7	19988,000	68,651	88,003	1,123
D8	21676,670	60,806	68,493	1,137
D9	14202,000	65,669	94,126	1,101
D10	18416,670	72,140	77,707	1,132
D11	12081,330	67,169	75,405	1,138
D12	4693,000	18,594	72,694	1,157
D13	13512,000	71,201	71,171	1,127
D14	14074,000	65,590	81,922	1,119
D15	11719,330	52,304	96,835	1,141