

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA Y  
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA GUADUA  
ANGUSTIFOLIA DEL MUNICIPIO DE PITALITO-HUILA**

**ANDRES FELIPE CAPERA OSORIO**

**WILSON JAVIER ERAZO ESPINOSA**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
NEIVA  
2012**

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA Y  
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA GUADUA  
ANGUSTIFOLIA DEL MUNICIPIO DE PITALITO-HUILA**

**ANDRES FELIPE CAPERA OSORIO**

**WILSON JAVIER ERAZO ESPINOSA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero  
agrícola**

**Directores:**

**M.Sc MAURICIO DUARTE TORO  
M.Sc. CAORI PATRICIA TAKEUCHI TAM**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
NEIVA  
2012**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Jurado**

---

**Jurado**

---

**Director**

---

**Director**

**Neiva, septiembre de 2012**

## DEDICATORIAS

*Dedico este proyecto a mis padres **Armando Capera** y **Cenelia Osorio Andrade**, quienes son los principales moldeadores de mi formación como persona, porque creyeron en mí y brindaron su colaboración y esfuerzo para hacer de este proyecto una realidad, a mi hermano **Diego Armando Capera Osorio** y familiares.*

*Andrés Felipe Capera Osorio*

*Dedicado a mis padres **Flor Elsa Espinosa** y **Cesar Augusto Erazo**, a mi hermano **Cesar A. Erazo Espinosa** y familiares, a mi novia **Diana M. Gutiérrez** y amigos. Gracias por el apoyo incondicional, comprensión y amor que me han brindado.*

*Wilson Javier Erazo Espinosa*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Dios nuestro guía por la sabiduría, paciencia, confianza y fortaleza espiritual que nos ha dado.

Sus 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.

Los ingenieros Jarrison Pisso, Abraham Aragón y al instructor Bertulfo Avendaño, del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) sede Pitalito, en cabeza del subdirector Henry Lizcano Parra, por su colaboración, compromiso y paciencia, durante la identificación y selección de los predios.

Juan Manuel Lizarazo Marriaga director del Instituto de Extensión e Investigación (I.E.I) de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, y a los laboratoristas Jorge Olarte, José Darío Moreno y Pastor Riaño, por su colaboración durante los ensayos.

La Ingeniería Patricia Luna Tamayo del SINDU por sus asesorías, dedicación y cooperación.

Los docentes de la Universidad Surcolombiana sede Neiva Eduardo Valencia Granada, Nelson Gutiérrez, Rodrigo Pachón y Jorge Orlando Mayorga, por sus aportes, consejos e interés en el proyecto. Igualmente al técnico profesional Efrén Mosquera Villareal por su contribución.

Los directores de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) en las sedes Neiva y Pitalito, Rey Ariel Borbón y Edisney Silva respectivamente, y a Cesar Penagos.

Los amigos y compañeros de estudio, Paola A. Sánchez, Carlos E. Cáceres, Mario G. Trujillo, Diana R. Medina, Jairo F. Olarte, John W. Castañeda, Diana M. Gutiérrez, Fernando Leiva, Luis A. Rueda, Diego Quintana y Diego Coronado, por todas las experiencias vividas y el apoyo brindado durante el desarrollo de la carrera Universitaria.

## CONTENIDO

Pág.

RESUMEN	
ABSTRACT	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
JUSTIFICACIÓN	
1. OBJETIVOS.....	26
1.1. Objetivo general.....	26
1.2. Objetivos específicos.....	26
2. ANTECEDENTES.....	27
3. MARCO TEÓRICO.....	33
3.1 LA GUADUA.....	33
3.2. <i>GUADUA ANGUSTIFOLIA</i> .....	35
3.2.1. MORFOLOGÍA.....	36
3.2.1.1. RIZOMA.....	37
3.2.1.2. TALLO.....	37
3.2.1.3. YEMA.....	40
3.2.1.4. RAMAS.....	40
3.2.1.5. HOJA CAULINAR.....	41
3.2.1.6. FOLLAJE.....	42
3.2.2. MANEJO SILVICULTURAL Y APROVECHAMIENTO.....	43
3.2.3. IMPORTANCIA AMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICA.....	44
3.3. LA GUADUA COMO MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN.....	46
3.4. COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA.....	47
3.5. VALOR CARACTERÍSTICO.....	48
3.6. ESFUERZO ADMISIBLE.....	49
3.7. MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	49
3.8. RELACIÓN DE POISSON.....	50
3.9. DISEÑO EXPERIMENTAL Y MÉTODOS ESTADÍSTICOS.....	50
3.9.1. DISEÑO FACTORIAL MULTINIVEL.....	52
3.9.1.1. ANÁLISIS DE LA VARIANZA.....	52
3.9.2. CONTRASTE DE HIPÓTESIS.....	52
4. METODOLOGÍA.....	54
4.1. LOCALIZACIÓN.....	54
4.1.1. ZONA DE APROVECHAMIENTO DEL MATERIAL.....	54
4.2. NORMAS Y PROTOCOLOS.....	55
4.3. SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO.....	56
4.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS SITIOS DE MUESTREO.....	57
4.5. METODOLOGÍA PARA EL CORTE DE LOS CULMOS.....	57
4.6. METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS.....	57
4.7. ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA, MÓDULOS DE ELASTICIDAD, CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD BÁSICA.....	58

4.8. ANÁLISIS DE DATOS.....	59
4.8.1. ANÁLISIS DE VARIANZA MULTIFACTORIAL.....	59
4.8.2. FACTORES, NIVELES DE FACTOR Y VARIABLE DEPENDIENTE.....	59
4.8.3. ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS.....	60
5. CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	61
5.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO.....	61
5.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE CULMOS.....	61
5.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS PROBETAS.....	61
5.4. CARGA ÚLTIMA, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA LA FIBRA, CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD BÁSICA.....	62
5.5. GRÁFICAS ESFUERZO VS DEFORMACIÓN.....	65
5.6. MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y COEFICIENTE DE POISSON.....	67
5.7. VALORES CARACTERÍSTICOS Y ESFUERZOS ADMISIBLES.....	68
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	72
6.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO.....	72
6.1.1. EXCLUSIÓN DE DATOS ATÍPICOS.....	72
6.2. ANÁLISIS DESCRIPTIVO.....	72
6.3. ANÁLISIS INFERENCIAL Y COMPARATIVO.....	74
6.3.1. ANÁLISIS DE VARIANZA MULTIFACTORIAL.....	75
6.3.2. PRUEBAS DE MULTIPLES RANGOS PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	75
6.3.3. CONTRASTE DE HIPÓTESIS.....	78
6.4. ANÁLISIS DESCRIPTIVO Y COMPARATIVO PARA MÓDULOS DE ELASTICIDAD.....	80
6.5. COEFICIENTE DE POISSON.....	81
6.6. ANÁLISIS COMPARATIVO PARA ESFUERZOS ADMISIBLES.....	81
7. CONCLUSIONES.....	83
8. RECOMENDACIONES.....	85
9. BIBLIOGRAFÍA.....	87
ANEXOS.....	93

## LISTA DE ABREVIATURAS

Fult	=	Carga máxima a la cual falla la probeta
COV <sub>c</sub>	=	Coefficiente de variación de esfuerzos para compresión
CH	=	Contenido de humedad
R <sup>2</sup>	=	Coefficiente de correlación
δ	=	Deformación
ε	=	Deformación unitaria
s	=	Desviación estándar de los datos
LSD	=	Diferencia mínima significativa
σ	=	Esfuerzo
F <sub>i</sub>	=	Esfuerzo básico
σ <sub>adm</sub>	=	Esfuerzo admisible
σ <sub>ult</sub>	=	Esfuerzo último
FDC	=	Factor de duración de carga
FC	=	Factor de reducción para esfuerzos admisibles
F <sub>s</sub>	=	Factor de seguridad
P	=	Fuerza axial
m	=	Masa de la probeta antes del secado
m <sub>o</sub>	=	Masa de la probeta después del secado
E	=	Módulo de elasticidad
n	=	Número de ensayos
μ	=	Relación de Poisson
f <sub>kc</sub>	=	Valor característico
f <sub>0.05i</sub>	=	Valor correspondiente al percentil 5 de los datos
φ	=	Valor medio de diámetro exterior
C	=	Valor medio de espesor de pared
H	=	Valor medio de longitud
m'	=	Valor promedio de los datos
V	=	Volumen húmedo (verde) de la probeta

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características medias generales de las agrupaciones de acuerdo a las variables de calidad.	28
Tabla 2. Resistencia promedio en Mpa para probetas de guadua en edad madura y por secciones con y sin diafragma.	30
Tabla 3. Análisis estadístico para resistencia última a compresión paralela, tres zonas.	30
Tabla 4. Análisis estadístico para módulo de elasticidad a compresión paralela, tres zonas.	30
Tabla 5. Análisis estadístico para coeficiente de Poisson para las 3 zonas.	31
Tabla 6. Resistencia a la compresión paralela a la fibra promedio para carga máxima.	31
Tabla 7. Factores climáticos que condicionan el crecimiento de la guadua.	34
Tabla 8. Factores edáficos que condicionan el crecimiento de la guadua.	34
Tabla 9. Características y usos principales de los culmos de <i>Guadua angustifolia</i> según el estado de madurez.	39
Tabla 10. Características y usos principales de los culmos de <i>Guadua angustifolia</i> según el segmento longitudinal.	39
Tabla 11. Localización de las zonas Pitalito y Timaná.	56
Tabla 12. Factores y niveles de factor cuyos efectos sobre la resistencia a la compresión fueron evaluados.	59
Tabla 13. Clasificación de los datos según el factor y sus niveles correspondientes.	60
Tabla 14. Área de la sección transversal y dimensiones promedio de probetas extraídas de la parte inferior de culmos procedentes de la zona A.	62
Tabla 15. Esfuerzo a carga máxima, contenido de humedad y densidad básica de las probetas de la sección inferior en culmos de la zona A.	64

Tabla 16. Lecturas y valores de deformación unitaria para la probeta AC10M con comparador de carátula mecánico.	65
Tabla 17. Deformaciones unitarias a 0°, 45° y 135° con respecto al eje transversal de la probeta DC03S, medidas con deformímetros eléctricos.	66
Tabla 18. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para la zona A.	70
Tabla 19. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para la zona B.	70
Tabla 20. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para la zona C.	70
Tabla 21. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para la zona D.	71
Tabla 22. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para la zona E.	71
Tabla 23. Valores característicos y esfuerzos admisibles para las 5 zonas.	71
Tabla 24. Análisis descriptivo para diámetro para las 5 zonas.	73
Tabla 25. Análisis descriptivo para espesor de pared para las 5 zonas.	73
Tabla 26. Análisis descriptivo para densidad básica para las 5 zonas.	74
Tabla 27. Análisis descriptivo global para contenido de humedad.	74
Tabla 28. Análisis de varianza multifactorial para resistencia a la compresión paralela a la fibra.	75
Tabla 29. Prueba de múltiples rangos para resistencia a la compresión por Zona.	76
Tabla 30. Prueba de múltiple rangos para resistencia a la compresión por Sección.	76
Tabla 31. Prueba de múltiples rangos para resistencia a la compresión por Nudo.	77

Tabla 32. Análisis descriptivo para módulo de elasticidad por secciones para probetas instrumentadas con comparadores de carátula y deformímetros eléctricos.	80
Tabla 33. Análisis descriptivo para módulos de elasticidad de probetas instrumentadas con comparadores de carátula y deformímetros eléctricos.	81
Tabla 34. Caracterización física de culmos de la zona A. Diámetros y espesores de cada una de las secciones en sus extremos	108
Tabla 35. Caracterización física de culmos de la zona B. Diámetros y espesores de cada una de las secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).	110
Tabla 36. Caracterización física de culmos de la zona C. Diámetros y espesores de cada una de las secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).	112
Tabla 37. Caracterización física de culmos de la zona D. Diámetros y espesores de cada una de las secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).	114
Tabla 38. Caracterización física de culmos de la zona E. Diámetros y espesores de cada una de las secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).	116
Tabla 39. Caracterización física de culmos de la zona A. Longitud de entrenudos (cm).	118
Tabla 40. Caracterización física de culmos de la zona B. Longitud de entrenudos (cm).	119
Tabla 41. Caracterización física de culmos de la zona C. Longitud de entrenudos (cm).	120
Tabla 42. Caracterización física de culmos de la zona D. Longitud de entrenudos (cm).	121
Tabla 43. Caracterización física de culmos de la zona E. Longitud de entrenudos (cm).	122
Tabla 44. Módulos de elasticidad para probetas con comparadores de carátula mecánico.	134

Tabla 45. Módulos de elasticidad y coeficiente de Poisson para probetas con deformímetros eléctricos. 134

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Taxonomía de la guadua.	32
Figura 2. Bosque de <i>Guadua angustifolia</i> en la vereda San Francisco, municipio de Pitalito.	34
Figura 3. Raíz de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth en el centro nacional para el estudio del bambú.	36
Figura 4. Culmo de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth en la vereda San Francisco, Municipio de Pitalito.	37
Figura 5. Yema sobre línea nodal en un tallo <i>Guadua angustifolia</i> .	40
Figura 6. Rama de <i>Guadua angustifolia</i> .	40
Figura 7. Renuevo de <i>Guadua angustifolia</i> recubierto por hojas caulinares.	41
Figura 8. Hojas del follaje en <i>Guadua angustifolia</i> .	41
Figura 9. Quebrada la Colorada en el predio La Vega, vereda Pantanos, municipio de Timaná.	43
Figura 10. Proyecto sostenible plan de vivienda de interés social centenario en el municipio de Timaná.	44
Figura 11. Curva esfuerzo ( $\sigma$ )-Deformación ( $\epsilon$ ).	49
Figura 12. Etapas para el desarrollo del proyecto.	53
Figura 13. Ubicación geográfica de los municipio Pitalito-Timaná.	54
Figura 14. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria longitudinal probeta AC10M.	65
Figura 15. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria longitudinal y transversal probeta DC03S.	66
Figura 16. Gráfico de probabilidad normal para Residuos. Se cumple con el supuesto de normalidad de los residuos.	77

Figura 17. Gráfico de residuos frente a predichos para resistencia a la compresión en Mpa. Se cumple con el supuesto de homocedasticidad de los residuos.	78
Figura 18. Gráfico de residuos frente a número de fila para resistencia a la compresión en Mpa. Se cumple con el supuesto de independencia de los residuos.	78
Figura 19. Medida, demarcación y corte con machete, predio La Vega-Timaná-Huila.	99
Figura 20. Trozado de culmos.	99
Figura 21. Transporte de material Finca la Esperanza Pitalito-Huila.	100
Figura 22. Almacenamiento del material en el I.E.I.	100
Figura 23. Corte e identificación de probetas en el I.E.I.	101
Figura 24. Equipo eje vertical para pulir probetas en el laboratorio de albañearía de Artes de la universidad Nacional de Colombia sede Bogotá	101
Figura 25. Caracterización física de probetas en el I.E.I.	102
Figura 26. Proceso de inmersión de las probetas de guadua.	102
Figura 27. Equipo de carga a compresión paralela a la fibra.	103
Figura 28. Equipo de carga a compresión paralela a la fibra y comparador de carátula mecánico laboratorio de agregados y concreto del I.E.I.	103
Figura 29. Deformímetros eléctricos triaxiales.	104
Figura 30. Equipo para el proceso de secado de las láminas de guadua en el laboratorio de materiales y cementos del I.E.I.	104
Figura 31. Equipo para el proceso de secado de las láminas de guadua laboratorio del SINDU Facultad de Artes.	105
Figura 32. Ensayos físicos para determinar la densidad básica de las láminas de guadua en el laboratorio de materiales y cementos del I.E.I.	105
Figura 33. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta AC01I.	135
Figura 34. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta AC03S.	135

Figura 35. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta BC08I.	136
Figura 36. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria longitudinal probeta BC01M.	136
Figura 37. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta CC09I.	137
Figura 38. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta CC08M.	137
Figura 39. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta CC06S.	138
Figura 40. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta DC02I.	138
Figura 41. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta DC06M.	139
Figura 42. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta DC07S.	139
Figura 43. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta EC03I.	140
Figura 44. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta EC08M.	140
Figura 45. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta EC09S.	141
Figura 46. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta AC07I.	141
Figura 47. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta AC07M.	142
Figura 48. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta AC07S.	142
Figura 49. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta BC01I.	143
Figura 50. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta CC08I.	143
Figura 51. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta CC07M.	144
Figura 52. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta CC10S.	144

Figura 53. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta DC07I.	145
Figura 54. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta DC03M.	145
Figura 55. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta EC06I.	146
Figura 56. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta EC10M.	146
Figura 57. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta EC10M.	147

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Descripción y caracterización de las propiedades físicas del suelo para el predio La Vega, vereda Pantanos - municipio de Timaná.	94
Anexo 2. Descripción y caracterización física de las propiedades físicas del suelo para el predio La Esperanza, vereda San Francisco – municipio de Pitalito.	95
Anexo 3.Descripción y caracterización de las propiedades físicas del suelo para el predio La Dalia y Limón, vereda Palmarito - municipio de Pitalito.	96
Anexo 4.Descripción y caracterización de las propiedades físicas del suelo para el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)Yamboró, vereda Aguadas - municipio de Pitalito.	97
Anexo 5.Descripción y caracterización de las propiedades físicas del suelo para el predio Villa María, vereda Zanjones - Municipio de Pitalito.	98
Anexo 6. Corte y trozado de culmos.	99
Anexo 7.Caracterización física de culmos y probetas.	100
Anexo 8.Ensayos físicos y mecánicos de probetas de <i>Guadua angustifolia</i> .	103
Anexo 9. Caracterización física de la sección Inferior (Cepa) y la probeta AC03I.	106
Anexo 10.Caracterización física de la probeta AC03I.	107
Anexo 11. Caracterización física de culmos de <i>Guadua angustifolia</i> .	108
Anexo 12. Caracterización física de probetas de <i>Guadua angustifolia</i> .	123
Anexo 13.Carga máxima, física esfuerzo último a compresión, contenido de humedad y densidad básica.	129
Anexo 14. Resultados de módulos de elasticidad y coeficientes de Poisson.	134
Anexo 15. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria longitudinal.	135

## **LISTA DE PLANOS**

Plano1. Zonificación ambiental del municipio de Pitalito y Timaná-Huila.

Plano 2. Georeferenciación y áreas de las zonas de estudio en el municipio de Pitalito y Timaná-Huila.

## GLOSARIO

Los siguientes términos y definiciones fueron tomados de acuerdo con lo establecido en el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo-resistentes del 2010 (NSR-10) en el título G “Estructuras de madera y estructuras de guadua”; y las Normas Técnicas Colombianas NTC 5300, NTC5301 y NTC 5525 y la Norma Unificada para el Manejo y Aprovechamiento de la guadua.

**Basa:** Segundo segmento del culmo de guadua, a continuación de la cepa, con longitud entre 4 y 6m.

**Capacidad (de un elemento o componente estructural)<sup>1</sup>:** Es la máxima fuerza axial, fuerza cortante y momento flector que es capaz de resistir un elemento o componente estructural.

**Cargar:** Aplicar fuerzas a una estructura o elemento estructural

**Cepa:** Primer segmento basal del culmo de guadua con longitudes que fluctúan entre 3 a 4m; es la parte de la guadua que presente el mayor diámetro y el mayor espesor de pared.

**Coeficiente de modificación:** Son los coeficientes por los cuales se afecta a los esfuerzos admisibles y a los módulos admisibles de elasticidad, para tener en cuenta las condiciones de uso particular de un elemento o componente estructural y así obtener los valores modificados que pueden ser usados en el diseño estructural.

**Condición de uso:** Se refiere a la condición de exposición al medio ambiente, a la forma de uso y al tipo de cargas que solicitaran al elemento durante su etapa de servicio.

**Culmo:** Eje aéreo segmentado de los bambúes, formado por nudos y entrenudos, que emerge del rizoma. Equivalente al tallo de un árbol.

**Densidad básica (DB):** Cociente entre la masa en estado anhidro (guadua seca al horno) y el volumen de la guadua en estado verde (VV).

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

**Esfuerzos admisibles:** Son los esfuerzos de diseño de compresión paralela y perpendicular, corte paralelo, flexión, tracción paralela y perpendicular, de los elementos estructurales de guadua.

**Esfuerzos admisibles modificados para diseño:** Es el esfuerzo resultante de multiplicar el esfuerzo admisible de referencia por los coeficientes de modificación aplicables. Es el esfuerzo que debe ser usado para realizar el diseño estructural y para revisar los diseños de aceptación.

**Esfuerzo calculado:** Es el esfuerzo resultante de las solicitudes de servicio.

**Fibra:** Célula alargada con extremos puntiagudos y casi siempre con paredes gruesas.

**Guadua madura o "hecha":** Guadua de edad mayor a 5 años la cual presenta tallo verde-blanquecino, con presencia abundante de manchas de líquenes y musgos en los entrenudos y sobre los nudos, sin que haya pubescencia sobre el culmo ni presencia de hojas caulinares en la base.

**Probeta:** Segmento o pieza de guadua con medidas específicas que se usa para ensayos o pruebas de laboratorio.

**Rodal:** Conjunto de culmos que pueblan un terreno diferenciándolo de los colindantes.

**Secado:** Proceso natural o mecánico mediante el cual se reduce el contenido de humedad de la guadua.

**Sección transversal:** Sección que resulta de cortar una guadua en sentido perpendicular a las fibras.

**Sobrebasa:** Tercer segmento del culmo de guadua, localizado a continuación de la basa con longitudes hasta de 4m.

**Socola:** Labor silvicultural que consiste en la eliminación de vegetación herbácea, bejucos, lianas, enredaderas y otros brinzales con el fin de facilitar la circulación dentro del rodal.

**Solicitud:** Fuerza interna (axial, cortante, momento flector o tracción) que actúa en una sección determinada de un elemento o componente estructural. También se entenderá, como los esfuerzos asociados a cada una de las fuerzas internas que actúen en una sección determinada de un elemento o componente estructural y que se calculan a partir de la teoría de elasticidad.

**Varillón:** Segmento terminal del culmo de guadua, localizado a continuación de la sobrebasa, con longitudes hasta de 4m. Se utiliza tradicionalmente en cubiertas como soporte de tejas de barro.

## RESUMEN

Se ha estudiado la *Guadua angustifolia* de los municipios Pitalito y Timaná. Hasta la fecha no se habían documentado ni realizado estudios de caracterización física y mecánica de esta planta. Siguiendo las recomendaciones dadas por las NTC 5525 y NSR-10, se han determinado propiedades mecánicas como resistencia a la compresión paralela a la fibra y módulos de elasticidad para cumplir con el objetivo principal. Durante el proceso se evaluaron propiedades físicas como, densidad básica, contenidos de humedad, diámetros y espesores de pared para probetas, y en adición a los anteriores, longitudes de entrenudos para secciones de culmos; según las NTC 5525, NTC 5300, NTC 5301, ISO/DIS 22157 y los protocolos para corte de culmos y probetas, y determinación de la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

Los ensayos para determinación de módulos de elasticidad fueron realizados con comparadores de carátula y deformímetros eléctricos uniaxiales y triaxiales.

Se realizó un análisis estadístico inferencial partiendo de un diseño experimental para medir la incidencia de factores como zona, sección del culmo y presencia de nudo sobre la resistencia a la compresión paralela a la fibra. El ANOVA multifactorial permitió reconocer la significancia estadística del factor sección con un nivel de confianza del 95%. Los factores zona y presencia de nudo no fueron significativos.

De forma descriptiva y comparativa se analizaron las variables resistencia a la compresión paralela a la fibra, módulos de elasticidad, diámetros, espesores de pared y densidad básica. Como referencia para estos análisis se utilizaron los resultados de otros estudios así como lo establecido en la NSR-10. Adicionalmente se calcularon valores característicos y esfuerzos admisibles a partir de los datos de resistencia última analizados.

**Palabras clave:** *Guadua angustifolia*, resistencia a la compresión, módulos de elasticidad.

## ABSTRACT

The study of the *Guadua angustifolia* was carried in the municipalities of Pitalito and Timana. To date physical and mechanical characterization about this plant species has not been documented or studied. Following the recommendations given by the NTC 5525 and NSR-10, to achieve the main objective mechanical properties as compressive strength parallel to grain and modulus of elasticity have been determined. In the process physical properties as, basic density, moisture content, diameters and wall thickness were assessed for the samples, and in addition to the above, internode lengths for sections of the culms; according to NTC 5525, NTC 5300, NTC 5301, ISO/DIS 22157 standards and also the Protocols for cutting culms and samples, and determining the compressive strength parallel to grain of the Universidad Nacional de Colombia in Bogotá.

To determine modulus of elasticity tests were performed with dial comparators and uniaxial and triaxial electrical Strain Gages.

Inferential Statistical analysis was performed starting from an experimental design for measuring the effects of factors such as: zone, section of the culm and presence of knot on the compressive strength parallel to grain. The multifactorial ANOVA helped to identify the statistical significance of the section factor, with a confidence level of 95%. The zone and the presence of knot were not significant factors.

The variables: compressive strength parallel to grain, 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. Additionally the characteristic values and allowable stresses were calculated from the analysis to ultimate strength data.

**Keywords:** *Guadua angustifolia*, compressive strength, elastic moduli.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los municipios de Pitalito y Timaná ubicados al sur del Departamento del Huila, tradicionalmente han basado su economía en la producción de café, producto que se ha posicionado a nivel nacional e internacional por su calidad. Como consecuencia de este posicionamiento del café, poco se ha considerado la utilización de otros productos como alternativa económica de importancia, entre los cuales figura la *Guadua angustifolia* que ha sido ampliamente utilizada para la adecuación de la infraestructura destinada precisamente al beneficio del café. Estructuras de tipo agrícola como beneficiaderos y secadores solares para el café se observan con frecuencia en esta zona, en donde además se ha utilizado la guadua para la construcción de corrales, establos y canales recolectores entre otros y en menor proporción en viviendas y estructuras de mayor escala.

Es preciso afirmar que pese a su amplia utilización, aún no se le ha dado a la guadua la importancia que se merece, debido en buena medida a la falta de conocimiento de sus propiedades y de sus grandes posibilidades como fuente económica en caso de consolidarse su utilización como material estructural, en especial en proyectos de mayor trascendencia en esta zona. La abundancia de este recurso a lo largo y ancho de la zona se debe a las condiciones climatológicas y edáficas que facilitan su reproducción, crecimiento y desarrollo de manera satisfactoria; razones suficientes para prestarle mayor atención a este recurso y potencializar su uso de manera controlada y tecnificada, evitando el deterioro de la calidad de los suelos que ya se han visto amenazados por la tala indiscriminada, producida por el interés de ampliar el área disponible para la siembra de otros cultivos como es el caso del café.

En departamentos como Antioquia, Caldas, Cundinamarca, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca, se ha afianzado el uso de la guadua para la edificación de viviendas de uno y dos pisos y demás estructuras, como consecuencia de su reglamentación como material para la construcción en el actual Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo resistentes (NSR-10), que surgió luego de los aportes realizados por múltiples investigaciones llevadas a cabo en las principales universidades del país. El interés generado hacia este material surgió luego de evidenciarse su capacidad para resistir sismos desde la época prehispánica en la región del eje cafetero hasta épocas más recientes.

En este reglamento se contemplan resultados de estudios realizados fuera del departamento del Huila por lo que podrían presentarse algunas diferencias, entre la guadua de los departamentos antes mencionados con la de los municipios de Pitalito y Timaná. De esta manera y dadas las necesidades por las que se debe realizar un estudio de caracterización física y mecánica de la *Guadua angustifolia* de la zona en cuestión, surgió la idea de investigación, que pretende además de

evaluar dichas características compararlas con información actual obtenida en otras regiones y lo estipulado en la NSR-10.

Para ser más específicos, se determinará la resistencia a la compresión paralela a la fibra y módulos de elasticidad. En relación a esta temática García (2004) ha demostrado que las condiciones de sitio pueden afectar la resistencia del material, Ghavami y Marinho (2005), González (2006), González et al (2008) y Lozano et al (2010), por su parte han demostrado que la resistencia a la compresión igualmente puede variar según la parte de la guadua que se esté considerando, no ocurriendo lo mismo por la presencia de nudos. Con la intención de comprobar si estos resultados aplican a la *Guadua angustifolia* de los municipios de Pitalito y Timaná se formularon las siguientes hipótesis:

- La resistencia a la compresión paralela a la fibra de culmos de *Guadua angustifolia* de los municipios de Pitalito y Timaná, no resulta afectada por las condiciones de sitio sobre la cuales se desarrolla.
- La parte o sección a considerar en culmos de *Guadua angustifolia* de los municipios de Pitalito y Timaná, no incide sobre la resistencia a la compresión paralela a la fibra.
- La presencia de nudos no genera mayores efectos sobre la resistencia a la compresión paralela a la fibra en culmos de *Guadua angustifolia* de los municipios de Pitalito y Timaná.

Adicional a la determinación de la resistencia a la compresión y módulos de elasticidad y su comparación con otros estudios, se evaluaron los contenidos de humedad y densidad básica del material al momento de la prueba. De esta manera además de aportar a los municipios de Pitalito y Timaná información novedosa e importante con esta investigación, se espera contribuir en esta línea y consolidar a largo plazo el uso de este recurso en la zona sur del departamento del Huila.

## JUSTIFICACIÓN

La explotación de la guadua se ha incrementado en los últimos años por la creciente demanda en el mercado que la utiliza (Muñoz, 2011). Esto se puede apreciar en los municipios de Pitalito y Timaná con el creciente número de viviendas y demás tipo de edificaciones realizadas principalmente por el SENA, única institución que ha liderado el proceso de tecnificación en el manejo y aprovechamiento de la guadua. Para el diseño de estructuras en guadua tanto en esta institución como en todo el territorio nacional se ha venido implementando lo reglamentado en la NSR-10 que recopila información generada por estudios de caracterización realizados en otros departamentos del país diferentes al Huila, entre ellos Antioquia, Caldas, Cundinamarca, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca.

A pesar del uso que se le ha dado a la guadua en la zona sur del departamento del Huila, todavía no se han realizado estudios para su caracterización física y mecánica, situación que genera incertidumbre para su utilización. La experiencia adquirida por quienes tradicionalmente han utilizado este material se puede complementar con cifras y estudios reales que documenten las razones por las que se ha utilizado este material para la construcción. La resistencia de este material solicitado a la compresión se conocerá con este trabajo, así como el módulo de elasticidad y su densidad. Con esto, se espera que tanto las personas que trabajan en el área como las que poseen en sus tierras bosques de guadua, considerarán las ventajas y posibilidades económicas que ofrece este recurso y buscarán conservarla y propagarla de manera transitoria, mejorando con ello las condiciones de los suelos, fuentes hídricas, atmosfera y biodiversidad.

Existe a nivel nacional la necesidad de conocer las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* para ampliar o afianzar los resultados alcanzados hasta el momento, por esta razón se considera significativo el aporte a realizar mediante este estudio. La determinación de la resistencia a la compresión paralela a la fibra y el módulo de elasticidad de la guadua presente en esta zona representa el comienzo de lo que se espera sea una serie de estudios consecutivos en beneficio de la misma especie, y de la población campesina, guadueros, transportadores, técnicos, ingenieros, arquitectos, instituciones como el SENA y los mismos municipios y el departamento. Con iniciativas como esta se puede pensar a largo plazo en mejorar los ingresos económicos y generar mayores oportunidades de empleo a la población menos favorecida.

Los resultados de este trabajo de investigación estarán a disposición de académicos, estudiantes, investigadores y demás personas involucradas con la Universidad Surcolombiana, la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá y el SENA. Los finqueros que aportaron el material objeto de estudio también tendrán acceso a esta información de forma resumida.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la resistencia a la compresión paralela a la fibra y el módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la resistencia a la compresión paralela a la fibra y módulos de elasticidad de probetas de *Guadua angustifolia* con nudo y sin nudo de la parte inferior, media y superior de culmos de diferentes procedencias en el municipio de Pitalito.
- Determinar el contenido de humedad y la densidad básica de probetas de *Guadua angustifolia* de la parte inferior, media y superior de culmos 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).
- Comparar los resultados de resistencia a la compresión paralela a la fibra de probetas de *Guadua angustifolia* de diferentes procedencias, partes del culmo y probetas con nudo y sin nudo mediante análisis estadístico.

## 2. ANTECEDENTES

La *Guadua angustifolia* desde su utilización como material estructural en proyectos arquitectónicos y de ingeniería (cuando no existían estudios formales sobre sus propiedades físicas y mecánicas que validaran su uso), ha despertado el interés de académicos e investigadores en diferentes universidades, centros de investigación, entidades e instituciones del país. Trabajos de grado y proyectos de investigación han contribuido de forma significativa en la elaboración de las Normas Técnicas Colombianas NTC 5300 'Cosecha y postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth', NTC 5301 'Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth', NTC 5525 'Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth' y el capítulo G.12 'Estructuras de guadua' en el actual Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistente (NSR-10).

Las investigaciones que a nivel nacional se relacionan de manera específica con presente estudio donde se determina la resistencia a la compresión paralela a la fibra y módulo de elasticidad, se presentan a continuación:

En la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Martín y Mateus (1981) citados por Arbeláez et al (2001), analizaron para columnas de 100, 200 y 300 cm de longitud los esfuerzos a la compresión paralela a la fibra, obteniendo valores entre 177,200 - 414,259 Kg/cm<sup>2</sup> para las de 100 cm y entre 119,262 - 334,141 Kg/cm<sup>2</sup> para las columnas de 200 y 300 cm. Camacho y Páez (2002) mencionaron los aportes realizados por Martín y Mateus (1981) para módulos de elasticidad bajo diferentes contenidos de humedad en guaduas con edades entre los 3 y 5 años; los valores establecidos oscilaban entre 121528 y 67829 Kg/cm<sup>2</sup> para contenidos de humedad del 12 al 23,03% y superiores.

López y Silva (2000), citados por Camacho y Páez (2002) en su estudio "Comportamiento sismorresistente de estructuras en bahareque", llevado a cabo en la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales dentro del convenio AIS-FOREC, obtuvieron en compresión paralela a la fibra un esfuerzo promedio de 438,7 Kg/cm<sup>2</sup>, esfuerzo último de 280 Kg/cm<sup>2</sup> y un esfuerzo admisible de 140 Kg/cm<sup>2</sup>.

Uribe y Durán (2002) realizaron en la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá una investigación con el objetivo de evaluar los elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas. Se utilizaron 20 probetas de guadua variedad macana para la caracterización física mecánica. Los valores de resistencia a la compresión paralela a la fibra para probetas cortas, se localizaron entre 376,49 y 618,96 Kg/cm<sup>2</sup> con un promedio de 504,37 Kg/cm<sup>2</sup> para esfuerzos últimos y entre 43479 - 97706 Kg/cm<sup>2</sup> para módulos de elasticidad con un

promedio de 66989 Kgf/cm<sup>2</sup>; las probetas presentaban un porcentaje de contenido de humedad entre 13,62% y 25,64% al momento de las pruebas.

Prada y Zambrano (2003) dentro de su estudio sobre elementos en guadua solicitados a compresión con perforación para el relleno del mortero, realizado en la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, encontraron para un total de 49 probetas distribuidas en 10 grupos, valores de resistencia a la compresión paralela a la fibra. Los tipos de ensayos incluían probetas sin hueco y sin concreto (NH); con hueco y sin concreto (H); con hueco, concreto y sin solución (HC) y con hueco, concreto y solución (CHS). Los valores de esfuerzos mínimos y máximos para probetas tipo (H) fueron de 311,4 y 702,51 Kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente, para un contenido de humedad del 12,75%.

En la Universidad Tecnológica de Pereira, García (2004) desarrolló la definición de áreas óptimas de calidad para *Guadua angustifolia* Kunth, orientada a satisfacer las necesidades del mercado para los departamentos de Risaralda, Quindío, Caldas y Norte del Valle del Cauca. En su estudio se evaluó la resistencia a la compresión media de 3 guaduas de diferentes procedencias divididas en sus secciones (cepa, basa y sobre-basa) para un total de 303 probetas, los resultados de las características medidas generales de las agrupaciones de acuerdo a variables de calidad se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Características medias generales de las agrupaciones de acuerdo a las variables de calidad.

<b>Variable</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>
Dureza (Unid.Short)	67,11	69,68	65,60
Humedad (%)	73,00	57,699	68,74
Compresión (MPa)	33,26	31,97	28,91
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	0,64	0,67	0,69
Canutos (mm)	412,01	352,22	349,39

Los valores promedio de resistencia a la compresión paralela a la fibra obtenidos por González (2006), en la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, para un contenido de humedad promedio de 13,60% fueron de 50,63 Mpa para cepa, 56,42 Mpa para basa y 59,70 Mpa para sobrebasa. Para un total de 829 probetas ensayadas, el valor promedio fue de 56,21 Mpa, con un esfuerzo característico de 40,42 Mpa. Los valores obtenidos para esfuerzos admisibles bajo las diferentes sollicitaciones fueron de 8,98 Mpa considerando únicamente la acción de la carga muerta, 11,23 Mpa adicionando el efecto de las cargas vivas y 13.47 Mpa sumando la acción del viento a los efectos anteriores. El módulo de elasticidad promedio alcanzado fue de 17859,24 Mpa para un número 479 probetas. Los culmos de guadua utilizados para el estudio provenían de tres fincas ubicadas en

el departamento del Quindío y una en el departamento de Caldas, la totalidad de las probetas ensayadas contaban con una altura igual al doble de su diámetro externo.

Lamus (2008) en la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, obtuvo un valor promedio de resistencia a la compresión paralela de 54,80 Mpa y un valor característico de 36,60 Mpa a partir de 39 probetas analizadas provenientes de guaduas del eje cafetero. La altura de estas probetas resultaron ser el doble a su diámetro exterior igual como sucedió con González (2006).

En la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Rivera (2008) estudió el “Comportamiento estructural de pórticos en guadua, arriostrados mediante diagonales en guadua”, donde desarrolló ensayos de caracterización mecánica de la guadua previo al diseño de pórticos. Encontró valores para la resistencia a la compresión paralela a la fibra en 10 probetas sin nudo. Los resultados obtenidos para esfuerzo último fueron de 38,5 a 67,7 Mpa, y para módulos de elasticidad de 11665 a 20873 Mpa con un promedio de 16109Mpa, para un contenido de humedad del 12%.

En el proyecto de investigación “Comportamiento de probetas de *Guadua angustifolia* Kunth con diafragma y sin diafragma sometidas a esfuerzos de compresión” realizado por González et al (2008) en la Universidad Tecnológica de Pereira, se analizó mediante análisis de varianza multifactorial la variabilidad de la resistencia a la compresión respecto a tres factores: diafragma, edad de culmo y tramo del tallo. Para las 93 probetas procedentes de culmos del rodal del jardín botánico ubicado al interior de la misma universidad, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre probetas con diafragma y sin diafragma con un valor-P de 0,629 y resistencias promedio de 28,45Mpa y 29,12Mpa respectivamente. El factor tramo por su parte, causó un efecto significativo sobre la resistencia a la compresión para el caso de probetas de guadua sobremadura, sin embargo esto no se cumplió al analizar por separado únicamente guaduas maduras; al analizar la interacción entre los factores diafragma y tramo no se encontraron diferencias significativas. La resistencia promedio para probetas de guadua madura fue de 26,92Mpa, en la tabla 2 se presenta la resistencia media para probetas por sección considerando la edad madura de la guadua y los resultados por sección considerando la presencia o no de diafragma; cabe resaltar que los métodos referidos en las normas ISO/TR 22157-1 e ISO/TR 22157-2 fueron empleados en este estudio.

Tabla 2. Resistencia promedio en Mpa para probetas de guadua en edad madura y por secciones con y sin diafragma.

Factor	Nivel de factor	Tramo		
		Cepa	Basa	Sobrebasa
Edad	Madura	24,09	29,14	27,54
Diafragma	Con diafragma	24,53	29,57	31,27
	Sin diafragma	24,33	30,71	32,32

En el año 2010 el proyecto “Validación de la *Guadua angustifolia* como material estructural para el diseño por el método de esfuerzos admisibles”, financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y ejecutado por la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá con Jorge Enrique Lozano Peña como coordinador técnico, adelantó la caracterización física y determinación de propiedades físicas y mecánicas de culmos de *Guadua angustifolia* procedente de tres zonas: La zona A comprendida por los municipios de Quimbaya, Circasia y Montenegro en el departamento de Quindío; la zona B integrada por los municipios de Yacopí y Pacho en el departamento de Cundinamarca y la zona C correspondiente al municipio de Buga en el departamento del Valle del Cauca. Los resultados promediados para las tres zonas, relacionados con resistencia a la compresión paralela a la fibra y módulo de elasticidad referidos en el informe se muestran en las tablas 3 y 4 respectivamente y en la tabla 5 se muestra el análisis estadístico para la estimación del coeficiente de Poisson.

Tabla 3. Análisis estadístico para resistencia última a compresión paralela, tres zonas.

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total zonas
Número de datos (N)	43	86	91	220
Promedio (Mpa)	29,29	29,62	37,63	32,87
Desviación estándar (Mpa)	5,92	6,77	8,55	8,40
Coeficiente de variación (%)	20,20	22,86	22,71	25,56
Percentil 5 (Mpa)	20,19	21,77	25,25	22,09
Valor característico (Mpa)	19,11	19,29	23,56	20,25

Tabla 4. Análisis estadístico para módulo de elasticidad a compresión paralela, tres zonas.

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total zonas
Numero de datos (N)	25	63	48	136
Promedio (Mpa)	8720,13	8101,23	10557,72	9081,99

Tabla 4. (Continuación).

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total zonas
Desviación estándar (Mpa)	6528,02	4853,75	6298,08	5783,83
Coefficiente de variación (%)	74,86	59,91	59,65	63,68
Percentil 5 (Mpa)	1853,13	2030,25	3624,15	2187,47
Valor característico (Mpa)	1130,25	1080,56	2790,85	1080,56

Tabla 5. Análisis estadístico para coeficiente de Poisson para las 3 zonas.

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total zonas
Promedio (Mpa)	0,36	0,36	0,33	0,35
Desviación estándar (Mpa)	0,04	0,08	0,06	0,07
Coefficiente de variación (%)	11,38	21,87	19,43	19,97

En el trabajo de tesis doctoral de Muñoz (2011) “Diversidad genética, estructura poblacional y selección de clones superiores de *Guadua angustifolia* Kunth en la eco-región cafetera de Colombia”, se evaluaron esfuerzos a compresión de probetas seleccionadas de 3 guaduas de diferentes procedencias divididas en sus secciones inferior, media y superior basándose en la NTC 5525, con el propósito de encontrar los clones superiores para la construcción (tabla 6).

Tabla 6. Resistencia a la compresión paralela a la fibra promedio para carga máxima.

Sección	Resistencia a la compresión (Mpa)	Procedencia
Inferior	42,01	Pereira, Risaralda
	41,16	Cartago, Valle
	37,28	Marsella, Risaralda
Media	73,90	Chichina, Caldas
	40,43	Marsella, Risaralda
	39,82	Montenegro, Quindío
Superior	53,85	Manizales, Caldas
	50,13	Cartago, Valle
	45,19	Chichina, Caldas

La *Guadua angustifolia* también ha sido estudiada en otros países, en Brasil específicamente se han realizado los siguientes estudios relacionados:

En una investigación sobre las propiedades físicas y mecánicas del culmo interno de la especie bambú *Guadua angustifolia*, realizada por Ghavami y Marinho en la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro en el año 2005, se determinó la resistencia a la compresión de este material por medio de ensayos que incluían probetas con nudo y sin nudo para las secciones (cepa, basa y sobrebasa), el promedio mínimo y máximo se obtuvo en la sección inferior con presencia de nudo 25,27 Mpa y 31,77 Mpa para la sección media y superior con presencia de nudo; se comprobó que la resistencia aumenta de la sección inferior a la superior de 28,36 a 34,52 Mpa. También, determinaron el módulo de elasticidad promedio de las fibras longitudinales el cual varía de 9,00a 15,80 Gpa, con un promedio de 12,58 Gpa y el coeficiente de Poisson promedio igual a 0,34.

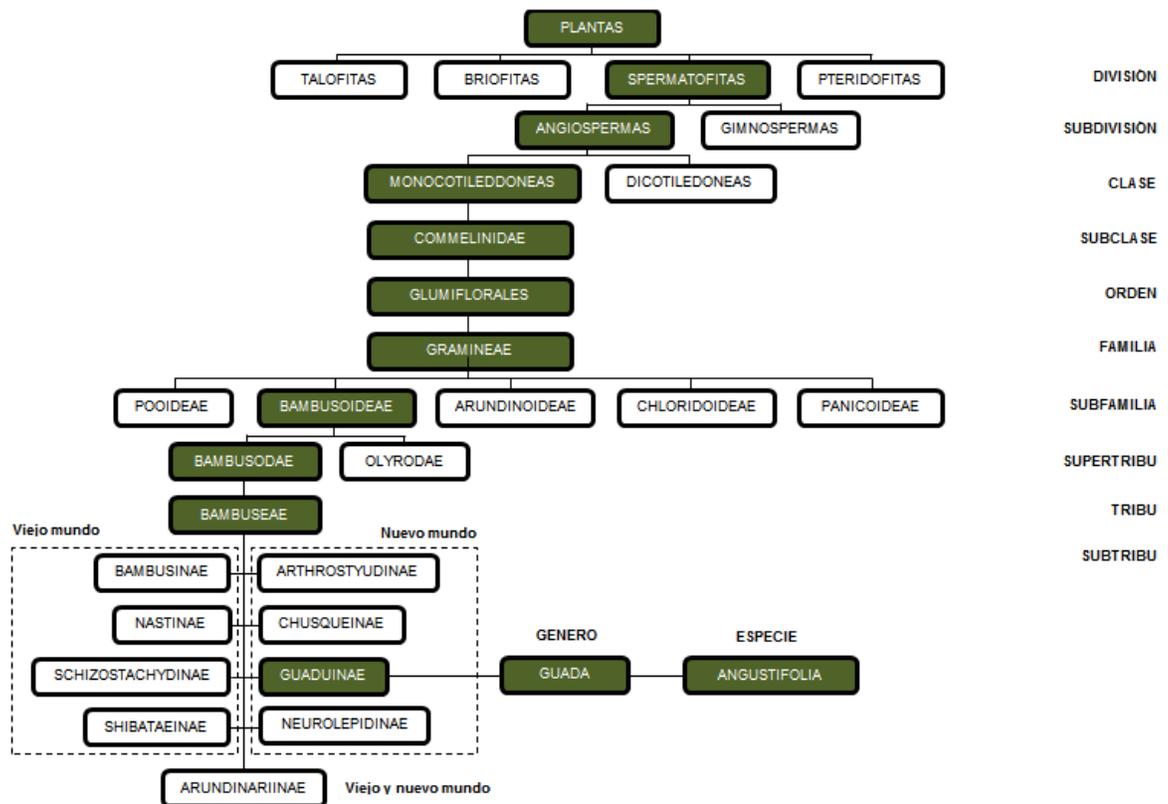
Por otra parte los profesores Ludovico, Albiero, Silva et al. (2007), aplicaron la técnica de moiré aplicada al análisis de esfuerzos de compresión en el bambú guaduas, en la universidad Estatal de Campinas de São Paulo - Brasil. La técnica de moiré es una alternativa para estudiar el campo de las deformaciones en un material, de esta forma se determinaron los esfuerzos de compresión en la *Guadua angustifolia*. Se utilizaron 9 probetas, 3 presentaban nudos en las extremidades (B3i), 3 presentaban nudos en la región central del inter-nudo (B2i) y las 3 restantes no presentaban nudos (B1i). Para cada probeta se utilizaron 10 fotos digitales relativas a 6 niveles de esfuerzos, los valores promedio de resistencia a la compresión fueron de 1302 Kpa (B21) y 2731 Kpa (B32), con un contenido de humedad del 12%.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. LA GUADUA

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 o *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).

La guadua cuenta con aproximadamente 30 especies que se distribuyen desde México, hasta el norte de la Argentina, y desde el nivel del mar hasta un máximo de 2800m, prefiriendo las bajas altitudes 0-1500m y las regiones húmedas (Londoño, 2002). Castaño (2002) afirma que este género se adapta y desarrolla en diversas condiciones, sin embargo, sostiene que existen sitios con ciertas características que proporcionan un mejor ambiente y permiten su desarrollo y crecimiento óptimo (Tablas 7 y 8). La distribución de la guadua en Colombia de acuerdo con Martínez (2005) se presenta a lo largo de la cordillera central y la zona céntrica del país en los departamentos de Antioquia, Cauca, Caldas, Cundinamarca, Huila, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca.

Tabla 7. Factores climáticos que condicionan el crecimiento de la guadua.

<b>Factor</b>	<b>Rango general</b>	<b>Rango óptimo</b>
Altitud (m.s.n.m)	40 – 2600	600 - 2000
Temperatura (°C)	14 – 26	20 - 26
Precipitación (mm/año)	950 - 5000	1800 - 2000
Brillo solar (horas/luz/año)	1400 - 2200	1800 - 2000
Humedad relativa (%)		75 - 85

Fuente: Castaño, 2002.

Tabla 8. Factores edáficos que condicionan el crecimiento de la guadua.

<b>Factor</b>	<b>Características deseables</b>
Tipo de suelo	Diabasas, cenizas volcánicas. aluviales
Textura	Francos, limosos, franco-limosos, franco-arenosos, areno-limosos y franco-arcillosos
Estructura	Granular, blocosa
PH	5,5 - 6,5
Profundidad efectiva	1,0m - 1,5m (moderada a alta)
Permeabilidad	Moderada a alta
Retención de humedad	Moderada a alta
Drenaje	Bueno
Fertilidad	Moderada a alta. En caso de deficiencias de N,P,K,B se debe proceder a su abonamiento
Quemas	No permitido
Pastoreo	No permitido
Relieve	En lo posible, zonas planas y onduladas

Fuente: Castaño, 2002.

Según Judziewicz (1999), citado por Muñoz (2011) de todas las especies de guadua en Colombia, la única que ha tenido una apropiación cultural, un desarrollo tecnológico y una importancia económica local en el país ha sido la *Guadua angustifolia*.

### 3.2. GUADUA ANGUSTIFOLIA

Londoño (2001) señala que la *Guadua angustifolia* se trata de la especie nativa más importante en Colombia, expone que esta fue identificada primero por los botánicos Humboldt y Bonpland como *Bambusa Guadua* y posteriormente rebautizada en 1822 por el botánico alemán Karl S. Kunth como *Guadua angustifolia* “hoja angosta” luego de crear el género *Guadua* y haciendo uso del vocablo indígena “Guadua” con la que le identificaban las comunidades indígenas de Colombia y Ecuador (figura 2).

La *Guadua angustifolia* se destaca de acuerdo con Londoño (2000) por su capacidad para automultiplicarse vegetativamente, es decir, que no necesita semilla para reproducirse, y por su rápido crecimiento, 11 cm por día en la región cafetera, velocidad que le permite alcanzar en tan solo 6 meses su altura máxima y la convierten en una especie ideal para la reforestación. Martínez (2005) considera a la *Guadua angustifolia* como “una de las especies de bambú de mayor demanda y mejor aceptación por parte del sector productivo, dada su fácil capacidad de propagación, rápido crecimiento y tradición para trabajar sus productos y el enorme potencial para la construcción, elaboración de muebles, artesanías, fabricación de papel, pisos, modulares, combustibles y sus características benéficas para el medio ambiente”.

Figura 2. Bosque de *Guadua angustifolia* en la vereda San Francisco, municipio de Pitalito.



Fuente: Fotografía de los autores

Los múltiples beneficios asociados a la utilización de esta planta han despertado el interés de diversos investigadores, entre ellos Castaño (1987), Cruz (1994), Agudelo & Toro (1994) y Camargo (2003), quienes han demostrado de manera razonable la influencia directa que ejerce el eco-habitad sobre las variables de productividad, calidad del culmo y la morfología en general de la planta. Los mismos autores resaltan especialmente a los factores hídricos y edáficos como los más influyentes. Muñoz (2011) añade que la diversidad genética en la especie *Guadua angustifolia* es otro factor determinante e influyente sobre la morfología, calidad de culmo y las variables de productividad.

En lo referente a las condiciones de sitio García (2004) fue más específico, al encontrar que para las variables de crecimiento: diámetro, longitud, espesor de pared, volumen y curvatura, la *Guadua angustifolia* se desarrolla mejor en sitios localizados entre los 1200 y 1500 m.s.n.m, con pendientes entre 0 y 10° y temperaturas medias anuales entre 19,7 y 22,5°C; adicionalmente en suelos con densidad aparente baja (0,82 g/cc) de los 5 a 15cm de profundidad; así mismo, destacó que para las variables de calidad: dureza, porcentaje de humedad, resistencia a la compresión, resistencia al corte, densidad básica y longitud de canutos, la guadua presentó mayor regularidad en zonas ubicadas en el mismo rango de altitud, con pendientes entre 20 y 30° o en general en ladera, con temperaturas entre 20 y 22°C, y brillo solar entre las 1395 y 1760 horas/luz/año; suelos con niveles altos de resistencia a la penetración, alta conductividad hidráulica (62,2 cm/h) y densidad aparente moderada de 0 a 15cm de profundidad (0,80 - 0,89 g/cc).

### 3.2.1. MORFOLOGÍA

Las condiciones de sitio y la diversidad genética como se expresaba anteriormente influyen de manera significativa sobre las estructuras morfológicas de la *Guadua angustifolia* en general de todos los bambúes. Estas estructuras morfológicas en la guadua corresponden a: rizoma, culmo, yema, complemento de rama, hoja caulinar y follaje. Según Londoño (2002) estas estructuras son de gran importancia por su naturaleza especializada, algunas de ellas ampliamente utilizadas para la propagación de la especie.

Para Uribe & Duran (2002) y Camacho & Páez (2002), la estructura de la guadua consiste básicamente en un sistema de ejes vegetativos segmentados, los cuales forman alternamente nudos y entrenudos, que varía en su morfología dependiendo del lugar de la planta al cual correspondan, es decir, el rizoma, el tallo o las ramas.

### 3.2.1.1. RIZOMA

El rizoma como se le denomina a la raíz del bambú, es un eje típicamente subterráneo y segmentado que constituye la estructura de soporte de la planta, y desempeña un papel importante en la absorción y el almacenamiento de nutrientes, además de funcionar como elemento apto para la propagación asexual (Londoño, 2002; Uribe & Durán, 2002; Perea, 2003) (Figura 3).

Figura 3. Raíz de *Guadua angustifolia* Kunth en el centro nacional para el estudio del bambú.



Fuente: Eduardo Salas (2006)

La estructura del rizoma consta de tres partes: el cuello del rizoma, el rizoma en sí y las raíces adventicias; su forma es del tipo paquimorfo de acuerdo con la clasificación realizada por McClure (1966), los rizomas de este tipo son cortos y gruesos, con un diámetro generalmente mayor al del culmo, sus entrenudos más anchos que largos, sólidos y asimétricos, en su parte más baja presentan proliferación de raíces adventicias. Generalmente las especies de bambú que presentan esta clase de rizomas se encuentran en su mayoría ubicadas en el trópico.

### 3.2.1.2. TALLO

El tallo o culmo es según McClure (1966) el eje aéreo segmentado que emerge del rizoma y es la porción más útil de los bambúes, se caracteriza por tener forma cilíndrica y consta de cuello, nudos y entrenudos (figura 4). Se le denomina cuello a la parte de unión entre el rizoma y el tallo, nudos a los puntos de unión de los entrenudos y entrenudos a la porción de tallo comprendida entre dos nudos (Londoño, 2002). Los entrenudos en la especie *Guadua angustifolia* por ser

huecos pueden almacenar el agua que la planta toma del suelo. El tallo se puede considerar como un sistema modular. Variables como diámetro y espesor de pared disminuyen con la altura, mientras que la densidad básica y la longitud entre nudos aumentan (Uribe & Durán, 2002).

Figura 4. Culmo de *Guadua angustifolia* Kunth en la vereda San Francisco, Municipio de Pitalito.



Fuente: Fotografía de los autores.

Los culmos tienen diferentes usos según el estado de madurez y la sección longitudinal que se considere, de los estados de madurez se distinguen: renuevo o rebrote en primer lugar, seguido de la etapa joven o viche, luego la etapa madura, sazónada o hecha y por último el estado de sobre maduración o etapa seca; de la sección longitudinal se pueden diferenciar además del rizoma, la cepa, la basa, la sobrebasa, el varillón y la copa.

A manera de resumen se presenta en la tabla 9 una breve descripción sobre cada uno de los estados de maduración de los culmos y sus principales usos de acuerdo con lo expresado por Camacho & Páez (2002) y Londoño (2002). Del mismo modo en la tabla 10 se presentan las características y los usos de cada sección de la guadua, considerando únicamente la parte área de la planta.

Tabla 9. Características y usos principales de los culmos de *Guadua angustifolia* según el estado de madurez.

Estado de madurez	Descripción	Utilización
Renuevo	Desde que emerge del suelo hasta los 6 primeros meses. Se encuentra recubierto por las hojas caulinares.	En América no existe el hábito cultural de consumo en esta etapa. En países asiáticos se usa para consumo humano.
Culmo joven	Entre los 6 meses y los 3 años de edad. Inicia cuando las hojas caulinares comienzan a desprenderse para dar paso a las ramas. De color verde intenso y lustroso, bandas nodales blancas y superficie limpia.	Debido a su baja dureza su uso se limita a la elaboración de canastos rústicos y artesanías.
Culmo maduro	Entre los 3 y los 6 años de edad. De color verde oscuro y con manchas de hongos color gris claro que comienzan a aparecer, desaparecen el lustre y en los nodos su color blanquecino.	En esta etapa alcanza su máxima resistencia mecánica, por esta razón es ampliamente usado en la construcción. En labores agropecuarias, fabricación de muebles, artesanías, textiles y laminados también se utiliza.
Culmo seco	De los 6 años en adelante. Pierde el color verde oscuro y en su lugar toma un color naranja; cubierta totalmente de hongos y líquenes; no hay presencia de follaje.	Tiende a rajarse fácilmente, por ello su uso únicamente se limita como material para la combustión.

Tabla 10. Características y usos principales de los culmos de *Guadua angustifolia* según el segmento longitudinal.

Parte	Descripción	Utilización
Cepa	Es la sección basal del culmo con mayor diámetro, la distancia de sus entrenudos es corta, lo cual le proporciona una mayor resistencia. Su longitud es aproximadamente de 3,0 metros.	Se utiliza para columnas en construcción, cercos y entibados; para estabilidad de taludes tiene gran uso. Presenta buen comportamiento frente a esfuerzos a flexión gracias a la corta distancia entre nudos.

Fuente: Prada & Zambrano, 2003.

Tabla 10. (Continuación).

Parte	Descripción	Utilización
Basa	Parte de la guadua que posee mayores usos, debido a que su diámetro es intermedio y la distancia entre nudos superior a la de las cepas. Tiene una longitud aproximada de 8,0 metros.	Si el tallo es de buen diámetro se utiliza también para columnas, además de esta sección se elabora la esterilla, la cual tiene múltiples usos en construcción de casetones, paredes, postes y para formaletear.
Sobrebasa	El diámetro es menor y la distancia entre nudos es un poco mayor comparada con la basa. Es un tramo con buen comercio, debido a que su diámetro permite buenos usos. La longitud es de aproximadamente 4,0 metros.	Utilizada como elemento de soporte en estructuras de concreto de edificios en construcción (puntal). También se emplea como viguetas para formaletear vaciados de losas, vigas y columnas.
Varillón	Sección de menor diámetro. Su longitud tiene aproximadamente 3,0 metros.	Generalmente se utiliza en la construcción como apuntalamientos y como soporte (correa) para disponer tejas de barro o paja.
Copa	Es la parte apical de la guadua, con una longitud entre 1,20 a 2,0 metros.	Se pica en el suelo del guadual como aporte de materia orgánica.

Fuente: Prada & Zambrano, 2003.

### 3.2.1.3. YEMA

Se ubican en el culmo por encima de la línea nodal y en posición dística<sup>1</sup>; su inactividad se rompe generalmente cuando el culmo ha completado el crecimiento apical. En el caso de la guadua hay una sola yema por nudo (figura 5). La importancia de la yema está en que ayudan a identificar especies, secciones y géneros, en estudios taxonómicos. En el campo de la biotecnología también cumplen un papel muy importante para la propagación “in vitro” (Londoño, 2002).

### 3.2.1.4. RAMAS

Las ramas a diferencia del tallo son macizas, en algunos casos se atrofian y son reemplazadas por unas espinas de 10 a 15 cm (Perea, 2003). Se originan en la línea nodal, por encima de esta o sobre un promontorio; son muy importantes por que sostienen el follaje, estructura básica en el proceso fotosintético; sirven como tutores de cultivos a pequeña escala una vez están secas y pueden ser

<sup>1</sup> Se aplican a las hojas, flores y espigas dispuestas de modo que unas miran a un lado y otras al otro lado.

aprovechadas para la fabricación de papel y paneles, en el caso de las ramas apicales debido a su alto contenido de fibras (Londoño, 2002) (Figura 6).

Figura 5. Yema sobre línea nodal en un tallo de *Guadua angustifolia*.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 6. Rama de *Guadua angustifolia*.



Fuente: Fotografía de los autores

### 3.2.1.5. HOJA CAULINAR

De acuerdo con Londoño (2002) son las que nacen en cada nudo del culmo y tiene como función proteger la yema que da origen a las ramas y al follaje. A lo largo del culmo cambian progresivamente de tamaño, forma, consistencia y vestimento. Estas hojas se utilizan para la fabricación de objetos artesanales y como elemento decorativo; con ella se pueden diferenciar en estudios taxonómicos la especie o género. Mientras un tallo conserve las hojas caulinares se le considera como un brote o renuevo (figura 7).

### 3.2.1.6. FOLLAJE

Las hojas del follaje son lanceoladas y lisas, constituidas por vaina, lámina y ápice; son la principal fuente de elaboración de alimentos de la planta y genera grandes aportes de biomasa al suelo (Perea, 2003; Londoño, 2002) (Figura 8).

Figura 7. Renuevo de *Guadua angustifolia* recubierto por hojas caulinares.



Fuente: fotografía de los autores.

Figura 8. Hojas del follaje en *Guadua angustifolia*.



Fuente: fotografía de los autores.

### 3.2.2. MANEJO SILVICULTURAL Y APROVECHAMIENTO

Las necesidades propias de cada plantación determinan la clase de manejo silvicultural y aprovechamiento que se debe realizar a cada una de las estructuras morfológicas de la guadua y a un grupo determinado de plantas. En el microcluster de la guadua (2002)<sup>2</sup> se hace referencia al manejo silvicultural como el “conjunto de técnicas que aplicadas a los guaduales naturales o plantaciones de guadua, mejoran la protección y producción de los bienes y servicios”. Lo que se busca con el manejo silvicultural es alcanzar una producción sostenida y de esta manera satisfacer las necesidades sociales, económicas y ambientales en una región o área determinada.

Cuando se habla de actividades como limpieza, fertilización, socla, desganche, aporque, entresacas de mejoramiento, corte, trozado y distribución de residuos se está haciendo referencia a un manejo silvicultural. Con estas actividades se facilita la extracción de material, se incrementan los rendimientos en las operaciones y se reduce el riesgo al que se exponen los operarios; además se promueve el óptimo desarrollo y crecimiento de la plantación al mismo tiempo que se garantiza su sostenibilidad. Los campesinos, corteros y transportadores se benefician de los ingresos económicos que se generan a partir de la ejecución de estas actividades.

Con el manejo silvicultural se puede realizar simultáneamente el aprovechamiento el cual “tiene que ver con la recolección y extracción de los productos, destinados en su mayoría para el procesamiento industrial o comercialización”<sup>3</sup>. Esta práctica favorece la regeneración natural del guadual y su composición estructural. De acuerdo con Londoño (2002) el ciclo y la intensidad de corte son los factores más importantes a considerar en el aprovechamiento, por lo tanto, es común observar en explotaciones sistemáticas y regulares un incremento en la producción de culmos y mayor facilidad en la cosecha, contrario a lo que sucede con una explotación excesiva y continúa en la que se reduce la producción de culmos y se corre el riesgo de acabar con la plantación.

Con un plan de mejoramiento ambiental formulado por el técnico del guadual a las autoridades ambientales se puede prevenir el deterioro de la plantación. Mediante la implementación del sistema de entresaca selectiva dentro del plan de mejoramiento se puede determinar el lugar, ciclo e intensidad de corte. La cantidad de culmos en porcentaje para ser aprovechados depende del estado del rodal y la edad de corte. Las labores principales de aprovechamiento son: Corte, troceado y secado (apilado y avinagrado).

En el aprovechamiento forestal se obtienen los productos de mayor comercialización en el ámbito local y nacional como son: guadua rolliza y los

---

<sup>2</sup>Corpocaldas. Cámara de Comercio de Manizales. Microcluster de la Guadua. Manizales, Caldas. 2002.

<sup>3</sup>Corpocaldas. Ibid., p. 10.

conocidos como cepa, basa, sobrebasa, varillon y esterilla. Corteros, transportadores empresarios, constructores, arquitectos, artesanos, fabricantes de muebles, entre otros, se benefician de esta actividad.

En las Normas Técnicas Colombianas NTC 5300 'Cosecha y postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth' y NTC 5301 'Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth' se encuentran estandarizados los procedimientos para el manejo silvicultural y aprovechamiento.

### 3.2.3. IMPORTANCIA AMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICA

La *Guadua angustifolia* es una especie ideal para la reforestación por su facilidad en la propagación y rápido crecimiento, dos grandes ventajas que proporcionan importantes beneficios ambientales. Según Ezpeleta (2004) los principales beneficios que ofrece la guadua en términos ambientales son:

- 1) Preservación de maderas finas, escasas o que están en vía de extinción, producto de su fácil propagación y el manejo sostenible y adecuado de sus cultivos.
- 2) Aprovechamiento comercial temprano en comparación a otros árboles debido a su rápido crecimiento.
- 3) Ayuda al mantenimiento del equilibrio hídrico sostenible y protección de las riberas de los ríos (figura 9).
- 4) Incremento de la fauna y la flora en áreas donde se encuentran con enriquecimiento de ecosistema.
- 5) Captación de mucho más CO<sub>2</sub> que otros árboles.
- 6) Aceptación de otros cultivos.

Figura 9. Quebrada la Colorada en el predio La Vega, vereda Pantanos, municipio de Timaná.



Fuente: Fotografía de los autores

Giraldo y Sabogal (1999) citados por Salas (2006), hacen referencia al aporte de biomasa que la *Guadua angustifolia* realiza al suelo a través de sus hojas, la cantidad puede variar entre 2 y 4 ton/ha/año según el grado de intervención del guadual hecho que contribuye a enriquecer y mejorar la textura y estructura del suelo. Los rizomas y hojas sobre el suelo protegen al mismo contra la erosión evitando que el agua de precipitación fluya de manera rápida y continua; los rizomas y raicillas forman un sistema entretelado que actúa como muro biológico de contención que controla la socavación y amarran fuertemente el suelo (Salas, 2006). El mismo autor exalta la manera en que la guadua actúa como bomba de almacenamiento de agua, refiriéndose a la forma como absorbe importantes volúmenes de agua en épocas húmedas que almacena en su sistema rizomático y tallo. Sabogal (1983) y Giraldo (1996) han determinado que una hectárea de guadua puede almacenar 30,375 litros de agua, cantidad aproximada para 150 personas por día asumiendo un consumo promedio de 200 litros/persona/día.

En el ámbito económico la *Guadua angustifolia* es considerada por muchos como un recurso sostenible y rentable, sus posibilidades tanto en el mercado nacional y extranjero son muy altas. La amplia variedad de productos difieren en su grado de industrialización, transformación y servicio. En los cuadros 3 y 4 se relacionaron los principales productos de *Guadua angustifolia* conocidos comercialmente, la mayoría de estos destinados a la construcción bien sea convencional o suntuosa.

Cuando se utiliza la *Guadua angustifolia* como materia prima en la construcción, se reducen costos y consumos energéticos (Villegas, 2005; Salas, 2006); por tal motivo se dice que la *Guadua angustifolia* es la especie forestal nativa con mayores posibilidades económicas (figura 10).

Figura 10. Proyecto sostenible plan de vivienda de interés social centenario en el municipio de Timaná.



Fuente: Fotografía de los autores.

El beneficio económico comienza con el manejo silvicultural y aprovechamiento, continúa en la transformación y el procesamiento y termina con el mercadeo y la comercialización, conformándose de este modo la denominada cadena productiva de la guadua, que en Colombia fue establecida en el año 2004 con el Acuerdo Marco de Competitividad de la Cadena de la Guadua (Martínez, 2005). En el acuerdo se propuso básicamente articular esfuerzos por parte de las regiones involucradas con el fin de consolidar al sector productivo y superar las limitaciones identificadas hasta la fecha, relacionadas con la falta de tecnología especializada para el procesamiento industrial, escasa normatividad, falta de investigación y divulgación, entre otros. (Espinosa, 2003; Martínez, 2005).

El bienestar social que gira entorno a la guadua se relaciona principalmente con la construcción de vivienda especialmente de interés social, sin dejar de lado su utilidad en las labores agropecuarias. Es vista como recurso ambiental y material por quienes tradicionalmente han dependido de ella o han interactuado con su entorno, por esta razón la guadua ha pasado a formar parte de la cultura y de la historia de diversas regiones en el país. Es una especie forestal socialmente aceptada por sus características y ventajas, considerada como una alternativa rentable, sostenible y de fácil adquisición para la elaboración de innumerables tareas.

### 3.3. LA GUADUA COMO MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN

Los primeros en darle a la guadua la importancia que se merece como material para la construcción fueron los colonizadores, seguido de nuestros campesinos y maestros de la construcción (Salas, 2006). Durante el siglo XIX en la región de la colonización antioqueña “se desarrolló una arquitectura rural ‘construida con guadua que posteriormente influyó en la arquitectura urbana de la misma región y se convirtió en una de las tradiciones más firmes y existentes en el país’<sup>4</sup>. La región comprendida por los departamentos de Quindío, Caldas y Risaralda fue poblada por los antioqueños que llegaron a estas tierras huyendo de la violencia política que padecían en su lugar de origen. Las conmociones sísmicas ocurridas durante este periodo obligaron a la población a buscar soluciones prontas y económicas que estuvieran a su alcance; fue así como la introducción de la guadua para la construcción de vivienda en bahareque de tierra, de tabla, metálico y encementado surgió y pasó luego a formar parte de su cultura, según lo relatado por Salas (2006).

En aquella época el hierro y el cemento ya se usaban en Europa, pero no se encontraba al alcance de la población de esta zona por su extrema pobreza, la tapia pisada era el sistema constructivo más empleado previo a la implementación de la guadua. El uso del bahareque en ese momento se limitaba únicamente al

---

<sup>4</sup> SALAS, Eduardo. Ibid., p. 5.

levantamiento de muros desde el segundo piso, es decir, no partía desde el cimiento (Salas, 2006).

Tradicionalmente para la construcción con guadua tanto en la zona urbana como rural se ha recurrido a métodos empíricos adoptados por nuestros antepasados y transmitidos por generaciones, poco interesaba el conocer de cerca las propiedades de la guadua que la hacían tan especial. Personajes destacados en Colombia por sus investigaciones y aportes en los campos de la construcción, morfología y anatomía, y métodos de conservación, han sido Oscar Hidalgo, Dicken Castro, Simón Vélez y Ximena Londoño. En el empeño por conocer y divulgar más las razones por las que esta especie forestal nuestra es tan importante se han sumado instituciones, centros de investigación y universidades que han generado igualmente importantes aportes, entre los más destacados, la creación de estándares y reglamentaciones, establecidas para su correcto aprovechamiento y utilización.

El uso de la guadua hoy en día se ha reglamentado con el propósito de establecer los alcances y las limitaciones que pueden presentarse en edificaciones y procesos constructivos. Para poder utilizar este material en la edificación de vivienda, en enero de 2002 a través del decreto 052 del 18 de enero se aprobó el capítulo E.7 correspondiente a 'Casas de uno y dos pisos en bahareque encementado' que figura en el actual Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistente NSR-10 en el cual también se incorporó en el título G 'Estructura de madera' el capítulo G.12 'Estructuras de Guadua'.

#### 3.4. COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

Existe una variabilidad extensa de la *Guadua angustifolia*, esto se debe en gran parte a sus estructuras morfológicas y anatómicas. La sección del culmo es un cilindro adelgazado y hueco. Aporta ventajas estructurales para la construcción de guadua siendo utilizada para columnas, vigas y soportes. Cuando es solicitada a compresión paralela a la fibra, se presenta pandeo, aplastamiento o una combinación de las dos situaciones.

La guadua en su sección transversal posee membranas intermedias muy fibrosas, lo que da una gran capacidad de resistencia a la compresión y mucha flexibilidad, sin embargo por ser un material anisotrópico en su estado natural, que presenta características geométricas complejas, requiere para su estudio, de análisis mecánicos y procesos de diseños, que se adapten de manera particular a este material (Rivera, 2008). La estructura interna de las fibras están constituidas por tejidos que soportan el esfuerzo mecánico al que se encuentra sometido el tallo debido a factores climáticos y al peso propio del material.

La *Guadua angustifolia* Kunth es un material natural, ortotrópico e higroscópico; constituido principalmente por un 40% de fibras de celulosa, 50% de células parenquimatosas y 10% de vasos vasculares (Liese, 1980). Según Ghavami & Rodríguez, (2000) citado por Lozano et al (2010), es ortotrópico debido a que las fibras de celulosa que conforman el entrenudo se encuentran alineadas longitudinalmente dando como resultado dos planos generales de simetría del material.

Tanto Londoño et al. (2002), como Liese (1998), concuerdan en describir que a nivel anatómico las partes de la estructura de los bambúes que mayor influencia presentan en el comportamiento mecánico de los mismos son el porcentaje de fibras, el porcentaje de los tejidos conductivos y el porcentaje de parénquima, sin llegar a describir el porqué de dicha afirmación, además comprobaron que el material natural se encuentra constituido por un 51% de tejido de parénquima, un 40% de fibras y un 9% de tejido conductivo (Osorio, et al. 2007).

Las propiedades mecánicas de la guadua entre ellas, la resistencia a la compresión dependen de la edad del corte de la planta, la sección del culmo y de las propiedades físicas como lo es la humedad, densidad aparente, entre otros aspectos. La determinación de la resistencia en un material se considera de suma importancia para conocer las características intrínsecas al comportamiento del mismo.

Estudios realizados por diferentes universidades, centros de investigación e institutos, han determinado que la variabilidad de la resistencia a la compresión paralela a la fibra depende de las características intrínsecas del material, en donde interviene específicamente la procedencia y el tipo de desarrollo.

La característica principal de la guadua, es su capacidad de almacenamiento de agua, distribuida tanto en las cavidades celulares (agua libre), como en la parte constitutiva de las células (agua fija). El contenido de humedad es la cantidad de agua en una porción del material y su variación afecta inversamente la resistencia de los materiales fibrosos. La densidad básica es el cociente entre la masa en estado anhidro (guadua seca al horno) y el volumen de la guadua en estado verde según las normas NTC 5525 y NSR10 capítulo G.12.

### 3.5. VALOR CARACTERÍSTICO

El valor característico de una acción es su valor de referencia para efectos de proyecto. Puede venir determinado por un valor medio, un valor nominal o, en los casos en que se fije mediante criterios estadísticos, por 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<sup>5</sup>.

El valor característico de una acción,  $F_k$ , se define, según el caso, por su valor medio, por un percentil superior (95 %) o inferior (5%), o por un valor nominal<sup>6</sup>. En la NSR10 capítulo G.12.7.4 se muestra el procedimiento para determinar este valor característico en probetas de guadua.

### 3.6. 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).

### 3.7. 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 continua 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.

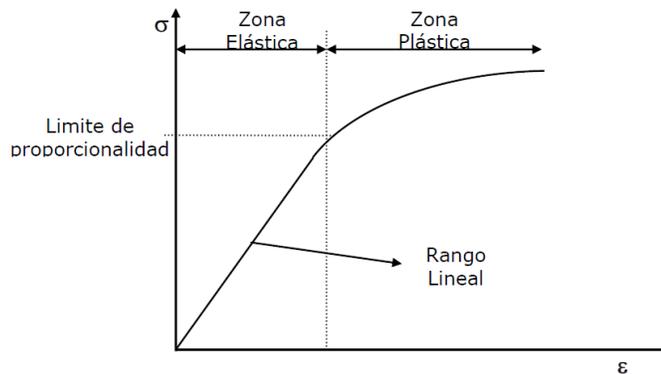
Para la determinación del módulo de elasticidad, se establece la curva esfuerzo vs deformación unitaria (figura 11). Los puntos que reflejan proporcionalidad se ajustan a una línea recta por regresión lineal; en este punto el material debería recuperar sus dimensiones iniciales al retirar lentamente la carga. El módulo de elasticidad se determina a partir de la pendiente calculada.

---

<sup>5</sup> Ministerio de fomento. Gobierno de España. (n.d). Consultado en febrero de 2012. Disponible en: <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/7E6874BB-AF3B-4B35-B676F9F6A1930B5C/37457/CAPITULOIIIborde.pdf>

<sup>6</sup> Código técnico de la edificación. CTE-SE. Seguridad estructural

Figura 11. 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.

### 3.8. RELACIÓN DE POISSON

El coeficiente de Poisson es la relación entre la deformación unitaria ( $\epsilon$ ), longitudinal y transversal, en efecto, se comprueba experimentalmente que si una barra se alarga por una tensión axial sufre una reducción de sus dimensiones transversales. Poisson comprobó que la relación entre las deformaciones unitarias en estas direcciones es constante, por debajo del límite de proporcionalidad y a su vez permite generalizar la aplicación de la ley de Hooke en el caso de esfuerzos biaxiales y en deformaciones por tensión triaxiales. (Pytel y Singer, 1987).

### 3.9. DISEÑO EXPERIMENTAL Y MÉTODOS ESTADÍSTICOS

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).

Montgomery y Runger (2003) destacaron que para el diseño en la ingeniería y las actividades de desarrollo los experimentos diseñados permiten obtener mejores

rendimientos, mayor fiabilidad y menores costos generales. 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

- 1) Técnica
- 2) Selección de unidades experimentales
- 3) Bloqueización o aseguramiento de la uniformidad de información en todos los tratamientos
- 4) Selección del diseño experimental
- 5) Medición de covariados

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”, se refiere a la *unidad experimental* como “la entidad física o sujeto expuesto al tratamiento independiente de otras unidades”, e indica que el *error experimental* “describe la variación entre las unidades experimentales tratadas de manera idéntica e independiente”. 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

La unidad experimental, una vez expuesta al tratamiento, constituye una sola réplica del mismo. La *réplica* implica una repetición independiente del experimento básico y en todo experimento es apropiada para obtener mayor precisión en las estimaciones de las medias de cada tratamiento y potencia en las pruebas estadísticas para detectar las diferencias entre las medias de los grupos de tratamientos. En la comunidad científica es considerada como el primer requisito para obtener resultados experimentales válidos. (Kuehl, 2001).

El tipo de muestreo desempeña también un papel fundamental en los experimentos y estudios estadísticos. A través del muestreo se logra extraer conclusiones acerca de la naturaleza de una población que en la mayoría de los casos no puede ser estudiada en su totalidad. En estadística inferencial, es fundamental hacer deducciones acerca de la población a partir de una muestra extraída de la misma (Díaz, 2008?).

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.

### 3.9.1. DISEÑO FACTORIAL MULTINIVEL

En un *diseño factorial* las observaciones proporcionan información sobre todos los factores y cada uno de sus niveles; se determina con base en su respuesta si en las unidades experimentales existen o no posibles interacciones entre factores, además del grado de influencia de cada uno sobre la variable respuesta. Por esta razón se dice que los diseños factoriales producen experimentos más eficientes<sup>7</sup>.

Los *factores* hacen referencia al tipo de tratamiento mientras los niveles de factor son los tipos o grados específicos del factor. El *efecto* de un factor es un cambio en la respuesta medida ocasionado por un cambio en el nivel de ese factor; se considera como efectos simples de un factor a las comparaciones entre niveles de un factor a un solo nivel del otro, los *efectos principales* son comparaciones entre los niveles de un factor promediados para todos los niveles de otro factor, por otra parte los efectos de interacción miden las diferencias entre los efectos simples de un factor a diferentes niveles de otro (Kuehl, 2001).

#### 3.9.1.1. ANÁLISIS DE LA VARIANZA

En un experimento la respuesta o comportamiento de la variable en estudio depende siempre de los tipos de tratamiento que se estén aplicando, los factores en un diseño del tipo factorial se consideran entonces como variables independientes mientras que a la variable en estudio se le considera variable dependiente.

Una variable dependiente o de respuesta cambia como consecuencia de la variación en un conjunto de variables independientes, algunas de las cuales son desconocidas. Para localizar a las variables independientes importantes y determinar la forma como éstas influyen sobre la variable respuesta, existe un procedimiento conocido como análisis de varianza; el cual consiste en analizar la variación que hay en un conjunto de respuestas y asignar porciones de esta variación a cada conjunto de variables independientes. (Wackerly, D; Mendenhall III, W & Scheaffer, R; 2002).

### 3.9.2. CONTRASTE DE HIPÓTESIS

El análisis de varianza ANOVA requiere del planteamiento de tres hipótesis básicas para su correcta ejecución; de acuerdo con Romero y Zúnica (2005?) estas hipótesis son necesarias para que se verifiquen exactamente los resultados que se han manejado, en particular las distribuciones F que aparecen en la tabla

---

<sup>7</sup> KUEHL, Robert. Op. cit., p. 16.

resumen del Anova cuando las hipótesis nulas son ciertas y la distribución t manejada en la obtención de intervalos LSD.

Romero y Zúnica (2005?) refieren que todos los resultados manejados a lo largo del Anova se deducen a partir de las siguientes hipótesis:

*Independencia:* Las n observaciones para cada combinación corresponden a individuos extraídos independientemente de la población considerada (es decir constituyen una muestra aleatoria simple de dicha población). Las observaciones correspondientes a los distintos tratamientos son también independientes.

*Homocedasticidad:* Las I x J poblaciones tienen la misma varianza.

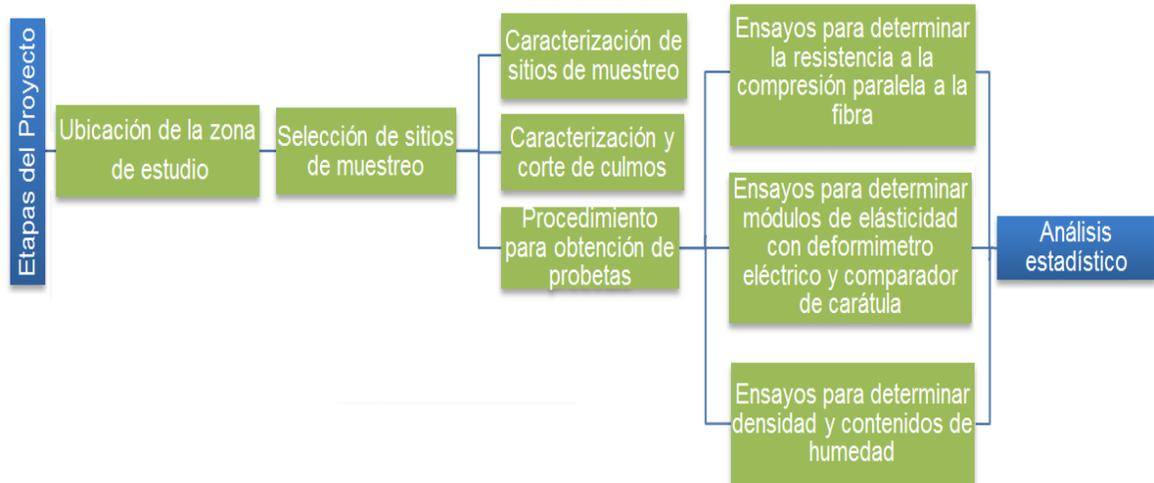
*Normalidad:* La variable estudiada sigue en las I x J poblaciones consideradas distribuciones normales.

Los valores de I y J corresponden a variantes o niveles en un diseño factorial con n repeticiones con un número de combinaciones posibles igual a I x J.

## 4. METODOLOGÍA

El proyecto fue desarrollado por etapas como se indica en la figura 12 en orden cronológico, empezando por la ubicación de la zona de estudio y terminando con el análisis estadístico.

Figura 12. Etapas para el desarrollo del proyecto.



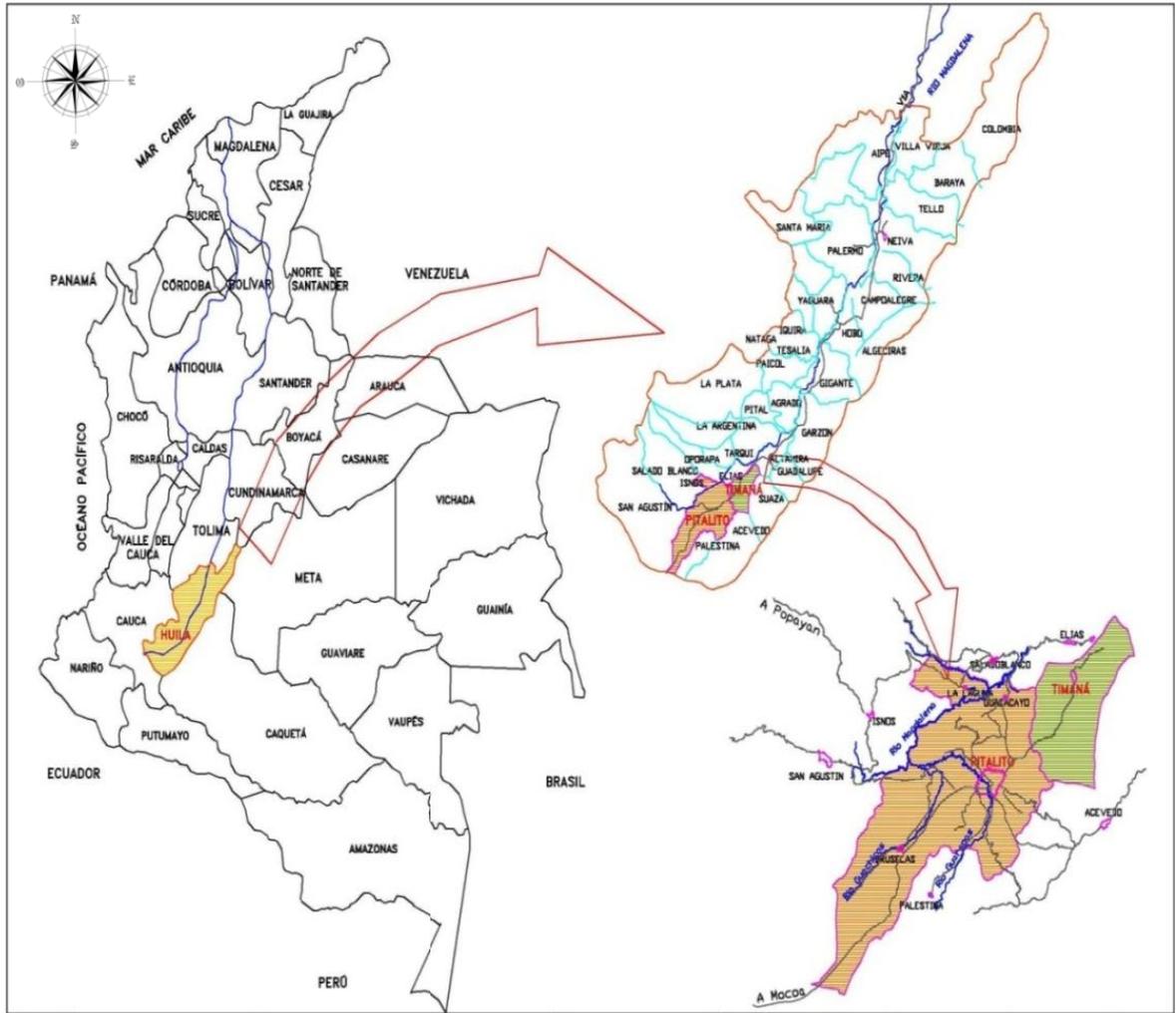
Fuente: Los autores.

### 4.1. LOCALIZACIÓN

#### 4.1.1. ZONA DE APROVECHAMIENTO DEL MATERIAL

El estudio se desarrolló en la zona rural del sur del departamento del Huila, específicamente en los municipios de Pitalito y Timaná (figura 13). 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. Geográficamente los límites de la zona de estudio son: Latitud 1°55'40.95"N - 1°44'50.30"N - Longitud 75°57'15.00"O - 76°08'02.38"O, de acuerdo con el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS.

Figura 13. Ubicación geográfica de los municipios Pitalito-Timaná.



Fuente: Los autores. Tomado del plan de ordenamiento territorial (P.O.T 2000) Pitalito-Huila.

#### 4.2. NORMAS Y PROTOCOLOS

Para la selección, caracterización física, corte, determinación de resistencia a la compresión paralela a la fibra, módulos de elasticidad 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".

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".
10. Proyecto de investigación (2008M6336). Protocolos de la universidad Nacional de Colombia "Corte de culmos y probetas, determinación de la resistencia a compresión paralela a la fibra, medición del contenido de humedad para la *Guadua angustifolia* Kunth".

#### 4.3. SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

La selección de los sitios de muestreo se realizó de forma aleatoria, para garantizar que el área de estudio fuera representativa; se contó con la colaboración del subdirector Henry Liscano Parra, el Ingeniero Jarrinson Pisso y el instructor Bertulfo Avendaño del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró, para la localización de los sitios de muestreo. Los municipios de Pitalito y Timaná poseen una diversidad de bosques maderables y gramíneos entre otros, la guadua es representativa en la zonificación ambiental según lo establecido por el Plan de Ordenamiento Territorial (P.O.T 2000) para el municipio de Pitalito y el Esquema de Ordenamiento Territorial (E.O.T 1999) para el municipio Timaná (Plano 1). De los lugares seleccionados, cuatro se encuentran ubicados en el municipio de Pitalito y uno en Timaná (Tabla 11 y Plano 2). Por razones prácticas se asignó para cada predio o rodal una letra que los identificaran y diferenciaron, por consiguiente se referirá a cada uno de ellos como zona A, B, C, D y E.

Tabla 11. Localización de las zonas Pitalito y Timaná.

PREDIO	VEREDA	MUNICIPIO	COORDENADAS MAGNA-SIRGAS		Altitud (m.s.n.m)
			LATITUD (N)	LONGITUD (O)	
A: La Vega	Pantanos	Timaná	1°54'19.80"	75°58'02.80"	1253
B: La Esperanza	San Francisco	Pitalito	1°50'06.00"	76°06'57.40"	1313
C: La Dalia-Limón	Palmarito	Pitalito	1°47'13.80"	76°04'03.40"	1294
D: Sena Yamboró	Aguadas	Pitalito	1°53'36.00"	76°05'25.10"	1331
E: Villa María	Zanjones	Pitalito	1°50'26.11"	76°01'58.31"	1279

#### 4.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS SITIOS DE MUESTREO

Se realizaron visitas a los respectivos rodales para identificar y seleccionar las guaduas “hechas” o maduras con un período de edad entre 4-6 años, de forma general se describieron las condiciones de sitio en donde se desarrolló la guadua (Anexo del 1 al 5); con la asesoría del laboratorista Efrén Mosquera Villareal, se realizaron algunas pruebas físico-químicas para las muestras de suelo representativas de la zona de estudio, en los laboratorios de Construcciones y de Suelos de la universidad Surcolombiana. Mediante la revisión del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio Pitalito (P.O.T 2000) y el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio Timaná (E.O.T 1999) se rectificó y complemento la información de la descripción general.

#### 4.5. METODOLOGÍA PARA EL CORTE DE LOS CULMOS

El corte de los culmos se efectuó según las tradiciones y recomendaciones de los propietarios de las fincas. El corte del tallo se realizó aproximadamente a 1 metro por encima del cuello de la guadua. Posterior al corte se sometieron a los culmos al proceso de sangrado o vinagrado en el guadual (pérdida de humedad), durante aproximadamente 2 semanas. Una vez finalizado este proceso, los tallos fueron cortados en 3 secciones longitudinales: cepa (1,5m), basa (4,5m) y sobre-basa (3,0m) (Anexo 6). Los permisos de corte y aprovechamiento fueron otorgados por la empresa Agroforestal de la sede de Pitalito-Huila.

#### 4.6. METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS

El material fue transportado desde la zona de estudio hasta las instalaciones del Instituto de Extensión e Investigaciones (IEI) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá (Anexo 7, figuras 19 y 20), el permiso del salvo conducto fue otorgado por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) sede Pitalito-Huila.

Bajo la autorización del PhD Juan Manuel Lizarazo Marriaga y con la colaboración de los laboratoristas José Darío Moreno y Jorge Olarte del Instituto de Ensayos e Investigaciones (IEI), se llevaron a cabo los procedimientos para la obtención de las probetas (Anexo 7, figuras 21 y 22).

La caracterización física de las probetas se realizó luego del lijado; seguidamente fueron sumergidas en agua durante dos semanas para evitar su fisuramiento por pérdida de humedad; se contó durante esta etapa con la asesoría de la Ingeniera Patricia Luna Tamayo (Anexo 7, figuras 23 y 24).

En total se cortaron 150 probetas con una relación altura diámetro de 1:1, de las cuales resultaron dañadas 4 durante el proceso de lijado o de desplazamiento del material. La selección de las probetas con nudo y sin nudo fue totalmente aleatoria.

#### 4.7. ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA, MÓDULOS DE ELASTICIDAD, CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD BÁSICA

En los ensayos para determinar resistencia a la compresión paralela a la fibra, módulos de elasticidad, humedad y densidad básica de la *Guadua angustifolia*, los laboratoristas José Darío Moreno y Jorge Olarte apoyaron nuevamente, y además Pastor Riaño de los laboratorios de agregados y concretos, y materiales y cementos. Se contó con la asesoría permanente de la Ingeniera Patricia Luna Tamayo.

Se fallaron 146 probetas a carga máxima para determinar la resistencia última a compresión paralela a la fibra. Para encontrar el módulo de elasticidad longitudinal se ensayaron de las 146 probetas 14 con nudo y 14 sin nudo, las primeras, con comparadores de carátula y las segundas con deformímetros eléctricos uniaxiales y triaxiales por conveniencia, ya que únicamente se debían utilizar en probetas lisas sin presencia de nudo. El coeficiente de Poisson se determinó para 9 probetas con deformímetros triaxiales de las 14 provistas con deformímetros eléctricos. (Anexo 8, figuras 25, 26 y 27).

Una vez finalizados los ensayos de resistencia a la compresión paralela a la fibra y módulos de elasticidad de las probetas, se determinó su contenido de humedad con probetas de dimensiones aproximadas de 3 cm de ancho por 6 cm de largo (Anexo 8, figuras 28, 29 y 30). El secado de las muestras se trabajó a una temperatura de 60°C a diferencia de lo establecido en la norma (103°C ± 2°C) para evitar su calcinamiento.

Se dispuso de los siguientes equipos y herramientas para la ejecución de los ensayos:

1. Equipo de carga a compresión FORNEY con capacidad de carga de 500 Lb calibrada el 07/02/11 certificado No 1446. SERVINTEGRAL LTDA.
2. Equipo de carga a compresión marca SERVINTEGRAL LTDA, con capacidad de carga de 200 Ton. Calibrada el 07/02/11 certificado No 1447.
3. Balanza digital BJ 4100D PRECISA, con exactitud de 0,1g.
4. Balanza digital OHAUS (Pionner<sup>TM</sup>), con exactitud de 0,01g.
5. Horno. Control electrónico con temperatura.
6. Horno eléctrico marca THELCO (Thermoscientific).

7. Comparadores de carátula  $\varnothing 6''$ , referencia STARRETT (Atholmass U.S.A). Precisión de 0,01mm.
8. Deformímetros eléctricos uniaxiales marca KYOWA. Precisión  $\epsilon \times 10^{-6}$ .
9. Deformímetros eléctricos triaxiales marca KYOWA. Precisión  $\epsilon \times 10^{-6}$ .
10. Puente de Weathstone.
11. Acolilladora marca PROTECH.
12. Probeta de 100ml.
13. Pie de rey.

#### 4.8. ANÁLISIS DE DATOS

##### 4.8.1. ANÁLISIS DE VARIANZA MULTIFACTORIAL

En el análisis de varianza multifactorial se evaluaron 132 probetas. Las 14 probetas de los ensayos con deformímetros eléctricos se descartaron del análisis por la amplia diferencia en el tiempo de ejecución de los ensayos y en general por las diferencias en los tipos de tratamientos (secado al aire, lijado y demarcación en el lugar de colocación del deformímetro). El análisis estadístico fue desarrollado por medio del software STATGRAPHICS CENTURION con la asesoría del PhD Nelson Gutiérrez de la Universidad Surcolombiana sede Neiva; asumiendo como hipótesis la normalidad, homocedasticidad e independencia de los datos.

##### 4.8.2. FACTORES, NIVELES DE FACTOR Y VARIABLE DEPENDIENTE

La variable dependiente para el diseño ANOVA multifactorial es la resistencia a la compresión paralela a la fibra y los factores que pueden afectarla son: la procedencia de la guadua, la sección del culmo y la presencia o no de nudos en las probetas. Se enumera a continuación en la tabla 12 cada uno de los factores, niveles del factor y variable dependiente.

Tabla 12. Factores y niveles de factor cuyos efectos sobre la resistencia a la compresión fueron evaluados.

FACTOR	NIVELES DE FACTOR	VARIABLE DEPENDIENTE
1. Zona	A La Vega B. La Esperanza C. Dalia - Limón D. Aguadas E. Villa María	Resistencia a la compresión paralela a la fibra (Mpa)
2. Sección	1. Inferior 2. Media 3. Superior	
3. Nudo	1. Con nudo 2. Sin nudo	

### 4.8.3. ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS

La clasificación de los datos por factores y niveles de factor previo a la ejecución del ANOVA multifactorial se presenta en la tabla 13. La información fue procesada por el software de forma aleatoria.

Tabla 13. Clasificación de los datos según el factor y sus niveles correspondientes.

SECCIÓN	NUDO	FINCA				
		A	B	C	D	E
INFERIOR	SI	35,16	48,17	38,00	29,29	30,96
		36,30	27,88	37,77	35,82	36,99
		37,38	31,92	25,47	33,32	30,37
		38,92	39,00	33,01	44,50	39,62
		32,17	37,07	42,49	35,70	-
	NO	37,88	33,89	38,65	37,05	37,07
		40,70	38,46	45,92	39,32	46,00
		36,98	31,81	34,23	39,92	38,75
		39,89	30,00	-	36,36	40,79
		-	-	-	-	-
MEDIA	SI	33,81	49,35	37,02	32,38	37,46
		32,77	35,88	40,86	43,38	38,38
		25,87	35,27	41,95	40,37	42,53
		35,38	31,68	38,21	36,60	27,98
		33,20	38,50	36,09	30,39	33,64
	NO	32,37	37,51	33,12	36,44	41,59
		30,59	33,45	44,05	34,98	35,99
		36,06	40,56	41,20	33,53	40,86
		30,19	33,82	-	38,71	37,05
		-	-	-	-	-
SUPERIOR	SI	34,34	46,57	40,11	47,24	41,81
		32,99	59,05*	42,83	45,96	35,10
		32,34	44,83	35,74	35,46	45,88
		40,70	32,02	37,00	37,46	44,66
		36,44	39,17	47,34	39,66	37,51
	NO	37,17	37,41	42,83	35,86	37,26
		39,93	40,06	43,61	49,46	35,94
		40,27	49,11	37,58	46,15	36,16
		21,34*	49,64	-	40,27	48,27
		-	-	-	-	-

\* Representa los datos atípicos

## 5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Los datos correspondientes a la geometría de las probetas obtenidos durante la caracterización física, permitieron calcular a partir de los diámetros y espesores promedios, las áreas de las secciones transversales de cada una de las probetas. Con estos últimos se calcularon, luego de los ensayos a carga última, los esfuerzos últimos a compresión; se obtuvieron además valores de densidad básica y contenidos de humedad para la mayoría de las probetas. Los valores característicos y esfuerzos admisibles se calcularon luego del análisis estadístico de los resultados; con relación a los sitios de muestreo, se identificaron de forma general algunos parámetros para la caracterización física.

### 5.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

La descripción y caracterización física general de cada rodal en la zona de estudio se resume en los anexos del 1 al 5. Cada rodal se desarrolló de forma natural, en algunos se hallaron evidencias de procesos de soca por parte de sus propietarios, se encontraron fuentes hídricas cercanas en algunos casos, la topografía de la zona de influencia presentó variación entre rodales al igual que el tipo de suelo sobre el cual se desarrolló la guadua.

### 5.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE CULMOS

Los resultados de la caracterización física de los culmos se muestran en las tablas del anexo 11, los diámetros y espesores de pared correspondientes a las secciones transversales superior e inferior de cada segmento de culmo se presentan de las tablas 34 a la 38, así como el número de entrenudos con su respectiva medida de longitud. Se encuentra también señalados los lugares de corte de las probetas con un símbolo de asterisco (\*) (tablas 39 a 43). Se detalla en el anexo 9 para tener una mayor claridad, los tipos de mediciones realizadas para cada segmento o parte de un culmo.

### 5.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS PROBETAS

Los valores que hacen referencia a la geometría de las probetas se presentan en las tablas del anexo 12. Se muestra en detalle en la figura del anexo 10 las mediciones realizadas para cada probeta, en la tabla 14 se listan algunos valores promedios producto de dichas mediciones junto con las áreas de secciones transversales calculadas; la probeta AC03I tomada de la sección inferior del culmo 3 procedente de la zona A, se utiliza como referencia para las respectivas muestras de cálculos y tablas que en adelante se mostrarán.

Área de la sección transversal de la probeta perpendicular a las fibras:

$$A = \frac{\pi}{4} (\varphi^2 - (\varphi - 2e)^2)$$

Dónde:

$\varphi$  : Es el valor medio de diámetro exterior

$e$  : Es el valor medio de espesor de pared

#### Muestra de cálculo

$$A = \frac{\pi}{4} (11,96^2 - (11,96 - 2 \times 1,66)^2) \text{ (cm}^2\text{)} = 53,71 \text{ cm}^2$$

Tabla 14. Área de la sección transversal y dimensiones promedio de probetas extraídas de la parte inferior de culmos procedentes de la zona A.

Nomenclatura	NUDO SI/NO	H <sub>prom</sub> (cm)	$\varphi$ <sub>prom</sub> (cm)	e <sub>prom</sub> (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )
AC01I*	SI	12,65	11,18	1,69	50,39
AC02I	NO	12,53	12,39	1,80	59,89
AC03I	SI	9,95	11,96	1,66	53,71
AC04I	SI	12,90	10,75	1,30	38,59
AC05I	NO	13,12	11,77	1,60	51,12
AC06I	SI	13,13	11,39	1,31	41,48
AC07I**	NO	12,19	11,70	1,59	50,50
AC08I	SI	11,00	10,52	1,24	36,15
AC09I	NO	12,17	11,61	1,47	46,83
AC10I	NO	12,69	11,62	1,83	56,28

\*Probeta ensayada con comparador de carátula mecánico

\*\*Probeta ensayada con deformímetro eléctrico

#### 5.4. CARGA ÚLTIMA, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA, CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD BÁSICA

Los valores de carga máxima, esfuerzo último a compresión, densidad básica y contenido de humedad de cada probeta se encuentran en las tablas del anexo 13. La tabla 15 contiene una muestra de los valores obtenidos para probetas de la sección inferior de culmos de la zona A; los cálculos utilizados para determinar dichos valores se ilustran a continuación.

- Esfuerzo último a compresión

El esfuerzo último de compresión se determina como:

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

Dónde:

F<sub>ult</sub> : Carga máxima a la cual falla la probeta, en N  
 A : Área de la sección transversal de la probeta, en mm<sup>2</sup>

#### Muestra de cálculo

La carga máxima soportada por la probeta AC03I fue de 47000 Lb que equivalen a 209065,43 N, en un área transversal de 53,71cm<sup>2</sup> que corresponde a 5371 mm<sup>2</sup>; con esto el esfuerzo último resultante para dicha probeta es:

$$\sigma_{ult} = \frac{209065,43 \text{ N}}{5371 \text{ mm}^2} = 38,92 \text{ Mpa}$$

- Contenido de humedad (CH)

El contenido de humedad de una muestra se calcula como:

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

Dónde:

m : Masa de la probeta antes del secado, en gr  
 m<sub>0</sub> : Masa de la probeta después del secado, en gr

#### Muestra de cálculo

La muestra extraída de la probeta AC03I tenía una masa inicial de 11,60gr y luego del secado al horno una masa final de 6,90gr, por lo que su contenido de humedad fue de:

$$CH = \frac{11,60 - 6,90 \text{ gr}}{6,90 \text{ gr}} \times 100 = 68,12\%$$

- Densidad básica

La densidad básica para cada probeta se obtiene de la siguiente forma:

$$DB = \left( \frac{m}{V} \right) \times 10^3$$

Dónde:

DB : Densidad básica, en Kg/m<sup>3</sup>  
 m : Masa de la probeta seca al horno, en gr  
 V : Volumen húmedo (verde) de la probeta, en cm<sup>3</sup>

#### Muestra de cálculo

El volumen de la muestra extraída de la probeta AC03I fue de 6,0cm<sup>3</sup> y la masa seca al horno de 6,90gr como se indicaba anteriormente. La densidad básica resultante fue de:

$$DB = \frac{6,90\text{gr}}{6,0\text{cm}^3} \times 10^3 = 1150\text{Kg/m}^3$$

Tabla 15. Esfuerzo a carga máxima, contenido de humedad y densidad básica de las probetas de la sección inferior en culmos de la zona A.

Nomenclatura	NUDO SI/NO	Fult (lbf)	σ ult (Mpa)	%CH	DB (Kg/m <sup>3</sup> )
AC01I*	SI	42350	37,38	95,74	492,38
AC02I	NO	51000	37,88	96,28	537,78
AC03I	SI	47000	38,92	68,12	1150,00
AC04I	SI	30500	35,16	167,61	473,33
AC05I	NO	42500	36,98	104,17	480,00
AC06I	SI	30000	32,17	122,92	490,00
AC07I**	NO	34000	29,95	113,82	-
AC08I	SI	29500	36,30	92,40	526,25
AC09I	NO	42000	39,89	72,73	628,57
AC10I	NO	51500	40,70	108,82	485,71

\*Probeta ensayada con comparador de carátula mecánico

\*\*Probeta ensayada con deformímetro eléctrico

## 5.5. GRÁFICAS ESFUERZO VS DEFORMACIÓN

Las tablas y gráficas que se presentan a continuación corresponden a una muestra de la totalidad de la información obtenida y se utilizan para representar las deformaciones unitarias alcanzadas por probetas de guadua bajo la acción de una carga y el esfuerzo a compresión producido. Los resultados para las probetas AC10M y DC03S se presentan en el mismo orden para representar las deformaciones evaluadas con comparadores de carátula mecánicos y deformímetros eléctricos uniaxiales y triaxiales respectivamente. La pendiente de la curva esfuerzo vs deformación para cada caso, resulta de la regresión lineal de los datos ubicados en el rango del 10 al 60% de la carga última (Fult) de acuerdo con lo establecido en la NTC5525 y su ecuación general es  $\sigma = E \times \epsilon$ ; donde (E) es el módulo de elasticidad y ( $\epsilon$ ) la deformación unitaria.

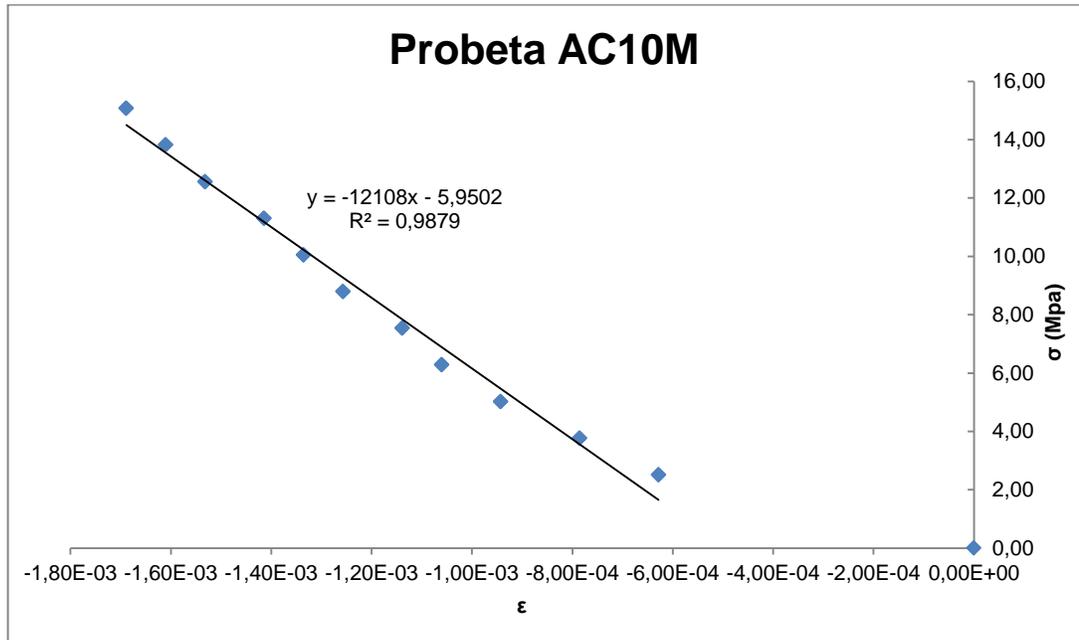
- Comparador de carátula mecánico

Se ubicaron dos comparadores de carátula mecánico en la probeta en lados opuestos para obtener valores promedio de deformación. El desplazamiento se toma como negativo por el acortamiento de la probeta, la deformación unitaria resulta de dividir dicho desplazamiento por la separación entre los anillos (63,65 mm). Se tomaron registros de aplicación de la carga cada 500 Kgf.

Tabla 16. Lecturas y valores de deformación unitaria para la probeta AC10M con comparador de carátula mecánico.

Carga (kgf)	Lectura			Desplazamiento (mm)	Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )	Esfuerzo (Mpa)
	Deformimetro 1 (10E-2)mm	Deformimetro 2 (10E-2)mm	Promedio (10E-2)mm			
0	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,00
1000	-4,00	-4,00	-4,00	-0,0400	-0,0006	2,51
1500	-4,50	-5,50	-5,00	-0,0500	-0,0008	3,77
2000	-5,50	-6,50	-6,00	-0,0600	-0,0009	5,02
2500	-6,00	-7,50	-6,75	-0,0675	-0,0011	6,28
3000	-6,00	-8,50	-7,25	-0,0725	-0,0011	7,54
3500	-6,50	-9,50	-8,00	-0,0800	-0,0013	8,79
4000	-6,50	-10,50	-8,50	-0,0850	-0,0013	10,05
4500	-6,50	-11,50	-9,00	-0,0900	-0,0014	11,30
5000	-7,00	-12,50	-9,75	-0,0975	-0,0015	12,56
5500	-7,00	-13,50	-10,25	-0,1025	-0,0016	13,82
6000	-7,00	-14,50	-10,75	-0,1075	-0,0017	15,07

Figura 14. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria longitudinal probeta AC10M.



- Deformímetros eléctricos

Se ubicaron para esta probeta dos deformímetros eléctricos en costados opuestos, uno uniaxial y el otro triaxial. Con las dos lecturas de deformación unitaria longitudinal ( $\epsilon_{90^\circ}$ ) se calculó el promedio; la deformación en el sentido transversal ( $\epsilon_{0^\circ}$ ) solo se midió en uno de los costados de la probeta. Se consideraron  $\epsilon_{0^\circ}$  y  $\epsilon_{90^\circ}$  para determinar los coeficientes de Poisson a los que más adelante se referirá. Se tomaron registros de la aplicación de la carga cada 2000 lbf.

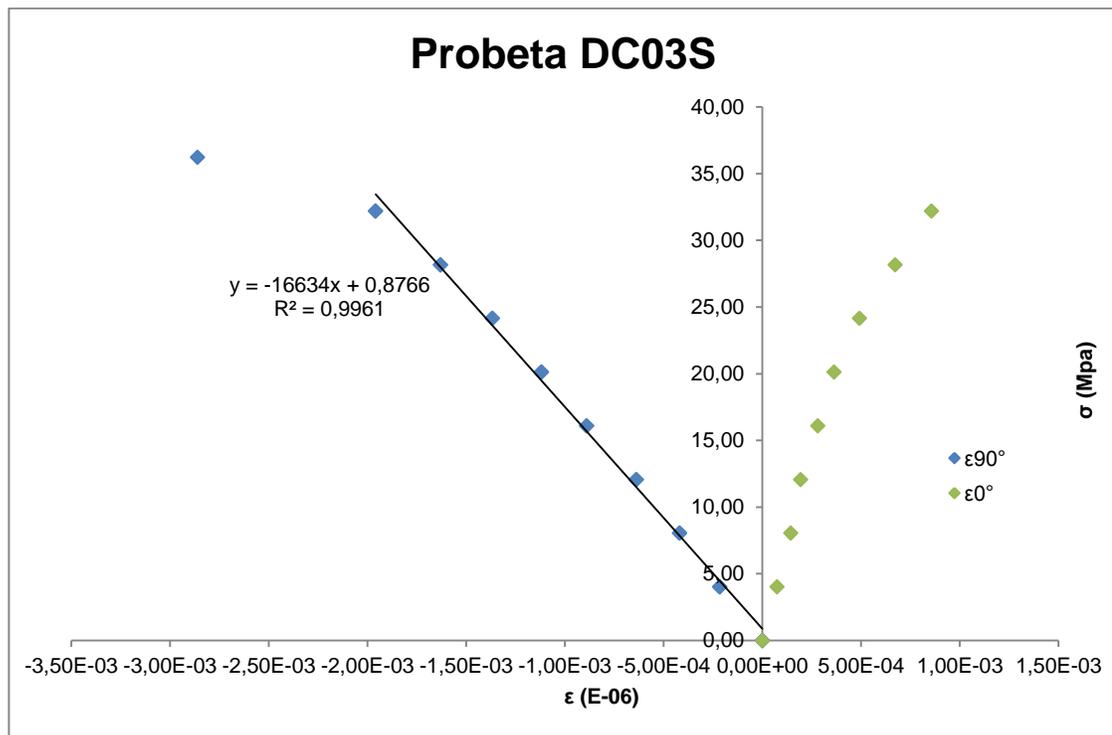
Tabla 17. Deformaciones unitarias a  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $135^\circ$  con respecto al eje transversal de la probeta DC03S, medidas con deformímetros eléctricos.

Carga (lbf)	Uniaxial	Triaxial			$\epsilon_{0^\circ}$ (10E-6)	Promedio $\epsilon_{90^\circ}$ (10E-6)	Esfuerzo (Mpa)
	$\epsilon_{90^\circ}$ (10E-6)	$\epsilon_{45^\circ}$ (10E-6)	$\epsilon_{90^\circ}$ (10E-6)	$\epsilon_{135^\circ}$ (10E-6)			
0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
2000	-150	325	-280	-530	75	-215,0	4,02
4000	-347	507	-490	-853	144	-418,5	8,05
6000	-573	461	-702	-968	195	-637,5	12,07
8000	-827	392	-951	-1061	282	-889,0	16,10

Tabla 17. (Continuación)

Carga (lbf)	Uniaxial	Triaxial				Promedio $\epsilon_{90^\circ}$ (10E-6)	Esfuerzo (Mpa)
	$\epsilon_{90^\circ}$ (10E-6)	$\epsilon_{45^\circ}$ (10E-6)	$\epsilon_{90^\circ}$ (10E-6)	$\epsilon_{135^\circ}$ (10E-6)	$\epsilon_{0^\circ}$ (10E-6)		
10000	-1063	281	-1174	-1092	363	-1118,5	20,12
12000	-1324	170	-1412	-1089	493	-1368,0	24,14
14000	-1616	107	-1643	-1076	674	-1629,5	28,17
16000	-1940	16	-1977	-1136	857	-1958,5	32,19
18000	-2760	-660	-2961	-2113	188	-2860,5	36,21

Figura 15. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria longitudinal y transversal probeta DC03S.



## 5.6. MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y COEFICIENTE DE POISSON

Los módulos de elasticidad y coeficientes de Poisson obtenidos a partir de los gráficos esfuerzo vs deformación del anexo 14, se tabulan en las tablas 44 y 45 del anexo 14 para probetas ensayadas con comparadores de carátula mecánicos y deformímetros eléctricos respectivamente, el R-cuadrado representa el grado de aproximación entre el valor calculado y el teórico de la línea de regresión.

El coeficiente de Poisson que resulta de la relación  $\mu = -\epsilon_{0^\circ}/\epsilon_{90^\circ}$ , se calculó para las 9 probetas ensayadas con deformímetros eléctricos triaxiales.

## 5.7. VALORES CARACTERÍSTICOS Y ESFUERZOS ADMISIBLES

Los valores característicos y esfuerzos admisibles que se presentan en las tablas 18 a la 23 fueron calculados con base en la información estadística. El número de datos, la resistencia a la compresión promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación fueron utilizados para tal fin. Los datos de resistencia a la compresión utilizados para la siguiente muestra de cálculo fueron tomados de la totalidad de probetas procedentes de culmos de la zona A.

- Valor característico

Se determina el valor característico en Mpa para un número determinado de probetas con la siguiente ecuación (G.12.7.4 - NSR-10):

$$f_{kc} = f_{0,05i} \left[ 1 - \frac{2,7 \frac{s}{m'}}{\sqrt{n}} \right]$$

Dónde:

- $f_{0,05c}$  : Valor correspondiente al percentil 5 de los datos (Mpa)  
 $m'$  : Valor promedio de los datos (Mpa)  
 $s$  : Desviación estándar de los datos  
 $n$  : Número de ensayos (por lo menos 20)

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

$$F_{c0,05} = \bar{F}_c (1 - 1,645 COV_c)$$

Dónde:

- $\bar{F}_c$  : Esfuerzo básico promedio (Mpa)  
 $COV_c$  : Coeficiente de variación de esfuerzos

### Muestra de cálculo

La resistencia a la compresión paralela a la fibra promedio para 26 probetas fue de 35,38 Mpa y el coeficiente de variación de los datos 10,46%; con esta información

se calcula el valor del percentil 5 de los datos y seguidamente el valor característico considerando la desviación estándar  $s = 3,70$ .

$$F_{c0,05} = 35,38(1-1,645 \times 0,1046) = 29,29 \text{ Mpa}$$

$$f_{kc} = 29,29 \times \left[ 1 - \frac{2,7 \frac{3,70}{35,38}}{\sqrt{26}} \right] = 27,67 \text{ Mpa}$$

- Esfuerzo admisible

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

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

- $f_{kc}$  : Valor característico del esfuerzo a compresión (Mpa)
- $FC$  : 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)
- $F_s$  : Factor de seguridad (1,5 según NSR-10)
- $FDC$  : Factor de duración de carga (1,2 según NSR-10)

### Muestra de cálculo

El factor de reducción  $FC$  para esfuerzos solicitados a compresión es 1,0, el factor de seguridad  $F_s$  1,5 y el de duración de carga 1,2, según lo establecido por la NSR-10; con el valor característico previamente calculado se obtiene a continuación el esfuerzo admisible.

$$F_c = \frac{1,0}{1,5 \times 1,2} \times 27,67 = 15,37 \text{ Mpa}$$

Tabla 18. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para la zona A.

<b>Datos estadísticos</b>	<b>Inferior</b>	<b>Media</b>	<b>Superior</b>	<b>Total</b>
Número de datos (N)	9	9	8	26
Promedio (Mpa)	37,26	32,25	36,77	35,38
Desviación estándar (s)	2,58	3,07	3,33	3,70
Coefficiente de variación (%)	6,92	9,53	9,06	10,46
Percentil 5 (Mpa)	33,02	27,19	31,29	29,29
Valor característico (Mpa)	30,96	24,86	28,58	27,67
Esfuerzo admisible (Mpa)	17,20	13,81	15,88	15,37

Tabla 19. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para la zona B.

<b>Datos estadísticos</b>	<b>Inferior</b>	<b>Media</b>	<b>Superior</b>	<b>Total</b>
Número de datos (N)	9	9	8	26
Promedio (Mpa)	35,36	37,34	42,35	38,19
Desviación estándar (s)	6,13	5,27	6,20	6,35
Coefficiente de variación (%)	17,35	14,11	14,64	16,64
Percentil 5 (Mpa)	25,27	28,67	32,15	27,74
Valor característico (Mpa)	21,33	25,03	27,66	25,29
Esfuerzo admisible (Mpa)	11,85	13,91	15,37	14,05

Tabla 20. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para la zona C.

<b>Datos estadísticos</b>	<b>Inferior</b>	<b>Media</b>	<b>Superior</b>	<b>Total</b>
Número de datos (N)	8	8	8	24
Promedio (Mpa)	36,94	39,06	40,88	38,96
Desviación estándar (s)	6,22	3,59	3,96	4,81
Coefficiente de variación (%)	16,83	9,18	9,69	12,35
Percentil 5 (Mpa)	26,71	33,16	34,36	31,04
Valor característico (Mpa)	22,42	30,25	31,19	28,93
Esfuerzo admisible (Mpa)	12,46	16,81	17,33	16,07

Tabla 21. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para la zona D.

<b>Datos estadísticos</b>	<b>Inferior</b>	<b>Media</b>	<b>Superior</b>	<b>Total</b>
Número de datos (N)	9	9	9	27
Promedio (Mpa)	36,81	36,31	41,95	38,35
Desviación estándar (s)	4,28	4,07	5,31	5,11
Coefficiente de variación (%)	11,62	11,20	12,66	13,33
Percentil 5 (Mpa)	29,77	29,62	33,21	29,94
Valor característico (Mpa)	26,66	26,63	29,43	27,87
Esfuerzo admisible (Mpa)	14,81	14,80	16,35	15,48

Tabla 22. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para la zona E.

<b>Datos estadísticos</b>	<b>Inferior</b>	<b>Media</b>	<b>Superior</b>	<b>Total</b>
Número de datos (N)	9	9	9	27
Promedio (Mpa)	37,40	37,28	40,29	38,32
Desviación estándar (s)	4,81	4,49	4,95	4,78
Coefficiente de variación (%)	12,86	12,06	12,29	12,49
Percentil 5 (Mpa)	29,49	29,88	32,14	30,45
Valor característico (Mpa)	26,07	26,64	28,59	28,47
Esfuerzo admisible (Mpa)	14,49	14,80	15,88	15,82

Tabla 23. Valores característicos y esfuerzos admisibles para las 5 zonas.

<b>Datos estadísticos</b>	<b>Inferior</b>	<b>Media</b>	<b>Superior</b>	<b>Total</b>
Número de datos (N)	44	44	42	130
Promedio (Mpa)	36,75	36,39	40,48	37,83
Desviación estándar (s)	4,77	4,60	5,03	5,11
Coefficiente de variación (%)	12,99	12,63	12,43	13,50
Percentil 5 (Mpa)	28,90	28,83	32,20	29,43
Valor característico (Mpa)	27,37	27,35	30,54	28,49
Esfuerzo admisible (Mpa)	15,21	15,19	16,96	15,83

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO

Los datos de resistencia a la compresión, diámetro, espesor de pared, densidad básica y contenido de humedad, fueron analizados independientemente y de manera exploratoria en su totalidad, por factores 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 cada una de las variables mencionadas y el análisis de varianza multifactorial para resistencia a la compresión se muestran en el presente capítulo.

#### 6.1.1. EXCLUSIÓN DE DATOS ATÍPICOS

Las probetas AC05S y BC03S con resistencias de 21,34Mpa y 59,05Mpa respectivamente fueron excluidas por tratarse de valores atípicos. La primera no correspondía a una muestra representativa por su geometría, con valores altos de espesor de pared y diámetro; la segunda excluida por tratarse ya sea de un caso aislado y poco probable de culmos de guadua de resistencia muy superiores o producto de posibles errores durante la aplicación o medición de la carga.

Los datos atípicos excluidos para las demás variables se encuentran señalados en las tablas del anexo 12, se encontró que las variables densidad básica y contenido de humedad fueron las más afectadas por este tipo de datos. El análisis descriptivo que se presenta a continuación para cada una de las variables contiene datos provenientes de una distribución normal.

### 6.2. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

La información contenida en las tablas presentadas 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 resistencia a la compresión dichas mediciones se presentan con el análisis de varianza en el análisis inferencial de las tablas 24 a la 27.

El resumen estadístico para diámetro para las secciones inferior, media y superior se presenta en la tabla 24, del mismo modo en la tabla 25 se presenta para espesor de pared y en las tablas 26 y 27 para densidad básica y contenido de humedad respectivamente.

Tabla 24. Análisis descriptivo para diámetro para las 5 zonas.

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total
Recuento	44	44	42	130
Promedio (cm)	10,85	10,18	8,57	9,89
Mediana (cm)	10,77	10,46	8,625	10,15
Desviación Estándar (cm)	1,11	1,33	1,42	1,60
Coeficiente de Variación (%)	10,25	13,06	16,5	16,15
Mínimo (cm)	8,79	7,09	5,75	5,75
Máximo (cm)	14,21	13,50	11,79	14,21
Rango (cm)	5,42	6,41	6,04	8,46

Se observó disminución en el diámetro a lo largo de la sección, situación que se presenta de forma natural en culmos de guadua y se puede apreciar durante su crecimiento y desarrollo; se encontraron menores diámetros en probetas tipo B con promedios de 9,39 cm, 8,81 cm y 6,79 cm en sus secciones inferior, media y superior respectivamente; las probetas tipo A y tipo E de secciones inferiores presentaron mayores diámetros con promedios de 11,47 cm y 11,84 cm respectivamente; para las mismas probetas y en el mismo orden se encontraron diámetros de 11,17 cm y 10,98 cm para sección media y 9,66 cm y 9,43 cm para sección superior.

Tabla 25. Análisis descriptivo para espesor de pared para las 5 zonas.

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total
Recuento	42	43	42	127
Promedio (cm)	1,55	1,22	1,01	1,26
Mediana (cm)	1,49	1,24	0,99	1,24
Desviación Estándar (cm)	0,23	0,17	0,18	0,29
Coeficiente de Variación (%)	14,92	13,49	17,61	23,24
Mínimo (cm)	1,12	0,75	0,69	0,69
Máximo (cm)	2,21	1,56	1,48	2,21
Rango (cm)	1,09	0,81	0,79	1,52

El espesor al igual que el diámetro disminuye con la altura de la guadua. El espesor de pared para probetas tipo D de sección inferior fue el más bajo con un promedio de 1,44 cm; el promedio más alto se estableció para probetas tipo E con un valor de 1,71 cm. Para la sección media se mantuvo la misma tendencia con promedios de 1,14 cm en probetas tipo D y 1,34 cm en probetas tipo E. En la sección superior se evidenciaron valores más bajos en probetas tipo B y más altos en probetas tipo E con promedios de 0,87 cm y 1,20 cm en el mismo orden.

Tabla 26. Análisis descriptivo para densidad básica para las 5 zonas.

<b>Datos estadísticos</b>	<b>Inferior</b>	<b>Media</b>	<b>Superior</b>	<b>Total</b>
Recuento	43	37	41	121
Promedio (cm)	568,70	571,46	592,57	577,64
Mediana (cm)	566,67	564,00	600,00	577,50
Desviación Estándar (cm)	90,77	83,13	111,10	95,85
Coefficiente de Variación (%)	15,96	14,55	18,75	16,59
Mínimo (cm)	434,00	375,00	250,63	250,63
Máximo (cm)	800,00	805,00	800,00	805,00
Rango (cm)	366,00	430,00	549,37	554,37

La densidad básica aumenta desde la sección inferior hasta la superior. Los datos observados para densidad básica en las tres secciones presentaron una amplia dispersión como lo indican las desviaciones estándar. Valores bajos de densidad básica predominaron en probetas tipo A en sus tres secciones, mientras valores más altos fueron encontrados en probetas tipo E para la sección inferior y en las probetas tipo D para las secciones media y superior.

Tabla 27. Análisis descriptivo global para contenido de humedad.

<b>Datos estadísticos</b>	<b>Total</b>
Recuento	125
Promedio (%)	86,16
Mediana (%)	85,45
Desviación Estándar (%)	16,07
Coefficiente de Variación (%)	18,65
Mínimo (%)	51,92
Máximo (%)	130,56
Rango (%)	78,64

El contenido de humedad de las probetas 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.

### 6.3. ANÁLISIS INFERENCIAL Y COMPARATIVO

Se presenta a continuación el análisis de varianza multifactorial para resistencia a la compresión paralela a la fibra y pruebas de múltiples rangos. Los resultados alcanzados por otros estudios serán discutidos en forma comparativa.

### 6.3.1. ANÁLISIS DE VARIANZA MULTIFACTORIAL

En la tabla 28 se presenta el análisis de varianza (ANOVA multifactorial), en el cual se determinó la variabilidad de la resistencia según las contribuciones de los factores y sus posibles combinaciones; se utilizó la suma de cuadrados tipo III (por defecto el más utilizado) porque al medir la contribución de cada factor se eliminaban los efectos de los demás. El factor sección tuvo un efecto estadísticamente significativo entre los efectos principales y las interacciones de segundo orden, con un valor-P inferior a 0,05 y un nivel de confianza del 95,0%. Se presenta oposición a los resultados obtenidos por González et al (2008) para el caso de guadua madura, situación que no sucedería si se compara con sus resultados en guadua sobremadura.

Tabla 28. Análisis de varianza multifactorial para resistencia a la compresión paralela a la fibra.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Zona	189,99	4	47,50	2,14	0,0802
B: Sección	426,56	2	213,28	9,63	0,0001
C: Nudo	60,25	1	60,25	2,72	0,1019
INTERACCIONES					
AB	209,53	8	26,19	1,18	0,3162
AC	39,75	4	9,94	0,45	0,7731
BC	25,62	2	12,81	0,58	0,5625
RESIDUOS	2391,65	108	22,14		
TOTAL (CORREGIDO)	3363,86	129			

### 6.3.2. PRUEBAS DE MULTIPLES RANGOS PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Las tablas 29, 30 y 31 son de comparación múltiple y sirven para determinar cuáles medias presentaron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95,0%; los intervalos de confianza al 95,0% indican los límites entre los cuales se encuentra la verdadera media. Se utilizó el método de la menor diferencia significativa (LSD) de Fisher para contrastar igualdad entre medias y detectar homogeneidad entre niveles de factor. Las medidas de variabilidad del análisis descriptivo para resistencia se presentan igualmente en estas tablas.

Tabla 29. Prueba de múltiples rangos para resistencia a la compresión por Zona.

Datos Estadísticos	Zonas					Total
	A	B	C	D	E	
Casos	26	26	24	27	27	130
Media (Mpa)	35,60 <sup>a</sup>	38,32 <sup>b</sup>	39,20 <sup>b</sup>	38,42 <sup>b</sup>	38,45 <sup>b</sup>	38,00
Desviación Estándar (Mpa)	3,70	6,35	4,81	5,11	4,78	5,11
Coefficiente de Variación (%)	10,46	16,64	12,35	13,33	12,49	13,50
Mínimo (Mpa)	25,87	27,88	25,47	29,29	27,98	25,47
Máximo (Mpa)	40,70	49,64	47,34	49,46	48,27	49,64
Límite Inferior (Mpa)	33,75	36,48	37,23	36,61	36,65	36,95
Límite Superior (Mpa)	37,46	40,16	41,16	40,23	40,26	38,72

a indica una diferencia significativa con un nivel del 95,0% de confianza.

b zonas homogéneas, no existe diferencias significativas entre ellos.

La resistencia a la compresión promedio de probetas tipo A fue significativamente inferior a la de los otros tipos, pese a esto el factor zona no representó mayor significancia estadística. La baja resistencia para las probetas tipo A coincide con los valores bajos de densidad básica registrados para las mismas, lo que podría considerarse una de las posibles causas de su baja resistencia; esta tendencia se presenta a pesar de la gran dispersión de los valores de densidad básica que generalmente se presentan, según lo señalado por Uribe y Duran (2002).

Tabla 30. Prueba de múltiple rangos para resistencia a la compresión por Sección.

Datos Estadísticos	Sección			Total
	Inferior	Media	Superior	
Casos	44	44	42	130
Media (Mpa)	36,93 <sup>b</sup>	36,47 <sup>b</sup>	40,60 <sup>a</sup>	38,00
Desviación Estándar (Mpa)	4,77	4,59	5,03	5,11
Coefficiente de Variación (%)	12,99	12,63	12,43	13,50
Mínimo (Mpa)	25,47	25,87	32,02	25,47
Máximo (Mpa)	22,70	49,35	49,64	49,64
Límite Inferior (Mpa)	35,50	35,04	39,14	36,95
Límite Superior (Mpa)	38,35	37,89	42,06	38,72

a indica una diferencia significativa con un nivel del 95,0% de confianza.

b secciones homogéneas, no existe diferencias significativas entre ellos.

La sección del culmo como factor tuvo un efecto estadístico significativo como se refería en la tabla 40, de las tres secciones la que presentó en promedio una mayor resistencia y de forma significativa fue la superior, comprobándose de esta manera lo expresado por autores como González (2006), Uribe y Durán (2002), Ghavami y Marinho (2005), García (2004), González et al (2008) y Lozano et al (2010), entre otros; quienes referían que la resistencia a la compresión se incrementaba con la altura del culmo.

Comparaciones con otros estudios permitieron encontrar valores inferiores a los presentados en resistencia a la compresión paralela a la fibra; González et al (2008) por ejemplo descubrió valores de 24,09 Mpa, 29,14 Mpa y 27,45 Mpa para las secciones inferior, media y superior respectivamente, incluso con porcentajes de contenido de humedad menores (12,4 a 60,6%). Lozano et al (2010) por su parte, encontró para contenidos de humedad similares (89,08%) valores de resistencia inferiores, con 29,29 Mpa para la sección inferior, 29,62 Mpa para la sección media y 37,63 Mpa para la sección superior. Del mismo modo Ghavami y Marinho (2005) presentaron para probetas con nudo y sin nudo de las tres secciones una resistencia promedio de 29,48 Mpa frente a 37,83 Mpa promedio alcanzado en este estudio.

A diferencia de lo anterior, los resultados obtenidos por Muñoz (2011) fueron muy superiores, con valores mínimos de 37,28 Mpa, 39,82 Mpa y 45,19 Mpa para probetas de las secciones inferior, media y superior respectivamente. Estos resultados ponen en evidencia la calidad de los clones superiores de *Guadua angustifolia* analizados en su estudio.

Tabla 31. Prueba de múltiple rangos para resistencia a la compresión por Nudo.

Datos Estadísticos	Nudo		Total
	Con Nudo	Sin Nudo	
Casos	74	56	130
Media (Mpa)	37,31	38,69	38,00
Desviación Estándar (Mpa)	5,31	4,75	5,11
Coefficiente de Variación (%)	14,26	12,31	13,50
Mínimo (Mpa)	25,47	30,00	25,47
Máximo (Mpa)	49,35	49,64	49,64
Límite Inferior (Mpa)	36,22	37,43	36,95
Límite Superior (Mpa)	38,39	39,94	38,72

La presencia de nudo en las probetas no es un factor determinante sobre la resistencia a la compresión, así lo expresaron igualmente García (2004), González (2006), Ghavami y Marinho (2004) y González et al (2008) entre otros. González (2008) encontró para probetas con nudo y sin nudo valores de resistencia a la compresión promedio de 28,45 Mpa y 29,12 Mpa respectivamente, valores similares entre ellos e inferiores a los presentados en la tabla anteriormente referida. Ghavami y Marinho (2004) por su parte habían afirmado este hecho presentando valores de 25,27 Mpa y 28,36 Mpa para probetas con nudo y sin nudo de partes inferiores de culmos y en el mismo orden 28,36 Mpa y 31,77 Mpa para la parte media y 31,77 Mpa y 25,27 Mpa para la parte superior.

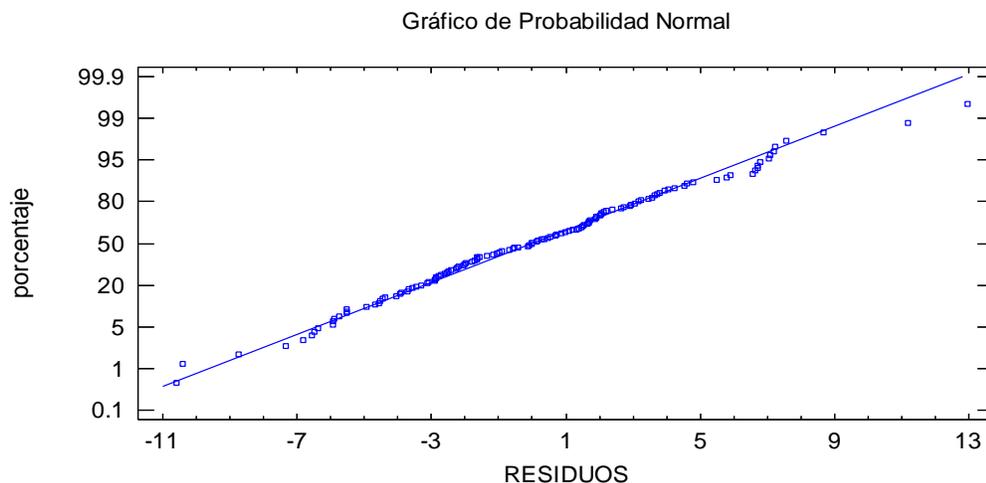
### 6.3.3. CONTRASTE DE HIPÓTESIS

Las hipótesis iniciales de normalidad, homocedasticidad e independencia de los residuos fueron rectificadas por los métodos gráficos que se presentan a continuación.

#### 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 (figura 16), 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.

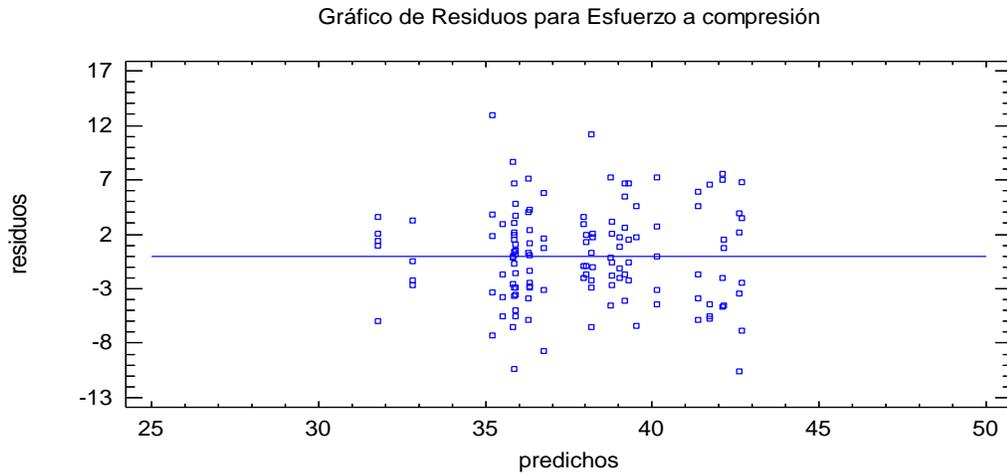
Figura 16. Gráfico de probabilidad normal para Residuos. Se cumple con el supuesto de normalidad de los residuos.



#### Prueba de homocedasticidad

Se comprobó mediante la prueba de Levene's la igualdad de las varianzas para cada uno de los factores, los valores-P arrojados por esta prueba iguales a 0,267, 0,532 y 0,407 corresponden a los factores zona, sección y nudo respectivamente. Se verificó igualmente la homocedasticidad en el gráfico de residuos frente a valores predichos de resistencia (figura 17), 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.

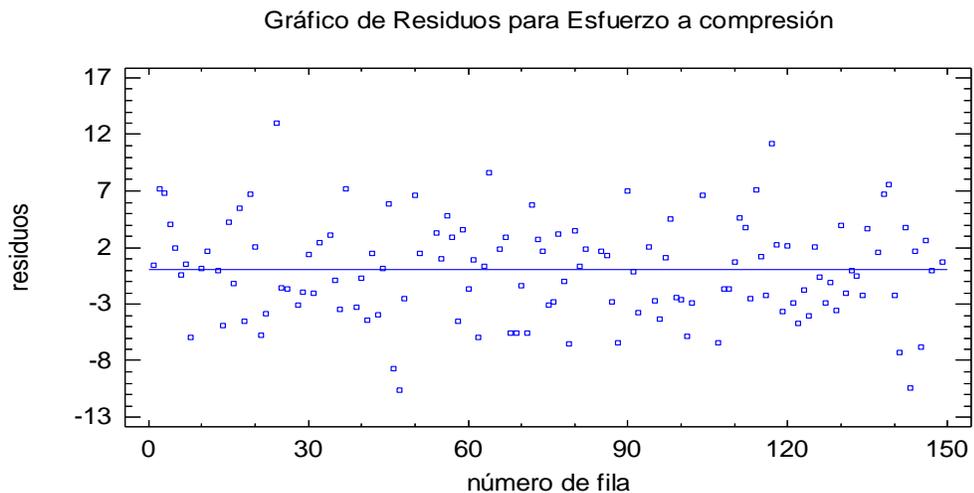
Figura 17. Gráfico de residuos frente a predichos para resistencia a la compresión en Mpa. Se cumple con el supuesto de homocedasticidad de los residuos.



### 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 (figura 18); 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.

Figura 18. Gráfico de residuos frente a número de fila para resistencia a la compresión en Mpa. Se cumple con el supuesto de independencia de los residuos.



#### 6.4. ANÁLISIS DESCRIPTIVO Y COMPARATIVO PARA MÓDULOS DE ELASTICIDAD

El análisis descriptivo para módulo de elasticidad por secciones para probetas instrumentadas con comparadores de carátula y deformímetros eléctricos se muestra en la tabla 32. Con la intención de comparar los resultados obtenidos para módulo de elasticidad evaluados con comparadores de carátula y deformímetros eléctricos se presenta en la tabla 33 el análisis descriptivo para cada uno. Los datos analizados para cada caso provienen de una distribución normal. Los intervalos de confianza al 95% para la media de módulo de elasticidad y el valor del percentil 5 se exponen en las dos tablas.

Tabla 32. Análisis descriptivo para módulo de elasticidad por secciones para probetas instrumentadas con comparadores de carátula y deformímetros eléctricos.

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	TOTAL
Número de datos	9	10	7	26
$E_{0,5}$ = Promedio (Mpa)	10687,60	13363,50	11658,30	11978,10
Desviación Estándar (Mpa)	5066,17	5371,98	7523,45	5795,05
Coefficiente de Variación (%)	47,40	40,20	64,53	48,38
$E_{0,05}$ = percentil 5 (Mpa)	1702,40	4439,20	2123,10	2123,10
$E_{\text{Mínimo}}$ (Mpa)	1702,40	4439,20	2123,10	1702,40
$E_{\text{Máximo}}$ (Mpa)	18383,00	21203,00	22048,00	22048,00
Límite inferior (Mpa)	6793,37	9520,63	4700,21	9637,45
Límite superior (Mpa)	14581,80	17206,40	18616,30	14318,8

El módulo de elasticidad promedio para probetas de guadua de la sección media fue el más alto con 13363,50 Mpa y el más bajo para probetas de la sección inferior con 10687,60 Mpa. Los valores presentados en la NSR-10 de módulos de elasticidad para un contenido de humedad del 12% son 9500 Mpa, 7500 Mpa y 4000 Mpa para módulos promedio, percentil 5 y mínimo respectivamente. El promedio 11978,10 Mpa presentado en la anterior tabla es superior al presentado por la norma aun aplicando el coeficiente de modificación para contenidos de humedad superiores a 19% ( $C_m = 0,90$ ); a diferencia de lo que sucede con los módulos percentil 5 y mínimo.

El valor promedio 11978,10 Mpa para 26 probetas supera los módulos de elasticidad promedio de 9081,99 Mpa obtenido por Lozano et al (2010) para 136 probetas y 6569,38 Mpa conseguido por Uribe y Durán (2002) para 20 probetas. Se presenta cierta semejanza con el módulo de elasticidad promedio de Ghavami y Marinho (2004) igual 12580 Mpa. González (2006) y Rivera (2008) por otra parte presentaron valores promedio de 17859,24 Mpa y 16109 Mpa respectivamente; resultados superiores pero con la diferencia en la altura de las probetas (dos veces su diámetro externo).

Tabla 33. Análisis descriptivo para módulos de elasticidad de probetas instrumentadas con comparadores de carátula y deformímetros eléctricos.

Datos estadísticos	MOE MEC	MOE ELEC	TOTAL
Número de datos	14	12	26
$E_{0,5}$ = Promedio (Mpa)	8222,79	16359,30	11978,10
Desviación Estándar (Mpa)	4267,97	3988,47	5795,05
Coefficiente de Variación (%)	51,90	24,38	48,38
$E_{0,05}$ = percentil 5 (Mpa)	1702,40	8770,10	2123,10
$E_{\text{Mínimo}}$ (Mpa)	1702,40	8770,10	1702,40
$E_{\text{Máximo}}$ (Mpa)	14590,00	22048,00	22048,00
Límite inferior (Mpa)	5728,54	13825,20	9637,45
Límite superior (Mpa)	10687,00	18893,50	14318,8

Las mediciones realizadas con deformímetros eléctricos fueron más precisas que las realizadas con comparadores de carátula, esto se puede apreciar tanto en la anterior tabla con el coeficiente de variación y la desviación estándar, como en las gráficas esfuerzo vs deformación unitaria del anexo 15 con la forma de la curva y la cantidad de datos. En estas gráficas se pueden identificar una zona lineal o elástica y una zona curva o plástica. Generalmente los módulos de elasticidad calculados a partir de las mediciones realizadas con deformímetros eléctricos, son mayores que los alcanzados con los comparadores de carátula; este hecho fue igualmente evidenciado por González (2006).

## 6.5. COEFICIENTE DE POISSON

Los resultados obtenidos para coeficiente de Poisson para 8 de las 9 probetas ensayadas con deformímetros eléctricos triaxiales no se encuentran en rangos lógicos. Esto conlleva a suponer que se presentaron errores durante la instrumentación de los deformímetros eléctricos triaxiales o durante la toma de datos, por esta razón no es posible realizar ningún tipo de análisis estadístico de los datos (Anexo 14, figura27).

La probeta DC03S con  $\mu = 0,30$  fue la única con un valor aceptable. Se encontraron valores en los estudios de Ghavami y Marinho (2004) de  $\mu = 0,34$ , Osorio (2007) de  $\mu = 0,22-0,35$  y Lozano et al (2010) de  $\mu = 0,35$ .

## 6.6. ANÁLISIS COMPARATIVO PARA ESFUERZOS ADMISIBLES

En la NSR-10 se presenta el valor de esfuerzo admisible para elementos solicitados a compresión paralela; este valor que es igual a 14Mpa fue determinado para un contenido de humedad del 12% el cual se encuentra muy por debajo del promedio mostrado en la tabla 23. Tanto este valor como el esfuerzo

admisible de la tabla 23 igual a 15,83Mpa al multiplicarse por el coeficiente de modificación para contenidos de humedad superiores a 19% ( $C_m = 0,70$ ) se reducen, obteniéndose 9,8Mpa para el valor fijado por la NSR-10 y 11,08Mpa para el presentado en este estudio. De esta forma se evidencia un esfuerzo admisible superior 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 en su estudio, para corroborar esta afirmación basta con comparar los valores característicos presentados en la tabla 23 con los valores presentados por Lozano et al en la tabla 5. González (2006) obtuvo valores característicos superiores con las diferencias de que sus probetas contaban en primer lugar, con una altura igual a dos veces su diámetro externo y segundo lugar un contenido de humedad promedio de 13,60%.

## 7. CONCLUSIONES

El diámetro de la sección transversal en los culmos disminuye con la altura. El promedio para las cinco zonas para la sección inferior fue de 10,85cm, para la sección media 10,18cm y 8,57cm para la sección superior. Se presentaron menores diámetros en culmos de la zona B y mayores en culmos de las zonas A y E en las tres secciones.

El espesor de pared al igual que el diámetro, también disminuye con la altura de la guadua. Se presentaron menores espesores para las probetas de la zona D en las secciones inferior y media, y para la zona B en la sección superior. Los valores más altos de espesor de pared para las tres secciones corresponden a probetas tipo E. Los promedios para las cinco zonas para la sección inferior, media y superior fueron de 1,55cm, 1,22cm y 1,01cm respectivamente.

La densidad básica promedio para 121 probetas fue de 577,64 kg/m<sup>3</sup> con una desviación estándar de 95,85kg/m<sup>3</sup>, con valores mínimos y máximos de 250,63kg/m<sup>3</sup> y 805,00kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

La resistencia a la compresión paralela a la fibra de probetas de guadua varía de forma inversa con el contenido de humedad. El valor promedio de contenido de humedad para las cinco zonas fue de 86,98%, con valores mínimos y máximos de 51,92% y 137,83% respectivamente, con una desviación estándar de 17,19%.

La variación entre niveles de factor para el factor zona no es significativa, solo se encontró para la zona A diferencias mínimas significativas en comparación con las demás zonas según lo establecido por la prueba LSD de Fisher. La densidad básica podría explicar esta tendencia ya que los valores más bajos también se encontraron para probetas provenientes de la zona A (probetas tipo A).

La sección del culmo es un factor determinante sobre la resistencia a la compresión, se encontraron diferencias significativas entre valores de resistencia promedio de las secciones inferior y media frente al alcanzado por la sección superior. Los valores promedios para las cinco zonas para las secciones inferior y media fueron de 36,93Mpa y 36,47Mpa respectivamente; valores que se encuentran por debajo de la resistencia alcanzada para la sección superior 40,60Mpa.

La resistencia a la compresión paralela a la fibra no varía significativamente por la presencia de nudo en las probetas según el análisis de varianza realizado. La resistencia promedio para probetas con nudo fue de 37,31Mpa y sin nudo de 38,69Mpa.

El valor característico para las cinco zonas fue de 28,49 Mpa, superior al encontrado por Lozano et al (2010) para culmos de guadua procedente de los departamentos de Quindío, Cundinamarca y Valle del Cauca aplicando los mismos métodos. Gonzales (2006) obtuvo un valor característico promedio de 40,42Mpa; resultado superior debido a diferencias en cuanto a la forma de las probetas y los contenidos de humedad.

El esfuerzo admisible promedio alcanzado para las cinco zonas fue de 15,83Mpa, resultado que se encuentra por encima del valor propuesto por la NSR-10 de 14Mpa, aun si se multiplican ambos valores por el coeficiente de modificación para contenidos de humedad superiores al 19% ( $C_m = 0,70$ ).

El módulo de elasticidad promedio para la totalidad de probetas ensayadas con comparadores de carátula y deformímetros eléctricos fue de 11978,10 Mpa, el módulo al percentil 5 fue de 2123,10 Mpa y el mínimo de 1702,40 Mpa. Solo el valor promedio fue superior al presentado por la NSR-10 aun considerando el coeficiente de modificación para contenidos de humedad superiores a 19% ( $C_m = 0,90$ ) en ambos casos.

Los predios fueron seleccionados de forma aleatoria, al igual que los culmos y el lugar de corte de las probetas, garantizándose de esta forma la representatividad de los datos analizados.

## 8. RECOMENDACIONES

La selección tanto de los sitios de muestreo como de cada uno de los individuos o unidades experimentales, en este caso culmos de guadua angustifolia, debe ser aleatoria para garantizar la representatividad de los datos y la veracidad de la información obtenida.

Para facilitar el ingreso y la circulación dentro del rodal es necesario implementar las prácticas de socla, entresaca, y distribución de residuos, estos procesos consisten en eliminar las malezas, los bejucos y los ganchos de la guadua, la extracción y colocación de guaduas secas y dañadas; permitiendo un mayor incremento en el manejo silvicultural y a su vez reduce los riegos para los operarios.

El corte y aprovechamiento de la guadua, se debe realizar con la asesoría de personal capacitado; al mismo tiempo se recomienda dejar el material cortado de forma vertical, facilitando la pérdida de humedad (avinagramiento), la cual ayuda a reducir el ataque de insectos y disminuye los costos del transporte del material.

Para reducir el tiempo de lijado de las probetas se deben contar con equipos especializados para el corte como acolilladoras y sierras sinfín. Las acolilladoras con discos mayores a los diámetros de los culmos son las más indicadas, debido a que el corte de la probeta queda de forma vertical en la dirección del corte del disco. El buen corte y lijado de las probetas garantiza que la aplicación sea paralela a la fibra.

La precisión de las herramientas es de suma importancia para la caracterización física de las probetas.

La automatización de controladores y tableros digitales en equipos mecánicos de carga a compresión, permiten controlar la velocidad de aplicación de la carga y la precisión en la toma de datos.

Para determinar la deformación axial en el sentido de las fibras de las probetas, se recomienda usar dos comparadores de caratula mecánicos con tableros digitales, para facilitar la toma de datos y disminuir el error en las lecturas.

Es importante disponer de una mayor cantidad de muestras para realizar los ensayos de módulos de elasticidad y poder realizar un análisis estadístico más completo y preciso (Anova multifactorial).

La utilización de comparadores de carátula mecánico, implica que la lectura de datos sea poco confiable y a su vez el montaje del equipo es más dispendioso. El uso de deformímetros eléctricos es el más adecuado para determinar el módulo de

elasticidad, debido a la precisión de la lectura y toma de datos, a su vez aumentan los costos del proyecto.

Contar con la asesoría de personal capacitado o con experiencia en la instrumentación de deformímetros eléctricos para garantizar una buena toma de datos.

Un estudio completo de las propiedades físicas y químicas de suelo permitiría inferir con mayor precisión que variables producen mayores efectos significativos sobre la resistencia de un material natural como la guadua.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO, B y TORO, I. Evaluación del desarrollo de los bosques de *Guadua angustifolia* en la zona de jurisdicción de la C.V.C, bajo diferentes condiciones de sitio, con fines de reforestación. Tesis. Ibagué: Universidad del Tolima. 1994. 168 p. Citado por: GARCÍA, Jorge. Definición de áreas óptimas de calidad de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), orientada a satisfacer las necesidades del mercado. Tesis de Maestría. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Industrial, 2004. 118 p.

CAMACHO, Víctor & PÁEZ, Isduar. Estudio de conexiones en guadua solicitadas a momento flector. Tesis de grado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil. 2002. 156 p.

CAMARGO, J; GARCÍA, J y MORALES, T. Cambios en la productividad de rodales naturales de guadua bajo diferentes condiciones de sitio y manejo silvicultural en el eje cafetero de Colombia. Memorias del VI Simposio Internacional del Medio Ambiente y Habitación. Bogotá, 2003. Citado por: GARCÍA, Jorge. Definición de áreas óptimas de calidad de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), orientada a satisfacer las necesidades del mercado. Tesis de Maestría. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Industrial, 2004. 118 p.

CASTAÑO, F. Aspectos sobre el cultivo y el manejo de la Bambusa guadua en Colombia. Primer simposio latinoamericano del bambú. Manizales, 1981. 53 p. Citado por: GARCÍA, Jorge. Definición de áreas óptimas de calidad de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), orientada a satisfacer las necesidades del mercado. Tesis de Maestría. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Industrial, 2004. 118 p.

CASTAÑO, Francisco. Estudio de la calidad de sitio y su incidencia en el crecimiento y desarrollo de las plantaciones de guadua. Análisis de caso: Valle del Cauca. Cali, 2002.

Código técnico de la edificación. CTE-SE. Seguridad estructural. España, 2008, 32 p. Ediciones Liteam, ISBN 978-84-92558-01-8.

CORPOCALDAS. Cámara de Comercio de Manizales. Microcluster de la guadua. Manizales, Caldas. 2002.

CRUZ, H. La guadua nuestro bambú. Corporación autónoma regional del Quindío y centro nacional para el estudio del bambú y la guadua. Armenia, 1994. 293 p. Citado por: GARCÍA, Jorge. Definición de áreas óptimas de calidad de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), orientada a satisfacer las necesidades del mercado.

Tesis de Maestría. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Industrial, 2004. 118 p.

DIAZ, Francisca, et al. Bioestadística: métodos y aplicaciones. Universidad de Málaga. 2008?. Disponible en: <http://www.bioestadistica.uma.es/baron/bioestadistica.pdf>. Consultado: Junio de 2012.

ESPINOSA, Diana. La cadena de la guadua en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, 2003.

EZPELETA, S. Analisis comparativo de cinco estudios de mercado de guadua. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, 2004. 28 p.

GARCÍA, Jorge. Definición de áreas optimas de calidad de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), orientada a satisfacer las necesidades del mercado. Tesis de Maestría. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Industrial, 2004. 118 p.

GHAVAMI, Khosrow. & MARINHO, Albanise B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. Rio de Janeiro: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.1, 2005.p.107-114.

GHAVAMI, K. & RODRÍGUEZ, C.S. Engineering materials and components with plants. In: CIB–Symposium, Construction & Environment, 2000, São Paulo. Proceedings. São Paulo: Global Seven Editor, 2000. CD Rom. Citado por: LOZANO, Jorge, et al. Validación de la *Guadua angustifolia* como material estructural para diseño, por el método de esfuerzos admisibles. Proyecto. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2010. 190 p.

GIRALDO, Edgar y SABOGAL, Aureliano. La GUADUA una alternativa sostenible. Publicación de la corporación autónoma regional del Quindío, CRQ. Quindío, 1999. 42 p. Citado por: SALAS, Eduardo. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia. Tesis de doctorado. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. 2006. 410 p.

GOBERNANZA FORESTAL “Proyecto Bosque FLEGT/Colombia”. Norma unificada para el manejo y aprovechamiento de la guadua. Corporación Autónoma Regional de Risaralda, Carder. Risaralda, 2002.

GONZÁLEZ, Cesar. Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la *Guadua angustifolia* y determinación del módulo de elasticidad. Trabajo de grado de especialización. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. 2006. 95 p.

GONZÁLEZ, B., Héctor A., MONTAÑA, A., Jorge A. y RUBIEL. B, José. Comportamiento de muestras de *Guadua angustifolia* Kunth con diafragma y sin diafragma sometidas a esfuerzo de compresión. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. 2008. Scientia et Technica, no 38. ISSN 012-1701.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Cosecha y postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. NTC 5300. Bogotá D.C, 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. NTC 5301. Bogotá D.C, 2007.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth. NTC 5325. Bogotá D.C, 2007.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Ley General forestal 1021. NTC ISO 9001:2000. Bogotá D.C, 2006. 4 p.

JUDZIEWICZ, E., L.G. Clark, X. Londoño, & M. J. Stern.1999. American Bamboos. Smithsonian Institution Press, Washington & London.392 p. Citado por: MUÑOZ, Jaime. Diversidad genética, estructura poblacional y selección de clones superiores de *Guadua angustifolia* Kunth en la eco-región cafetera de Colombia. Tesis de doctorado en ciencia. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 2011. 151 p.

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

LAMUS, Fabian. Calificación de una conexión viga-columna resistente a momento en *Guadua angustifolia*. Tesis de maestría. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2008. 242 p.

LONDOÑO, Ximena. Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bambúes del nuevo mundo. Cátedra Maestría en construcción. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2002.

LONDOÑO, Ximena; RIAÑO, N.M; & CAMAYO, G.C. 2002. Estudio anatómico de los diferentes órganos de la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), con énfasis en el culmo. Corporación regional autónoma del Quindío - Sociedad colombiana del bambú - Federación Nacional de Cafeteros de Colombia - CENICAFE. Chinchiná, Colombia. 38 p. Citado por: OSORIO, J.A; VÉLEZ J.M; CIRO, H.J. Estructura interna de la guadua y su incidencia en las propiedades mecánicas. Artículo científico. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 2007. 4 p.

LONDOÑO, Ximena. Guadua un bambú importante en América. En: Memorias primer Seminario Bamboo. Guayaquil, Ecuador. 2001. Citado por: MORENO, L; TRUJILLO, E y OSORIO, L. Estudio de las características de haces de fibra de *Guadua angustifolia*. En: Scientia et Technica Año XIII, Mayo de 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. 613 p.

LOPEZ, Luis y SILVA, Mario. Comportamiento sismorresistente de estructuras en bahareque. Trabajo de Grado. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. 2000. Citado por: CAMACHO, Víctor & PÁEZ, Isduar. Estudio de conexiones en guadua solicitadas a momento flector. Tesis de grado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil. 2002. 156 p.

LOZANO, Jorge, LUNA, Patricia y TAKEUCHI, Caori. Validación de la *Guadua angustifolia* como material estructural para diseño, por el método de esfuerzos admisibles. Proyecto. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2010. 190 p.

MARTÍN, José y MATEUS, Lelio. Determinación de la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la guadua castilla. Trabajo de grado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 1981. 145 p. Citado por: ARBELAEZ, Anacilia et al. Investigación sobre *Guadua angustifolia* Kunth realizadas en Colombia (1950-2000). Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 2001. 92 p.

MARTÍN, José y MATEUS, Lelio. Determinación de la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la guadua castilla. Trabajo de grado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 1981. 145 p. Citado por: CAMACHO, Víctor & PÁEZ, Isduar. Estudio de conexiones en guadua solicitadas a momento flector. Tesis de grado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil. 2002. 156 p.

MARTÍNEZ, Héctor, et al. La cadena de la guadua en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, 2005.

MCCLURE, F.A. The bamboo: A fresh perspective. Harvard University, Cambridge. 1966. Citado por: LONDOÑO, Ximena. Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bambúes del nuevo mundo. Cátedra Maestría en Construcción, Módulo guadua, Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 2002.

Ministerio de fomento. Gobierno de España. (n.d). Disponible en: <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/7E6874BB-AF3B-4B35-B676F9F6A19305C/37457/CAPITULOIIIborde.pdf> Consultado: Febrero de 2012

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

MUÑOZ, Jaime. Diversidad genética, estructura poblacional y selección de clones superiores de *Guadua angustifolia* Kunth en la eco-región cafetera de Colombia. Tesis de doctorado en ciencias. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 2011. 151 p.

OSORIO, S., Jairo A., VÉLEZ R., Juan M., CIRO V., Héctor J. Determinación de la relación de Poisson de la *Guadua angustifolia* a partir de procesamientos de imágenes y su relación con la estructura interna. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. Vol. 60, No. 2. 2007. 4067-4076 p

PEREA, Jairo de Jesús, et al. Evaluación y documentación de prácticas sobresalientes sobre el manejo de la cosecha y maduración de la guadua en el departamento del Huila. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Neiva, 2003.

PRADA, Julián y ZAMBRANO, Jairo. Estudio de elementos en guadua, solicitados a compresión, con perforación para el relleno de mortero. Tesis de grado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2003. 177 p.

Protocolos de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá "Corte de culmos y probetas, determinación de la resistencia a compresión paralela a la fibra, medición del contenido de humedad para la *Guadua angustifolia* Kunth". Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2008.

PYTEL, Andrew y Singer, Ferdinand L. Resistencia de materiales "Introducción a la mecánica de sólidos". Traducido por Torrent, Raimundo G. y Gutiérrez, Ángel V. 4 ed. México, D.F.: Copyrrigth © 1994, 1982 por Harla, S.A de C.V. 39 p. ISBN 0-06-045 313-3.

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIONES SISMO-RESISTENTE. Título G "Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá D.C, 2010.

RIVERA, John. Comportamiento estructural de pórticos en guadua, arriostrados mediante diagonales en guadua. Tesis de maestría. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2008. 33 p.

ROMERO, Rafael y Zúnica, Luisa. Métodos estadísticos en ingeniería [online]. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. España. 2005?. Disponible en: [http://books.google.com.co/books?id=kV\\_TiSo4vvUC&pg=PA216&dq=concepto+de+homocedasticidad&hl=es&sa=X&ei=YtJsT7GPJ8SogwfPuZGkBg&ved=0CE4Q6AEwBg#v=onepage&q=concepto%20de%20homocedasticidad&f=false](http://books.google.com.co/books?id=kV_TiSo4vvUC&pg=PA216&dq=concepto+de+homocedasticidad&hl=es&sa=X&ei=YtJsT7GPJ8SogwfPuZGkBg&ved=0CE4Q6AEwBg#v=onepage&q=concepto%20de%20homocedasticidad&f=false). Consultado: Junio de 2012.

SALAS, Eduardo. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia. Tesis de doctorado. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. 2006. 410 p.

SEELY, F.B. Resistencia de materiales. Editorial Hispanoamericana. México. 1954.

THE INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo. ISO/TC 165N315. 1999.

URIBE, Maritza y DURÁN, Alejandro. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas. Tesis de grado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil. 2002. 125 p.

VILLEGAS, Felipe. Comparación consumos de recursos energéticos en la construcción de vivienda social: Guadua vs Concreto. Tesis de maestría. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. 2005. 113 p.

WACKERLY, Dennis; MENDENHALL III, William & SCHEAFFER, Richard. Estadística matemática con aplicaciones [online]. Sexta edición. Thomson Editores. Disponible en: [http://books.google.com.co/books?id=0omi4yHld3UC&pg=PA628&hl=es&source=gbs\\_toc\\_r&cad=4#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.co/books?id=0omi4yHld3UC&pg=PA628&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false). Consultado: Junio de 2012.

# **ANEXOS**

**ANEXO 1. Descripción y caracterización de las propiedades físicas del suelo para el predio La Vega, vereda Pantanos - municipio de Timaná.**

Localización de la Zona A	Latitud (N) 01°54'19.80" Longitud (O) 75°58'02.80"	
Altitud	1253 m.s.n.m	
Distancia al casco urbano	10 Km	
Serie de Suelos	MQMa	
Descripción General	Moderadamente profundos, bien drenados, erodables, saturados en sector con sales y sodio, de fertilidad moderada a alta, deficientes en humedad. Suelos formados a partir de sedimentos coluvio-aluviales de texturas variadas.	
Relieve	Vallecitos estrechos 7-12%	
Temperatura	20 °C	
Recurso Hídrico	Río "LA COLORADA"	
Cultivos	Pastos y Café	
Maderables	Guamo y Caracolí	
Sistema Agroforestal	Agrosilvícola y Agrosilvopastoril	
Rodal	Natural	
Método de Aprovechamiento	Manual	
Variedad de guadua	Macana y Cebolla	

POZO 1					
Profundidad	Color Munsell	pH	% Humedad	Densidad Aparente	Conductividad Hidráulica
0-24 cm	10YR 5/4	6,52	15,90	1,43	12,56 cm/h Rápida
24-47 cm	10YR 5/4	6,52	15,90	1,43	
47-78 cm	10YR 5/4	6,45	14,24	1,24	
POZO 2					
Profundidad	Color Munsell	pH	% Humedad	Densidad Aparente	Conductividad Hidráulica
0-32 cm	10YR 5/4	6,12	21,04	1,30	7,33 cm/h Moderadamente rápida
32-91 cm	10YR 5/4	6,45	12,24	1,24	
91-120 cm	-	-	-	-	
POZO 3					
Profundidad	Color Munsell	pH	% Humedad	Densidad Aparente	Conductividad Hidráulica
0-40,6 cm	-	-	-	1,24	3,13 cm/h Moderada
40,6-90,6 cm	10YR 5/4	8,51	31,53	1,48	
POZO 4					
Profundidad	Color Munsell	pH	% Humedad	Densidad Aparente	Conductividad Hidráulica
0-90,3 cm	10YR 5/4	6,12	21,04	1,30	6,67 cm/h Moderadamente rápida
90,3-113 cm	10YR 6/4	8,07	27,68	1,59	

**ANEXO 2. Descripción y caracterización de las propiedades físicas del suelo para el predio La Esperanza, vereda San Francisco - Municipio de Pitalito.**

Localización de la Zona B	Latitud (N) 01°50'06.00"	
Altitud	Longitud (O) 76°06'57.40"	
Distancia al casco urbano	1313 m.s.n.m	
Serie de Suelos	10 Km	
Descripción General	VQFa	
	Superficiales a moderadamente profundos, bien a pobremente drenados, moderadamente ácidos y de fertilidad baja o moderada. Suelos de origen aluvial y materiales detríticos de textura gruesa.	
	Relieve	
Temperatura	18 °C	
Recurso Hídrico	Quebrada "CORRALES"	
Cultivos	Uva, Albergia y Café	
Maderables	Achapo y Cachimbo	
Sistema Agroforestal	Agrosilvopastoril	
Rodal	Natural	
Método de Aprovechamiento	Manual	
Variedad de guadua	Macana y Cebolla	

POZO 1					
Profundidad	Color Munsell	pH	% Humedad	Densidad Aparente	Conductividad Hidráulica
0-43,5 cm	10YR 6/2	5,47	2,46	1,30	0,64 cm/h
43,5-79 cm	2,5Y 7/4	6,36	19,19	-	Medianamente lenta
POZO 2					
Profundidad	Color Munsell	pH	% Humedad	Densidad Aparente	Conductividad Hidráulica
0-17 cm	10YR 6/2	5,36	22,68	-	3,20 cm/h
17-36 cm	10YR 6/2	5,58	13,61	-	Moderada

**ANEXO 3. Descripción y caracterización de las propiedades físicas del suelo para el predio La Dalia y Limón, vereda Palmarito- municipio de Pitalito.**

Localización de la Zona C	Latitud (N) 01°47'13.80"	
Altitud	Longitud (O) 76°04'03.40"	
Distancia al casco urbano	1294 m.s.n.m	
Serie de Suelos	12 Km	
Descripción General	VQFa	
	Superficiales a moderadamente profundos, bien a pobremente drenados, ligeramente ácidos y fertilidad baja a moderada. En las terrazas los depósitos son arcillosos y de origen lacustre.	
Relieve	Fuertemente quebrado, pendientes 25 y 50%	
Temperatura	18 °C	
Recurso Hídrico	Río "GUARAPAS"	
Cultivos	Café y Plátano	
Maderables	Achapo y Cachimbo	
Sistema Agroforestal	Agrosilvopastoril	
Rodal	Natural	
Método de Aprovechamiento	Manual	
Variedad de guadua	Macana, Cebolla y Cotuda	

POZO 1					
Profundidad	Color Munsell	pH	% Humedad	Densidad Aparente	Conductividad Hidráulica
0-41 cm	10YR 6/4	6,74	38,04	1,27	7,90 cm/h
41-84 cm	10YR 5/6	6,02	15,58	1,12	Medianamente rápida
POZO 2					
Profundidad	Color Munsell	pH	% Humedad	Densidad Aparente	Conductividad Hidráulica
0-33 cm	-	6,74	38,04	1,27	6,17 cm/h
33-84 cm	-	6,02	15,58	1,12	Moderadamente lenta

**ANEXO 4. Descripción y caracterización de las propiedades físicas del suelo para el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) Yamboró, vereda Aguadas - municipio de Pitalito.**

Localización de la Zona D	Latitud (N) 01°53'36.00"	
Altitud	Longitud (O) 76°05'25.10"	
Distancia al casco urbano	1331 m.s.n.m	
Serie de Suelos	7 Km	
Descripción General	MQAe2	
	Superficiales a moderadamente profundos, bien a pobremente drenados, fuertemente ácidos, susceptibilidad a la erosión, fertilidad baja a moderada, presencia de cascajo grueso en el tercer horizonte, material parental cercano a la superficie, requiere de prácticas de recuperación y conservación, tales como la reforestación con especies nativas.	
	Fuertemente quebrado, pendientes que oscilan entre 25 a 50%	
Relieve	20 °C	
Temperatura	Quebrada "SECA"	
Recurso Hídrico	Pastos y Café	
Cultivos	Nogal y Caracolí	
Maderables	Silvopastoril	
Sistema Agroforestal	Natural	
Rodal	Manual	
Método de Aprovechamiento	Macana y Cebolla	
Variedad de guadua		

POZO 1					
Profundidad	Color Munsell	pH	% Humedad	Densidad Aparente	Conductividad Hidráulica
0-10 cm	10YR 6/2	5,73	28,09	1,31	1,52 cm/h
10-25 cm	10YR 5/3	6,33	16,12	1,45	Medianamente lenta
25-50 cm	-	5,41	17,18	2,21	
POZO 2					
Profundidad	Color Munsell	pH	% Humedad	Densidad Aparente	Conductividad Hidráulica
0-30 cm	10YR 6/3	4,80	17,32	-	1,67 cm/h Modera
30-50 cm	10YR 7/3	5,33	16,98	1,74	
50-56 cm	10YR 6/4	5,26	17,18	1,56	

**ANEXO 5. Descripción y caracterización de las propiedades físicas del suelo para el predio Villa María, vereda Zanjones - municipio de Pitalito.**

Localización de la Zona E	Latitud (N) 01°50'26.11"	
Altitud	Longitud (O) 76°01'58.31"	
Distancia al casco urbano	1279 m.s.n.m	
Serie de Suelos	2,5 Km	
Descripción General	VQBa	
	Superficiales a profundos, está limitada por horizontes arcillosos, drenaje natural pobre e imperfecto siendo éste su mayor limitante,	
	extremadamente ácidos, fertilidad baja a moderada, presencia de nivel freático aproximadamente a los 1.5m.	
	Estos suelos son aptos para cultivos transitorios como el arroz, sorgos y ajonjolí pero para ello deben hacerse prácticas de drenaje.	
Relieve	Plano con pendiente del 0 al 3%	
Temperatura	20 °C	
Recurso Hídrico	Quebrada "ZANJONES"	
Cultivos	Pastos y Maíz	
Maderables	Caracolí y Guamo	
Sistema Agroforestal	Agrosilvopastoril	
Rodal	Natural	
Método de Aprovechamiento	Manual	
Variedad de guadua	Macana y Cotuda	

POZO 1					
Profundidad	Color Munsell	pH	% Humedad	Densidad Aparente	Conductividad Hidráulica
0-20 cm	10YR 7/2	5,03	60,97	1,29	0,60 cm/h Medianamente lenta
20-21 cm	10YR 8/2	5,04	37,79	1,48	
21-53 cm	2.5Y 8/2	5,22	31,73	1,59	
POZO 2					
Profundidad	Color Munsell	pH	% Humedad	Densidad Aparente	Conductividad Hidráulica
0-25 cm	10YR 8/2	5,56	25,68	1,25	1,63 cm/h Modera
25-31 cm	10YR 8/2	5,27	29,06	1,53	
31-65,5 cm	2,5Y 8/2	5,18	36,56	1,58	

## ANEXO 6. Corte y trozado de culmos.

Figura 19. Medida, demarcación y corte con machete, predio La Vega-Timaná-Huila.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 20. Trozado de culmos.



Fuente: Fotografía de los autores

## ANEXO 7. Caracterización física de culmos y probetas.

Figura 21. Transporte de material Finca la Esperanza Pitalito-Huila.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 22. Almacenamiento del material en el I.E.I.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 23. Corte e identificación de probetas en el I.E.I.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 24. Equipo eje vertical para pulir probetas en el laboratorio de albañearía de Artes de la universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 25. Caracterización física de probetas en el I.E.I.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 26. Proceso de inmersión de las probetas de guadua.



Fuente: Fotografía de los autores

**Anexo 8. Ensayos físicos y mecánicos de probetas de *Guadua angustifolia*.**

Figura 27. Equipo de carga a compresión paralela a la fibra.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 28. Equipo de carga a compresión paralela a la fibra y comparador de carátula mecánico laboratorio de agregados y concreto del I.E.I.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 29. Deformímetros eléctricos triaxiales.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 30. Equipo para el proceso de secado de las láminas de guadua en el laboratorio de materiales y cementos del I.E.I.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 31. Equipo para el proceso de secado de las láminas de guadua laboratorio del SINDU Facultad de Artes.



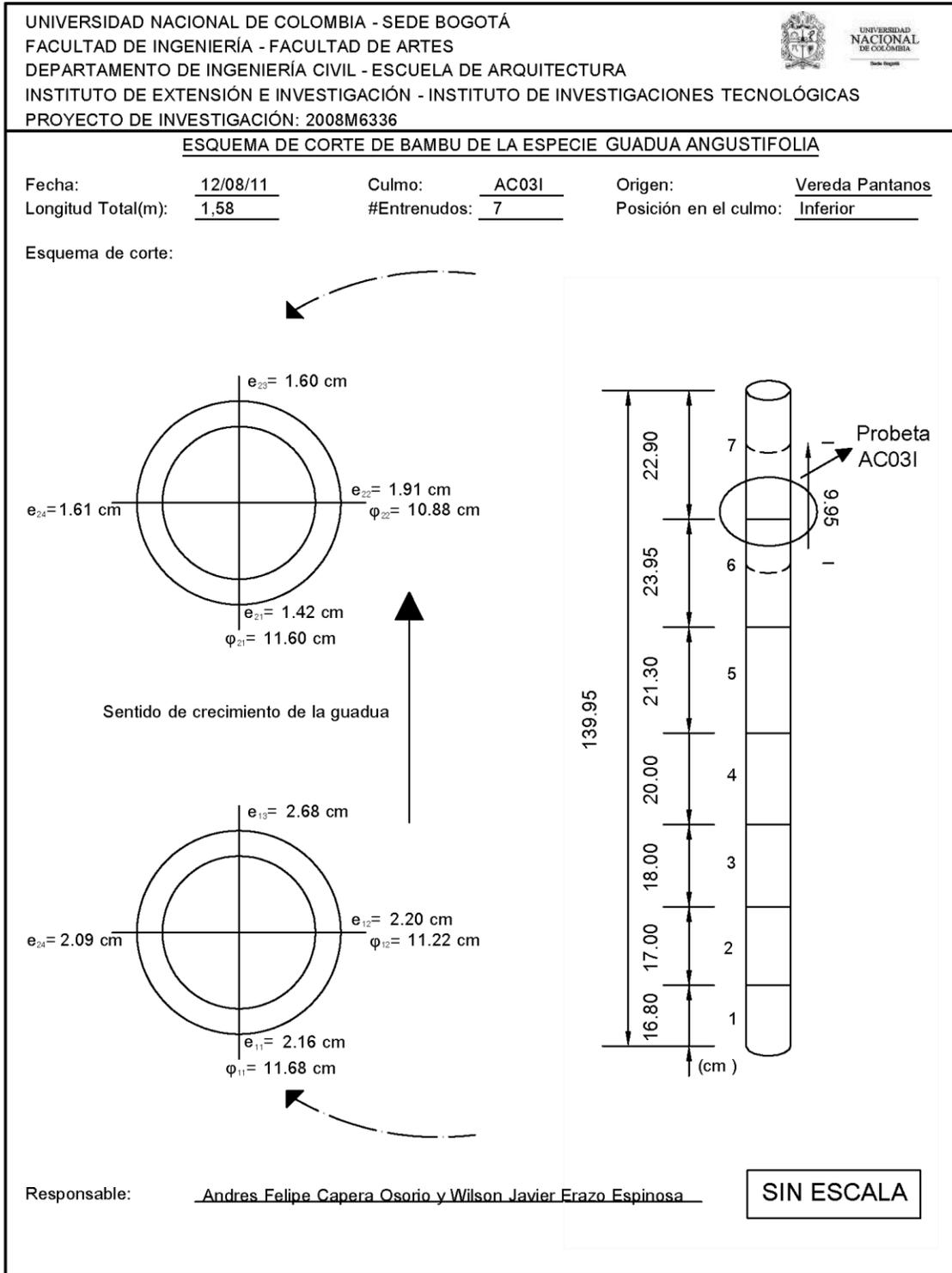
Fuente: Fotografía de los autores

Figura 32. Ensayos físicos para determinar la densidad básica de las láminas de guadua en el laboratorio de materiales y cementos del I.E.I.



Fuente: Fotografía de los autores

**ANEXO 9. Caracterización física de la sección Inferior (Cepa) y lugar de corte de la probeta AC03I.**



**ANEXO 10. Caracterización física de la probeta AC03I.**

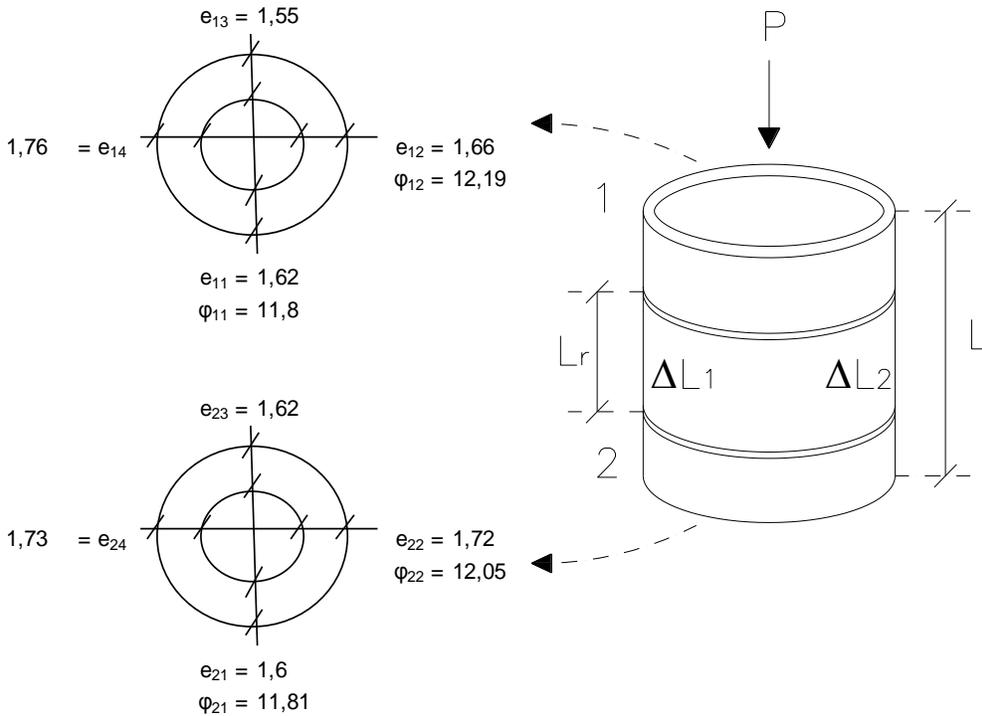
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ  
 FACULTAD DE INGENIERÍA - FACULTAD DE ARTES  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL - ESCUELA DE ARQUITECTURA  
 INSTITUTO DE EXTENSIÓN E INVESTIGACIÓN - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS  
 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: 2008M6336



**ENSAYO DE COMPRESION EN BAMBU DE LA ESPECIE *GUADUA ANGUSTIFOLIA***

Fecha: 12/09/2011      Muestra: AC03I      Longitud L (mm): 99.50

Área sección transversal (cm<sup>2</sup>): 53.71



Esta probeta solo fue ensayada a carga última pues el dispositivo para medir deformación es muy grande

CARGA ÚLTIMA (kg)	MÁQUINA
	21150

ESFUERZO ÚLTIMO	
(kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)
396,87	38,92

Contenido de humedad (%): 68.12      Temperatura ambiente (°C): 13.6 - 24.6

Fotos: Figura 25 y 26      Humedad ambiente (%): 38 - 83

Responsable: Andres F. Capera O y Wilson J. Erazo E.

**SIN ESCALA**

**ANEXO 11. Caracterización física de culmos de *Guadua angustifolia*.**

Tabla 34. Caracterización física de culmos de la zona A. Diámetros y espesores de cada una de las secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).

Sección Culmo	Inferior				Media				Superior			
	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$E_{inferior}$	$E_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$E_{inferior}$	$E_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$E_{inferior}$	$E_{superior}$
A1	10,90	10,98	2,10	1,86	10,31	10,45	1,39	1,12	10,51	9,58	1,21	1,30
			1,89	1,90			1,52	1,33			1,21	1,50
	11,05	11,21	2,00	1,70	10,60	10,31	1,45	1,12	10,25	9,51	1,10	1,51
			1,85	2,00			1,52	1,08			1,11	1,35
A2	11,70	11,75	1,91	1,32	11,82	10,35	1,81	1,20	10,70	9,60	1,59	0,93
			1,70	1,72			1,90	1,21			1,49	0,92
	11,55	11,38	1,78	1,49	11,80	10,60	1,82	1,19	10,43	9,40	1,30	0,89
			1,55	1,81			1,50	1,35			1,28	1,19
A3	11,68	11,60	2,16	1,42	11,32	10,90	1,95	1,15	10,62	9,61	1,46	1,51
			2,68	1,60			2,06	1,24			1,05	1,19
	11,22	10,88	2,20	1,91	11,32	10,69	1,84	1,11	11,00	9,61	1,54	1,21
			2,09	1,61			1,60	1,18			1,12	1,08
A4	10,30	10,75	2,57	1,38	10,38	9,02	1,08	0,89	9,11	7,33	1,10	0,78
			1,59	1,47			1,11	0,98			1,09	0,75
	10,52	10,39	1,79	1,33	10,31	9,22	1,06	1,07	9,26	7,67	1,20	0,78
			2,09	1,39			1,28	1,07			1,25	0,81
A5	11,62	11,36	1,70	1,15	11,52	10,34	1,10	0,94	10,51	8,84	0,94	1,20
			1,80	1,31			1,42	0,99			0,98	0,99
	11,78	11,51	1,88	1,16	11,24	10,46	1,43	0,94	10,52	9,02	1,17	0,97
			1,70	1,39			1,07	1,27			1,02	0,99

Tabla 34. (Continuación).

Sección Culmo	Inferior				Media				Superior			
	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$
A6	11,94	11,22	1,23	1,48	10,84	9,71	1,16	1,07	9,87	7,83	0,91	0,87
			1,48	1,61			1,14	0,83			0,94	0,92
	11,07	11,72	1,31	1,61	10,89	9,81	0,99	0,93	9,81	8,25	0,97	0,83
			1,67	1,31			1,20	0,86			0,99	0,78
A7	11,32	11,10	1,97	1,15	10,90	10,04	1,28	1,21	9,96	9,39	1,52	1,09
			1,92	1,28			1,49	0,89			1,30	1,11
	11,30	11,29	1,70	1,40	10,93	10,09	1,29	1,18	9,87	9,29	1,62	1,05
			1,50	1,42			1,33	1,25			1,48	1,21
A8	10,47	10,20	1,49	1,29	10,25	8,76	1,09	0,78	8,92	7,82	0,80	1,21
			1,33	1,11			1,08	0,69			0,72	1,30
	10,21	10,09	1,50	1,21	10,12	8,84	1,05	0,82	8,80	7,55	0,69	1,41
			1,20	1,20			1,22	0,68			0,88	0,92
A9	11,20	11,48	1,30	1,25	11,28	10,51	1,43	1,18	10,53	9,41	1,17	1,00
			1,72	1,40			1,29	1,91			0,96	0,87
	10,73	11,09	1,32	1,27	11,33	10,81	1,12	1,07	11,03	9,19	1,10	1,00
			1,79	1,25			1,34	1,06			1,25	0,97
A10	10,96	11,43	1,90	1,33	11,21	10,60	1,37	1,21	10,22	9,20	1,67	1,41
			2,00	1,42			1,27	1,10			1,60	1,43
	10,98	11,31	1,79	1,37	11,21	10,41	1,48	1,10	10,19	9,03	1,49	1,68
			1,99	1,33			1,28	1,33			1,30	1,07

Tabla 35. Caracterización física de culmos de la zona B. Diámetros y espesores de cada una de las secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).

Sección Culmo	Inferior				Media				Superior			
	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$
B1	10,49	10,65	-	1,61	10,60	8,29	1,91	0,90	8,32	8,40	0,98	0,77
			-	1,32			1,88	0,92			0,86	0,87
	10,29	10,49	-	1,31	11,00	8,20	1,79	1,20	8,40	7,90	0,98	0,83
			-	1,58			1,70	0,87			0,97	0,82
B2	9,30	10,21	-	1,31	8,92	6,65	1,33	0,98	6,48	4,21	0,78	0,92
			-	1,65			1,47	1,21			0,85	0,90
	9,25	10,10	-	1,41	8,91	6,44	1,28	1,04	6,32	4,38	0,97	0,77
			-	1,68			1,50	0,97			0,71	0,84
B3	10,51	10,23	-	1,68	9,43	7,68	1,42	1,19	7,52	5,29	1,10	1,00
			-	1,49			1,51	1,12			0,90	1,43
	10,58	10,27	-	1,60	9,57	8,00	1,34	1,18	7,76	5,39	0,93	1,10
			-	1,88			1,54	1,22			0,92	0,97
B4	-	8,71	-	1,78	8,58	7,48	0,87	0,82	7,70	6,09	0,79	-
			-	1,81			0,88	0,98			0,79	-
	-	8,90	-	1,90	8,64	7,39	1,00	0,88	7,49	5,88	0,78	-
			-	1,92			0,83	0,89			0,71	-
B5	10,26	9,72	-	1,65	9,12	7,07	1,97	1,27	6,90	-	1,09	-
			-	1,60			1,98	1,27			1,01	-
	10,37	9,79	-	1,87	9,31	7,24	1,60	1,08	6,88	-	0,98	-
			-	1,57			1,57	1,27			1,07	-

Tabla 35. (Continuación).

Sección Culmo	Inferior				Media				Superior			
	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$
B6	10,82	10,09	-	1,28	9,88	7,01	1,68	1,11	6,62	5,32	1,00	-
			-	1,51			1,68	1,05			0,97	-
	10,60	7,12	-	1,22	10,10	7,12	1,35	1,19	6,94	5,08	0,84	-
			-	1,41			1,70	1,12			0,95	-
B7	9,29	8,37	-	1,13	8,58	7,12	0,96	0,69	7,11	5,09	0,80	-
			-	1,05			1,22	0,75			0,71	-
	8,97	8,56	-	0,91	8,96	6,75	1,21	0,78	6,97	4,80	0,72	-
			-	1,19			0,99	0,66			0,78	-
B8	10,50	10,00	-	1,49	9,50	7,02	1,59	0,90	6,98	3,31	0,86	-
			-	1,71			1,28	0,81			0,86	-
	10,19	10,38	-	1,75	9,43	7,17	1,41	0,81	7,17	3,32	0,81	-
			-	1,45			1,22	0,90			0,86	-
B9	9,85	9,53	-	1,62	9,31	6,97	1,48	1,12	6,98	5,05	1,01	-
			-	1,58			1,50	1,28			1,03	-
	9,72	9,78	-	1,70	9,25	7,28	1,38	1,12	6,91	4,88	1,00	-
			-	1,60			1,52	1,29			1,04	-
B10	-	-	-	1,22	-	-	1,42	1,02	-	-	0,89	0,80
			-	1,30			1,30	0,96			0,99	0,80
	-	-	-	1,20	-	-	1,22	1,00	-	-	0,91	0,72
			-	1,38			1,51	1,21			0,98	0,96

Tabla 36. Caracterización física de culmos de la zona C. Diámetros y espesores de cada una de las secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).

Sección Culmo	Inferior				Media				Superior			
	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$
C1	10,97	11,58	-	1,41	11,11	9,49	1,12	1,21	9,25	8,30	0,95	0,87
			-	1,37			1,32	1,05			1,09	1,10
	10,74	11,09	-	1,37	10,83	9,51	1,31	0,97	9,59	8,25	0,99	1,29
			-	1,48			1,31	0,95			0,88	0,97
C2	11,13	9,87	2,13	1,28	9,94	8,90	1,10	0,62	9,09	7,50	1,72	0,72
			2,30	1,22			1,52	0,72			1,07	1,00
	11,07	10,00	1,92	1,19	8,82	8,79	1,39	0,93	9,02	7,40	0,97	0,78
			1,93	1,27			1,12	0,97			0,92	0,99
C3	10,50	10,32	-	1,47	10,30	9,03	1,40	0,97	9,27	7,57	0,99	0,90
			-	1,60			1,40	1,00			1,02	0,90
	10,35	10,30	-	1,61	10,28	9,20	1,37	0,88	9,12	7,49	0,97	0,91
			-	1,90			1,55	1,10			1,12	0,96
C4	9,97	10,30	-	1,52	10,27	9,93	1,35	0,89	9,80	8,11	1,19	0,80
			-	1,52			1,56	1,05			1,20	0,72
	10,00	10,40	-	1,72	10,49	9,72	1,62	1,20	10,30	8,21	1,10	1,02
			-	1,71			1,37	1,21			1,00	0,92
C5	10,19	9,96	-	1,71	10,20	8,47	-	0,75	8,52	7,20	0,87	0,89
			-	1,72			-	0,97			0,93	0,79
	9,90	10,17	-	1,43	10,07	9,57	-	0,75	8,50	6,93	0,85	0,80
			-	1,60			-	0,75			0,91	0,80

Tabla 36. (Continuación).

Sección Culmo	Inferior				Media				Superior			
	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$
C6	10,99	11,52	-	1,93	11,13	10,00	2,07	0,97	9,98	8,12	0,96	0,91
			-	1,78			2,12	0,97			0,97	0,96
	10,78	11,39	-	1,90	11,12	9,74	1,74	1,09	10,14	8,98	0,98	0,97
			-	1,59			1,97	1,00			0,97	0,93
C7	11,07	10,69	-	1,38	10,57	9,07	1,19	0,85	9,37	7,96	0,87	0,78
			-	1,18			1,36	1,19			1,15	1,03
	10,59	10,68	-	1,17	10,84	9,52	1,44	0,82	9,16	7,41	0,96	0,95
			-	1,38			1,22	0,96			0,96	0,98
C8	11,49	11,29	-	1,57	11,25	9,69	1,53	0,91	9,91	8,01	0,98	0,69
			-	1,39			1,49	0,96			0,90	0,97
	11,22	11,21	-	1,48	11,57	10,00	1,32	1,01	9,72	8,09	1,03	0,69
			-	1,59			1,67	0,88			0,94	0,87
C9	10,80	10,67	-	1,80	10,62	9,39	2,21	1,12	9,19	7,37	1,03	0,92
			-	1,38			1,98	1,15			0,92	0,93
	10,69	10,72	-	1,39	10,47	9,37	2,09	1,04	9,21	7,26	1,03	0,72
			-	1,89			2,00	1,08			0,93	0,91
C10	12,01	11,47	1,83	1,27	11,51	10,00	1,20	0,98	9,72	8,52	0,99	0,97
			1,78	1,29			1,38	1,03			0,98	0,84
	11,98	11,48	1,80	1,28	11,43	10,27	1,33	0,98	9,87	8,49	0,97	0,82
			1,81	1,43			1,35	0,88			0,96	0,82

Tabla 37. Caracterización física de culmos de la zona D. Diámetros y espesores de cada una de las secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).

Sección Culmo	Inferior				Media				Superior			
	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$
D1	9,27	9,59	1,49	1,35	9,21	8,21	1,18	0,91	8,15	6,06	0,88	0,89
			1,52	1,30			1,37	0,90			0,95	0,95
	9,42	9,21	1,55	1,41	9,75	8,06	1,22	0,95	8,49	5,64	0,92	0,92
			1,22	1,09			1,41	0,89			0,94	0,94
D2	10,37	10,02	-	1,19	10,45	8,30	1,16	0,80	8,62	6,89	0,83	1,06
			-	1,01			1,05	0,85			0,76	0,77
	10,20	9,80	-	1,02	10,52	8,78	1,31	0,90	8,59	6,76	0,80	0,98
			-	1,12			1,05	0,76			0,88	1,07
D3	10,78	10,28	-	1,53	10,42	8,41	1,82	0,82	8,40	6,61	0,97	1,05
			-	1,57			1,56	0,96			0,89	1,60
	10,82	10,02	-	1,33	10,35	8,51	1,49	0,92	8,60	6,47	0,93	1,06
			-	1,46			1,48	0,92			0,92	1,16
D4	10,15	10,21	-	1,42	9,70	9,05	1,32	1,11	8,78	7,19	1,05	0,96
			-	1,30			1,38	0,98			1,08	0,95
	9,86	10,01	-	1,31	9,62	8,60	1,28	1,05	8,75	7,38	1,03	0,92
			-	1,38			1,27	1,02			1,02	0,91
D5	10,04	9,40	2,01	1,33	9,60	9,05	1,23	1,00	9,60	9,10	1,05	0,82
			2,00	1,39			1,37	0,99			1,07	0,82
	9,92	9,59	1,98	1,31	9,83	8,66	1,38	1,02	9,83	9,39	1,01	0,83
			1,99	1,51			1,32	0,96			1,49	0,92

Tabla 37. (Continuación).

Sección Culmo	Inferior				Media				Superior			
	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$
D6	9,62	9,18	1,61	0,95	9,06	8,50	0,89	0,74	8,31	7,09	0,81	0,78
			2,25	1,08			0,95	0,89			0,82	0,66
	9,32	9,17	1,40	0,96	9,11	8,35	0,99	0,88	8,26	7,05	0,75	0,72
			2,59	1,37			0,90	0,78			0,88	0,9
D7	10,98	10,80	1,89	1,40	10,82	9,82	1,46	1,11	10,16	8,22	1,12	0,81
			1,66	1,33			1,42	1,02			1,12	0,89
	11,22	10,96	1,81	1,60	11,19	10,26	1,62	1,12	10,14	8,21	1,20	0,97
			1,71	1,32			1,56	1,09			1,08	0,87
D8	9,62	9,95	2,06	1,39	9,39	7,92	1,08	0,80	8,12	6,79	0,82	0,70
			1,80	1,48			1,31	0,82			0,83	0,65
	10,16	10,16	1,73	1,46	9,40	8,92	1,22	0,90	8,10	6,89	0,95	0,78
			2,10	1,36			1,18	0,80			0,83	0,69
D9	9,29	8,12	-	1,06	8,01	6,58	0,88	0,71	6,75	5,12	0,71	-
			-	1,09			0,98	0,65			0,72	-
	9,66	8,20	-	1,06	8,16	6,63	1,07	0,70	6,63	5,20	0,69	-
			-	1,07			0,97	0,69			0,79	-
D10	9,02	8,39	2,11	1,11	8,52	7,60	0,96	0,91	7,65	6,39	1,88	0,65
			2,10	1,10			1,10	0,74			0,92	0,70
	9,11	8,78	2,12	1,09	8,50	7,61	1,18	0,82	7,65	6,59	0,99	0,68
			2,13	1,12			1,06	0,83			0,68	0,70

Tabla 38. Caracterización física de culmos de la zona E. Diámetros y espesores de cada una de las secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).

Sección Culmo	Inferior				Media				Superior			
	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$
E1	10,06	10,62	-	1,80	10,10	9,70	1,60	1,19	9,38	8,21	1,20	1,02
			-	1,60			1,42	1,26			1,40	0,99
	10,01	10,99	-	2,20	10,30	9,40	1,45	1,22	9,48	8,21	1,22	0,99
			-	1,95			1,40	1,08			1,20	0,92
E2	10,12	10,31	-	1,70	9,90	8,62	1,05	1,10	10,21	8,02	1,11	1,02
			-	1,21			1,00	1,21			1,31	1,11
	10,10	10,40	-	1,41	9,53	8,92	1,20	1,11	9,89	8,08	1,20	1,12
			-	1,48			1,18	1,09			1,21	1,08
E3	11,75	10,68	2,00	1,80	10,90	8,80	1,49	1,10	10,19	8,22	1,20	1,17
			2,22	1,49			1,45	1,17			1,12	1,05
	11,84	10,68	1,92	1,48	10,72	9,01	1,59	1,30	9,66	8,16	1,39	1,02
			2,29	1,47			1,47	1,18			1,22	1,08
E4	11,49	10,88	1,80	1,41	11,42	9,20	1,89	1,08	8,95	7,25	1,05	1,00
			2,11	1,60			1,45	1,00			1,20	1,08
	11,41	10,72	1,95	1,70	11,12	8,80	1,60	1,01	8,95	7,70	1,15	1,07
			1,95	1,59			1,81	1,01			1,02	1,00
E5	11,39	11,45	-	1,55	11,46	9,15	1,25	1,00	9,12	7,60	1,05	1,32
			-	1,42			1,23	0,95			1,05	1,28
	11,05	11,15	-	1,52	11,67	9,62	1,21	1,00	9,52	7,75	1,06	1,12
			-	1,43			1,31	1,00			1,11	1,30

Tabla 38. (Continuación).

Sección Culmo	Inferior				Media				Superior			
	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$	$\Phi_{inferior}$	$\Phi_{superior}$	$e_{inferior}$	$e_{superior}$
E6	12,60	13,72	-	2,25	13,10	11,22	1,85	1,49	11,01	9,70	1,21	1,10
			-	2,43			1,75	1,70			1,41	1,20
	12,80	13,39	-	2,22	13,00	11,12	2,02	1,51	11,50	9,90	1,31	1,10
			-	2,02			1,98	0,88			1,37	1,25
E7	12,10	11,72	2,10	1,49	11,93	10,19	1,50	1,25	10,70	8,90	1,12	1,05
			1,78	1,71			1,50	1,32			1,21	1,21
	12,09	12,20	1,89	1,55	12,25	10,50	1,49	1,15	10,21	9,01	1,30	1,21
			1,97	1,56			1,62	1,21			1,21	1,26
E8	11,19	10,85	-	1,21	10,70	9,62	1,31	1,03	9,88	8,10	1,21	0,98
			-	1,37			1,48	1,26			1,17	0,98
	11,21	10,83	-	1,38	10,92	9,87	1,51	1,07	10,04	8,02	1,20	0,94
			-	1,61			1,39	0,96			0,97	0,97
E9	13,21	12,95	1,68	1,90	12,71	11,79	1,76	1,38	12,21	10,80	1,71	1,83
			2,24	1,94			1,62	1,38			1,29	1,47
	13,11	13,01	2,32	1,78	12,62	11,66	1,77	1,42	11,94	10,60	1,49	1,31
			2,02	1,94			1,58	1,37			1,48	1,51
E10	12,92	13,04	-	1,69	13,44	10,97	1,55	1,72	10,22	9,30	1,13	1,15
			-	1,69			1,82	1,34			1,27	1,12
	13,11	12,77	-	1,62	13,33	10,89	1,57	1,35	10,48	9,28	1,22	1,28
			-	1,68			1,73	1,26			1,07	1,17

Tabla 39. Caracterización física de culmos de la zona A. Longitud de entrenudos (cm).

Entrenudo	Culmo									
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
1	20,00	22,15	16,80	19,88	14,22	20,15	23,85	20,00	20,15	20,00
2	20,50*	21,20	17,00	22,00	12,56	22,55	23,30	19,00	23,00	19,56*
3	22,00*	22,80*	18,00	21,78*	20,25	22,95	25,50*	21,00	22,10	21,00
4	22,90	22,00	20,00	23,82*	19,78	23,00	24,60	20,40	24,75	20,22
5	23,90	23,10	21,30	22,65	21,68*	25,00*	27,15	22,95	23,65	22,00
6	23,50	22,45	23,95*	25,00	20,98	23,00*	26,00	21,90*	26,75*	22,55
7	25,00	23,90	22,90*	25,00	23,00	23,15	28,85	24,00*	23,00	24,77
8	26,00	24,00	22,00	26,22	22,87	25,68	29,00	22,60	27,78	22,00
9	27,00	23,95	23,15	27,00	23,00	27,78	29,70*	23,10	23,00	25,55
10	29,00	25,15	25,00	28,32	25,00	27,34	31,80	25,95*	23,80	27,65
11	29,45	24,18	25,95	30,00	27,00*	30,00	33,00	25,70	23,00	27,78
12	31,15	26,73	29,00	33,00	26,35*	30,15	33,80	28,95	30,12	28,89
13	31,05	26,68	28,50*	32,55*	28,38	32,95	35,00	29,10	31,09	28,54
14	32,20	28,03	31,00*	35,15	28,25	32,25	34,00	32,00	31,08	32,45
15	33,15	29,47	32,45	33,10	30,75	35,00	31,10	30,90	34,00	33,00
16	35,00	31,36	33,00	36,10	31,78	34,00	31,15	34,00	36,00	35,25
17	37,00	34,03	34,45	34,78	32,68	35,58	35,00	33,00	36,25	35,35
18	36,90	36,05	36,00	36,12	33,00	34,94	36,90	34,00	36,78	36,45
19	36,03	36,00	34,00	34,78	34,15	36,12	39,00	33,15	37,00	32,55*
20	36,05	36,20*	34,20	36,48	34,00	36,00	35,50	33,60	38,78*	35,28*
21	36,55*	36,90*	37,15	35,12	35,00	34,18	40,00	33,95	36,33	35,65
22	31,25	35,60*	39,60	35,22	34,68	35,65*	42,65	36,00	36,15	33,12
23	36,48	38,00	35,60	36,88	35,88	36,00*	43,00*	34,05	37,00	35,22
24	36,18	36,50	38,00	36,00	34,55	34,68	42,75	36,75	37,65*	34,00
25	36,05	37,04	37,45	37,12	36,00*	35,55	53,00	35,95	36,12*	38,25
26	36,44	35,09	38,03	36,76	34,69	36,00	40,60	37,70*	36,98	38,45
27	36,35	35,14	39,01	38,88	36,44	35,95	43,00	36,50*	36,00	38,78
28	36,55	31,80	37,04	38,67*	34,55	37,00	43,20	39,00	36,85	38,15
29	35,70	30,90	38,80	36,40*	31,90	39,20	37,20	35,00	38,80	31,20
30	37,00	34,90	41,05		35,18			38,40		41,00
31		35,00	41,47		37,12			29,50		
32			42,08		36,10					

Las líneas entre columnas indican cambios de sección (inferior, media y superior).

\* Representa los lugares de corte de las probetas.

Tabla 40. Caracterización física de culmos de la zona B. Longitud de entrenudos (cm).

Entrenudo	Culmo									
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
1	17,80	11,00	9,57	12,00	10,00	12,70	17,10	10,00	11,00	12,50
2	19,35	11,00	10,54*	13,67	12,00	12,10	16,40	11,00	11,50	19,00
3	18,76	11,25	9,76*	13,58	11,00	12,60	17,90	10,50	11,30	17,00
4	18,69*	12,28	10,56	13,82	12,78*	12,50	17,00*	11,80	12,30	16,00*
5	18,78	13,55	9,78	12,79	11,00*	13,80	17,60	11,10	12,00	14,05*
6	19,35	14,65*	11,22	13,00*	14,00	13,00	14,60	15,00	14,30	19,50
7	20,00	14,20	10,65	12,00*	14,00	14,40	16,20	13,90	14,00	20,80
8	18,00	14,28	11,55	13,00	16,00	13,10	21,15	16,05*	16,00	21,70
9	19,65*	14,31	11,00	10,28	16,00	14,00	19,20	15,00*	15,00*	23,00*
10	16,25*	14,55	13,68	9,00	15,85	14,15	19,30	18,10	15,20	24,10
11	18,78	16,38	13,00	9,00	16,25	15,20	22,30	18,10	15,70	24,20
12	18,00	15,25	13,76	14,35	16,75	15,10	24,30*	19,60	16,30	25,10
13	22,35	17,00*	14,80	13,55	16,89	17,00	25,60	19,80	16,80	25,00
14	22,00	17,78*	13,56	17,45	17,68	16,50*	25,80	20,45	17,50	25,80
15	25,00	18,35	14,67	21,35	17,00	16,40	27,00	20,90	20,80	26,00
16	24,37	20,78	14,00	25,15	20,34	12,20	26,00	23,90	23,10	25,90
17	26,56	24,00	16,79	26,00	22,16*	16,80	25,30	24,00	24,60	27,00
18	26,87	24,79	17,00	26,28	24,00*	16,20	25,00	27,00	25,50	27,30
19	26,30	26,78	15,25	21,00	24,12	16,00	25,40	28,50	27,00	27,80
20	26,00	26,35	11,52	22,65	25,65	15,20	24,90	30,50	27,00	27,80
21	26,85	27,88	20,00	27,69	27,14	14,30	23,90	30,20	27,00	26,50
22	28,57	27,68	20,98	29,28	28,00	12,60	25,00	30,50	27,30	25,00
23	22,64	27,89	24,00	29,32	27,00	10,05	25,00	31,00	28,00	24,20
24	20,00	25,56	24,00*	29,22	28,29	9,80	25,00	30,00	26,00	26,00
25	28,35	25,44	27,58	29,98	27,00	10,09	27,90	29,00	24,20	28,00
26	27,45	23,00	29,65	33,00*	25,00	10,05	28,10	26,00	22,10	29,00
27	32,25	23,37	30,56	33,13*	23,00	10,00	29,10	22,80	20,10	30,50
28	33,68	21,56	30,57	32,87	20,19	14,20	27,00	23,00	18,00	32,00
29	36,67	19,76	29,37	33,69	18,78	18,05	25,00	25,10*	13,00	32,50
30	37,00	15,35	28,65	34,79*	15,00	24,00	25,20	25,10*	10,80	34,00
31	37,00	14,00	29,72	35,00	13,00	24,90	23,60*	24,00	12,20	33,00
32	37,56	15,56	30,76	34,45	12,00	25,00	19,50	20,00	17,60	33,80
33	37,57*	23,25	9,70	35,00	13,58	24,00	28,00	14,80	20,40*	32,00*
34		25,00*	32,98	28,12	18,00	25,20	29,20	12,30	24,20	30,20*
35		28,00	32,56	31,55	22,68	24,90	29,20	15,10	29,60	
36		30,85	34,65	31,20	26,78	26,00	31,05	18,70	30,60	
37		32,79	33,00		28,00	30,05*	33,90	17,50	30,00	
38		33,12	32,85		29,55	32,00*		16,00	31,00	
39		33,33	30,79*		29,19*	33,80		16,20	30,80	
40		32,65	31,75*		28,78	34,95		13,80	30,10	
41		31,98	30,82		26,78	35,50*		21,00	31,00	
42		32,00	30,89		28,87	35,60		24,20	33,70	
43					28,00	34,00		28,00		
44					29,65	35,00				
45						35,15				
46						35,90				
47						35,00				
48						34,10				

Tabla 41. Caracterización física de culmos de la zona C. Longitud de entrenudos (cm).

Entrenudo	Culmo									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
1	15,40	18,30	17,00	17,18	19,50	14,00	13,68	17,75	18,25	20,00
2	16,00	20,00*	18,00	17,20	20,00	16,58	13,98*	18,00	18,32	20,75*
3	17,70	20,50*	18,00	18,60	20,40	17,50	14,97	18,85	18,19	20,65
4	17,20	22,00	18,00*	18,70	20,00*	19,00	13,25	19,00*	19,58	22,00
5	17,60*	21,90	18,00	20,00	22,30*	18,55	16,15	18,00	19,75*	21,00
6	18,20*	23,20	18,00	20,50*	22,00	19,25	16,35	21,00	20,15*	21,45
7	19,10	22,10	19,90	22,00*	22,90	18,85*	15,15	20,85	20,00	21,75
8	20,00	21,00	19,00	23,00	22,00	18,18	19,65	22,15	21,78	23,75
9	22,00	24,90	21,00	22,00*	22,90	19,00	18,80	21,85	21,85	22,00
10	21,30*	28,10	21,00	24,20	22,90	20,05	21,00	23,95	23,68	26,55
11	24,00	28,00	23,40	24,50	25,00*	20,32	21,65*	23,00	24,65	27,15*
12	23,10	30,20	23,00*	26,10	25,00*	22,00	24,00	25,00	23,35*	29,22
13	26,50	30,00	26,00	26,60	27,40	22,85	25,35	24,87	33,00*	30,68
14	25,90	32,40	21,80	30,00	26,95	23,75	27,35	28,75	28,88	31,75
15	29,70	31,30	29,90	30,20	29,50	24,95	28,98	27,95	29,78	32,00
16	29,00	33,30	29,00	33,00	28,00	26,00	29,98	30,00*	30,05	32,65
17	32,10	32,00	31,90	31,50	30,60	27,79	29,98	30,00*	30,05	34,00
18	31,10	33,40	30,40	34,00	29,70	29,00	30,55	32,45	30,78	34,85
19	33,00	32,40	33,90	33,00	31,80	30,08	29,98	31,85	31,15	34,00
20	31,80	34,10	32,00	35,00	30,80	30,89	32,10	33,15	31,65	35,00
21	34,15	33,30*	24,00	33,90	32,00	31,09	31,55	32,65	31,00	33,15
22	33,00	34,00*	32,50	35,20	31,80	31,78	33,35	33,45	31,85	35,25
23	35,10	32,60	34,20	34,00	33,00	32,75	32,00	34,00	32,00	33,15
24	33,00	34,70	33,00	34,10	32,70	32,00	32,88	35,38	32,98	37,00
25	35,10	35,15	34,50	35,60	33,00	33,34	32,25	30,98	32,68	35,00*
26	33,20	35,90	30,80	34,50*	34,00*	33,88	32,98	35,25	33,35	35,75
27	35,05	36,80	32,50	36,00	35,00	34,79*	32,15	34,55	35,10*	35,25
28	33,30	37,00	31,00	35,80	35,00	34,25	33,00	35,89	34,25	36,00
29	32,20	37,40	32,40	37,00	36,50	32,25	32,65	35,75	36,65	36,00
30	35,80	39,00*	33,20	37,00	36,00	36,00*	33,98	37,00	37,75	35,55
31	36,20	39,50*	34,00	38,10	37,00	34,15*	33,10	36,65	37,68	36,55
32	36,30	38,80	30,00	38,00	36,00	35,12	34,35	36,45	37,45	37,00
33	36,00		31,40	39,00	37,85	35,15	35,65	35,15	39,69	
34	36,10*		34,00*	39,00	38,00	38,00	33,00	36,89*	39,98	
35	38,00*		37,00*	38,00	38,80	38,00	34,75*	36,58*	40,41	
36	39,50		37,00	39,00		38,78	35,00			
37	38,10		39,20			39,25	36,20			
38	38,50						35,85			

Tabla 42. Caracterización física de culmos de la zona D. Longitud de entrenudos (cm).

Entrenudo	Culmo									
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
1	21,75	20,00	21,90	20,00	19,80	20,75	21,00	21,15	20,25	19,85
2	22,00	19,00	20,50	20,55*	22,65*	21,35	23,55	22,35	20,75	21,00
3	22,15	20,00	23,00	22,35	22,10	21,00	23,00	22,89*	21,35	20,65
4	24,00	19,95*	22,10	221,98	24,55	20,00	25,95	23,00*	21,00*	21,95
5	23,25	20,35*	23,50*	23,55	24,90	22,88	25,14*	22,78	22,00*	21,25*
6	24,55*	20,85	23,50*	22,00	28,85	22,79*	27,75	23,00	23,00	22,00*
7	23,15	19,15	25,00	25,00	25,00	22,15	27,85	23,15	24,89	21,59
8	25,20	21,00	25,00	25,00	27,00	22,58	27,55	22,65	25,15	22,85
9	25,00	23,15	26,00*	25,20	26,90	25,25*	30,12	23,35	25,76	22,35
10	25,75	23,35	25,80	27,15	27,45	26,68*	30,65	24,87	28,00	22,15*
11	24,55*	24,00	27,50	27,90*	28,75	28,00	33,55	26,00	29,00	24,00
12	30,00	25,00	27,00	29,50	30,78	29,00	33,15*	27,45	29,00	27,00
13	31,55	26,00	29,00	30,50	29,68	30,00	35,12	28,00	30,00	28,65
14	32,00	26,88	30,50	31,65	32,50	31,00	36,00	29,00	30,98	30,25
15	32,00	27,65	32,75	29,10	33,10	31,00	36,25	28,25	32,78	32,95
16	31,00	28,00	33,10	31,75	35,55	33,00	36,58	28,00	30,88	35,00
17	32,00	30,00	35,85	34,00	34,15*	34,00	36,00	24,00	32,69	36,00
18	33,00	30,80	33,55	33,10	35,55*	34,00	36,88	20,00	31,56	37,45
19	32,90	30,15	33,65	36,20	35,90	33,00	37,00	23,54	38,35	38,65
20	33,10	31,75	32,50	36,10	37,40	35,00	33,75	29,00	32,88	39,00
21	32,75	32,35	33,00	36,15	37,00	35,00	32,81*	29,35*	32,75*	39,54
22	33,10	32,78*	33,55	36,98	37,01	36,00	29,55*	30,88*	31,87	39,15
23	34,00	33,38*	33,50	37,78*	38,80	34,55	26,58	34,78	32,88*	39,25*
24	36,00	31,85	34,00*	37,35*	38,00	35,38	25,00	34,35	32,00	42,00*
25	34,00	32,55	34,00	37,98	39,65	36,38*	32,65	34,98	32,99	41,00
26	35,10	29,55	33,98	36,55	38,20	38,80*	33,98	34,98	32,15	40,75
27	34,75	30,75	32,10	36,78	39,15*	37,25	35,35	36,00	32,12	40,76
28	35,00	31,00	32,68	35,10	37,10	38,95	34,00	34,97	32,87	41,85
29	33,88	32,00	31,50	33,30		38,85	36,78	36,15	31,88	38,95
30	33,98*	31,85	31,10					35,12	31,88	
31		33,15						36,35		
32		33,00						35,88*		
33		32,85								
34		32,75								
35		32,15								
36		34,50								

Tabla 43. Caracterización física de culmos de la zona E. Longitud de entrenudos (cm).

Culmo Entrenudo	Culmo									
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
1	16,50	12,90	15,70	16,70	14,00	15,30	18,00	13,00	16,70	15,50*
2	15,60	13,50	15,00	18,10	14,70	17,40*	18,80*	14,10	18,00	15,50*
3	17,50	13,20	16,80	18,00	14,80	17,20	19,00	13,70	17,70	16,50
4	15,80	14,00	17,00*	18,80	17,00	17,70	19,80	14,50	18,80*	16,30
5	19,50	14,70	19,30*	19,00*	16,70	18,10	19,20	14,80	20,00*	17,80
6	19,00	15,90	19,00	20,20*	17,30	19,20	21,40	15,90	19,40	17,70
7	20,70	17,00	21,20	19,80	17,40	19,,6	21,00	16,00	20,20	18,60
8	21,00*	17,80	21,70	18,50	18,80	19,00	22,30	17,00	21,20	18,70
9	23,20	17,80	23,40	22,30	18,90*	21,00	24,30	16,70	18,90	19,80
10	22,00*	18,70	26,80	23,10	21,70*	20,50	24,00	19,00	22,20	21,00
11	25,80*	19,90	28,70	26,00	20,90	21,40	27,50	18,60	24,10	20,00
12	29,00	22,70*	28,10	25,50	25,00	22,50*	27,20	20,70*	28,50	25,00
13	29,70	24,00	31,30	28,30	24,00	22,50	30,00	22,00	28,00	25,40*
14	32,30	22,70	31,00	27,70	27,30	25,80	30,90	23,30	30,80	26,30
15	31,90	27,00	32,80	29,50	25,30	25,90	33,00	24,30	31,30	28,10
16	33,40	27,00*	31,90	28,40	27,90	27,00	33,50	27,00	34,00	30,20
17	33,50	28,00*	34,00	30,00	27,40	28,30	33,10	26,80	33,90	30,20
18	34,00	27,70	32,90	30,40	28,50*	31,30	32,80	29,30*	35,90	31,00
19	35,80	30,70	34,60	31,80	27,70*	31,20	33,70	29,50*	35,00	32,30
20	35,70	30,00	32,60	31,40	30,00	33,90	33,80	31,00	36,90	31,60
21	35,00	31,70	34,80	32,00	29,00	34,20	34,70	30,70	36,00*	31,50
22	37,30	30,90	34,40*	32,00*	31,10	35,20	34,50*	32,00	36,80*	33,30
23	37,30	32,60	33,70	34,30	29,70	36,00	34,90	33,50	33,10	32,20
24	37,40	32,80	34,50	32,60	31,30	38,70	34,90	34,50	37,70	31,70
25	38,00	34,20	37,50	35,00	30,00	38,00	35,00	34,30	35,90*	30,20
26	37,30	34,20	36,90	36,00	32,20	40,00	34,80	34,40	36,00	30,00
27	37,80	35,00	38,20*	36,00	30,90	38,60*	35,20	33,90	38,01	31,30
28	35,00	34,70	38,00*	36,00	32,90	38,30*	35,30	35,90	38,80	31,40
29	35,70	30,90*	38,80	36,40*	31,90	39,20	37,20*	35,00	38,80	31,20
30	36,40	40,50*	39,20	37,00	33,70	38,10	38,20	34,30	39,40	33,50*
31	38,50*	42,20	40,10	39,00	33,00	39,60	39,30	31,00	39,50	36,40
32		41,00		39,70	35,60	39,70		35,00		36,00
33		42,30			34,00	40,20		37,00		38,80
34		41,00			36,90			35,30		39,70
35		43,00			35,90*			37,80		39,80
36		41,00			38,10*			36,50*		
37		42,30			34,00					

## ANEXO 12. Caracterización física de probetas de *Guadua angustifolia*.

No	Nomenclatura	NUDO	H <sub>1</sub> (cm)	H <sub>2</sub> (cm)	H <sub>3</sub> (cm)	H <sub>4</sub> (cm)	Φ <sub>11</sub> (cm)	Φ <sub>12</sub> (cm)	Φ <sub>21</sub> (cm)	Φ <sub>22</sub> (cm)	e <sub>11</sub> (cm)	e <sub>12</sub> (cm)	e <sub>13</sub> (cm)	e <sub>14</sub> (cm)	e <sub>21</sub> (cm)	e <sub>22</sub> (cm)	e <sub>23</sub> (cm)	e <sub>24</sub> (cm)	H <sub>prom</sub> (cm)	Φ <sub>prom</sub> (cm)	e <sub>prom</sub> (cm)
1	AC01I	SI	12,64	12,67	12,63	12,65	11,03	11,18	11,11	11,38	1,83	1,57	1,52	1,69	1,63	1,87	1,68	1,71	12,65	11,18	1,69
2	AC01M	NO	11,73	11,75	11,74	11,76	10,71	11,19	10,82	11,16	1,09	1,22	1,27	1,17	1,12	1,36	1,19	1,23	11,75	10,97	1,21
3	AC01S	NO	9,00	9,02	9,01	9,03	8,21	8,38	8,28	8,58	0,89	0,77	0,79	0,81	0,92	0,82	0,91	0,86	9,02	8,36	0,85
4	AC02I	NO	12,52	12,54	12,51	12,54	12,49	12,35	12,29	12,43	1,83	1,69	1,97	1,70	1,87	1,69	2,00	1,67	12,53	12,39	1,80
5	AC02M	SI	10,04	10,06	10,04	10,01	11,19	11,11	11,22	11,51	1,22	1,36	1,32	1,38	1,32	1,32	1,33	1,39	10,04	11,26	1,33
6	AC02S	NO	11,79	11,80	11,82	11,78	10,84	10,90	10,97	10,90	1,19	1,21	1,30	1,11	1,17	1,25	1,21	1,31	11,80	10,90	1,22
7	AC03I	SI	9,95	9,96	9,92	9,97	11,81	12,05	11,80	12,19	1,62	1,60	1,73	1,72	1,55	1,62	1,76	1,66	9,95	11,96	1,66
8	AC03M	SI	12,49	12,53	12,54	12,6	11,77	11,93	11,75	12,34	1,51	1,43	1,41	1,51	1,46	1,50	1,39	1,63	12,54	11,95	1,48
9	AC03S	SI	11,19	11,19	11,22	11,14	10,06	10,01	10,42	10,49	1,09	1,12	1,23	1,20	1,21	1,15	1,28	1,40	11,19	10,25	1,21
10	AC04I	SI	12,90	12,91	12,90	12,90	10,71	10,46	10,92	10,90	1,33	1,12	1,30	1,31	1,22	1,41	1,33	1,39	12,90	10,75	1,30
11	AC04M	NO	12,31	12,20	12,29	12,19	10,38	10,73	10,55	10,79	1,16	1,09	1,03	1,21	1,13	1,30	1,09	1,10	12,25	10,61	1,14
12	AC04S	NO	10,54	10,57	10,55	10,56	9,41	9,37	9,51	9,49	1,07	1,10	1,05	1,05	1,09	1,07	1,09	1,07	10,56	9,45	1,07
13	AC05I	NO	13,12	13,12	13,12	13,12	11,49	12,01	11,77	11,79	1,61	1,48	1,79	1,50	1,55	1,55	1,78	1,52	13,12	11,77	1,60
14	AC05M	SI	12,15	12,15	12,13	12,16	11,87	11,59	11,52	12,00	1,42	1,37	1,19	1,39	1,34	1,23	1,42	1,28	12,15	11,75	1,33
15	AC05S	NO	10,45	10,44	10,43	10,44	11,49	11,61	11,70	11,69	2,00	1,69	1,77	1,77	2,10	1,70	1,82	1,80	10,44	11,62*	1,83*
16	AC06I	SI	13,12	13,11	13,18	13,11	11,46	11,32	11,65	11,12	1,42	1,23	1,30	1,29	1,26	1,38	1,27	1,33	13,13	11,39	1,31
17	AC06M	SI	12,50	12,50	12,49	12,52	11,81	11,19	11,21	11,33	1,17	1,36	1,21	1,27	1,11	1,45	1,13	1,23	12,50	11,39	1,24
18	AC06S	SI	10,11	10,14	10,12	10,08	9,65	9,70	10,06	10,11	1,09	1,01	0,99	1,06	1,02	1,04	1,01	1,11	10,11	9,88	1,04
19	AC07I	NO	12,21	12,18	12,18	12,17	11,89	11,60	11,60	11,70	1,96	1,52	1,60	1,50	1,55	1,52	1,62	1,48	12,19	11,70	1,59
20	AC07M	NO	13,03	13,04	13,10	13,08	11,33	11,51	11,39	11,66	1,39	1,25	1,31	1,29	1,21	1,42	1,32	1,29	13,06	11,47	1,31
21	AC07S	NO	10,86	10,72	10,85	10,72	9,90	10,20	9,90	10,21	1,01	1,08	1,09	1,00	1,10	1,00	1,25	1,00	10,79	10,05	1,07
22	AC08I	SI	10,98	10,99	11,01	11,03	10,32	10,55	10,65	10,56	1,32	1,13	1,23	1,19	1,26	1,21	1,35	1,21	11,00	10,52	1,24
23	AC08M	NO	11,18	11,21	11,21	11,19	10,63	10,67	10,46	10,39	1,13	1,04	1,20	1,09	1,03	1,13	1,27	1,09	11,20	10,54	1,12
24	AC08S	SI	9,27	9,23	9,22	9,31	8,42	8,51	8,77	8,76	0,89	0,86	0,80	0,86	0,79	0,90	0,90	0,82	9,26	8,62	0,85
25	AC09I	NO	12,18	12,17	12,17	12,15	11,48	11,69	11,68	11,60	1,24	1,63	1,44	1,51	1,28	1,64	1,43	1,57	12,17	11,61	1,47
26	AC09M	NO	12,60	12,71	12,58	12,78	10,97	11,18	11,03	11,04	1,30	1,08	1,29	1,05	1,27	1,10	1,22	1,08	12,67	11,06	1,17

No	Nomenclatura	NUDO	H <sub>1</sub> (cm)	H <sub>2</sub> (cm)	H <sub>3</sub> (cm)	H <sub>4</sub> (cm)	Φ <sub>11</sub> (cm)	Φ <sub>12</sub> (cm)	Φ <sub>21</sub> (cm)	Φ <sub>22</sub> (cm)	e <sub>11</sub> (cm)	e <sub>12</sub> (cm)	e <sub>13</sub> (cm)	e <sub>14</sub> (cm)	e <sub>21</sub> (cm)	e <sub>22</sub> (cm)	e <sub>23</sub> (cm)	e <sub>24</sub> (cm)	H <sub>prom</sub> (cm)	Φ <sub>prom</sub> (cm)	e <sub>prom</sub> (cm)
27	AC09S	SI	10,87	10,85	10,80	10,85	10,31	10,20	10,65	10,73	1,08	1,02	1,02	1,12	1,23	1,08	1,10	1,11	10,84	10,47	1,10
28	AC10I	NO	12,69	12,69	12,69	12,68	11,49	11,61	11,70	11,69	2,00	1,69	1,77	1,77	2,10	1,70	1,82	1,80	12,69	11,62	1,83
29	AC10M	SI	11,96	11,98	11,94	11,93	10,98	10,90	11,18	11,03	1,20	1,29	1,32	1,21	1,29	1,21	1,37	1,31	11,95	11,02	1,28
30	AC10S	SI	9,48	9,40	9,43	9,40	9,19	9,20	9,40	9,59	1,16	1,03	1,14	1,09	1,13	1,18	1,17	1,07	9,43	9,35	1,12
31	BC01I	NO	11,90	11,91	11,91	11,95	10,71	10,89	10,90	10,90	1,47	1,50	1,65	1,50	2,09	2,09	1,91	1,57	11,92	10,85	1,72
32	BC01M	SI	10,99	10,97	10,99	11,01	10,20	10,21	10,20	10,38	1,19	1,45	1,30	1,31	1,47	1,23	1,19	1,39	10,99	10,25	1,32
33	BC01S	NO	8,29	8,28	8,29	8,30	7,68	7,79	7,81	7,73	0,80	0,89	0,86	0,81	0,84	0,87	0,86	0,87	8,29	7,75	0,85
34	BC02I	NO	9,50	9,49	9,53	9,54	9,71	9,76	9,99	9,89	1,73	1,61	1,62	1,51	1,50	1,92	1,82	1,53	9,52	9,84	1,66
35	BC02M	SI	10,99	11,00	11,00	10,98	9,06	8,94	9,35	9,10	1,46	1,24	1,42	1,37	1,48	1,29	1,50	1,31	10,99	9,11	1,38
36	BC02S	NO	7,40	7,35	7,36	7,38	6,62	6,59	6,55	6,48	0,90	0,82	0,99	0,86	0,90	0,89	0,93	0,85	7,37	6,56	0,89
37	BC03I	SI	10,40	10,41	10,42	10,43	10,87	10,83	10,89	11,26	1,91	1,83	1,94	1,62	1,89	1,89	2,11	1,61	10,42	10,96	1,85
38	BC03M	NO	8,02	7,97	8,05	7,98	8,69	8,69	8,58	8,63	1,21	1,15	1,20	1,30	1,21	1,27	1,16	1,46	8,01	8,65	1,25
39	BC03S	SI	7,31	7,32	7,28	7,29	6,06	5,42	6,62	6,53	1,07	0,82	0,96	0,99	0,95	0,90	0,97	1,07	7,30	6,16*	0,97*
40	BC04I	SI	9,82	9,83	9,84	9,92	9,17	9,03	9,32	9,45	1,32	1,47	1,50	1,30	1,35	1,60	1,54	1,38	9,85	9,24	1,43
41	BC04M	SI	7,60	7,60	7,65	7,55	7,83	7,68	8,01	7,86	1,06	1,00	1,15	1,07	0,98	0,92	1,03	1,02	7,60	7,85	1,03
42	BC04S	NO	8,06	8,01	8,07	7,99	7,70	7,48	7,55	7,57	0,98	0,95	0,95	0,92	0,90	1,00	1,00	1,09	8,03	7,58	0,97
43	BC05I	SI	10,30	10,37	10,37	10,36	10,16	10,01	10,31	10,43	1,81	1,62	1,62	1,82	1,81	1,80	1,82	1,57	10,35	10,23	1,73
44	BC05M	SI	10,65	10,60	10,65	10,63	8,99	9,23	9,27	9,04	1,34	1,31	1,25	1,32	1,30	1,57	1,23	1,47	10,63	9,13	1,35
45	BC05S	NO	6,42	6,43	6,47	6,42	5,83	5,66	5,81	5,68	0,76	0,69	0,69	0,62	0,82	0,77	0,74	0,79	6,44	5,75	0,74
46	BC06I	NO	9,92	9,94	9,95	9,94	10,22	10,19	10,40	10,37	1,31	1,57	1,43	1,47	1,59	1,43	1,46	1,50	9,94	10,30	1,47
47	BC06M	SI	7,01	7,06	7,04	7,08	6,86	7,11	7,40	7,52	0,97	1,07	0,98	1,00	0,89	1,01	0,97	1,01	7,05	7,22	0,99
48	BC06S	SI	5,65	5,70	5,71	5,70	6,38	6,81	7,01	7,06	1,05	0,99	0,93	0,95	1,09	1,05	1,16	1,00	5,69	6,82	1,03
49	BC07I	NO	9,48	9,49	9,49	9,50	9,18	8,92	9,25	9,21	1,29	1,42	1,29	1,10	1,51	1,13	1,48	1,13	9,49	9,14	1,29
50	BC07M	NO	9,27	9,26	9,28	9,28	9,10	9,36	9,20	9,21	1,11	1,07	1,03	1,19	1,08	1,18	1,03	1,22	9,27	9,22	1,11
51	BC07S	NO	6,92	6,88	6,86	6,87	6,20	6,18	6,25	6,16	0,71	0,68	0,62	0,68	0,69	0,70	0,68	0,72	6,88	6,20	0,69
52	BC08I	SI	11,05	11,03	11,10	11,09	10,37	10,57	10,61	10,69	1,46	1,77	1,69	1,72	1,49	1,74	1,62	1,53	11,07	10,56	1,63
53	BC08M	NO	8,80	8,83	8,80	8,88	8,62	8,41	8,51	8,41	1,09	1,11	1,09	1,15	1,10	1,12	1,15	1,12	8,83	8,49	1,12
54	BC08S	SI	7,15	7,08	7,12	7,09	6,88	6,77	7,21	7,12	0,95	0,96	0,96	0,94	0,96	0,97	1,00	0,88	7,11	7,00	0,95
55	BC09I	NO	8,57	8,58	8,61	8,56	9,58	9,88	9,58	9,72	1,52	1,40	1,40	1,50	1,55	1,38	1,43	1,52	8,58	9,69	1,46

No	Nomenclatura	NUDO	H <sub>1</sub> (cm)	H <sub>2</sub> (cm)	H <sub>3</sub> (cm)	H <sub>4</sub> (cm)	Φ <sub>11</sub> (cm)	Φ <sub>12</sub> (cm)	Φ <sub>21</sub> (cm)	Φ <sub>22</sub> (cm)	e <sub>11</sub> (cm)	e <sub>12</sub> (cm)	e <sub>13</sub> (cm)	e <sub>14</sub> (cm)	e <sub>21</sub> (cm)	e <sub>22</sub> (cm)	e <sub>23</sub> (cm)	e <sub>24</sub> (cm)	H <sub>prom</sub> (cm)	Φ <sub>prom</sub> (cm)	e <sub>prom</sub> (cm)
56	BC09M	NO	10,19	10,15	10,09	10,10	9,62	9,19	9,43	9,29	1,16	1,32	1,25	1,29	1,23	1,24	1,33	1,39	10,13	9,38	1,28
57	BC09S	NO	7,52	7,49	7,49	7,49	7,17	7,33	7,43	7,23	0,93	1,01	0,98	0,99	0,95	0,99	1,03	0,99	7,50	7,29	0,98
58	BC10I	SI	9,60	9,65	9,60	9,63	9,40	9,31	9,29	9,49	1,32	1,46	1,32	1,46	1,42	1,25	1,35	1,30	9,62	9,37	1,36
59	BC10M	NO	9,79	9,75	9,75	9,74	9,40	9,39	9,40	9,22	1,20	1,27	1,30	1,21	1,20	1,32	1,24	1,30	9,76	9,35	1,26
60	BC10S	SI	7,42	7,48	7,48	7,49	6,72	6,95	6,96	7,05	0,82	0,80	0,79	0,78	0,79	0,82	0,82	0,78	7,47	6,92	0,80
61	CC01I	SI	12,84	12,79	12,84	12,80	11,41	11,69	11,83	11,31	1,32	1,67	1,43	1,65	1,51	1,44	1,32	1,69	12,82	11,56	1,50
62	CC01M	NO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	CC01S	SI	9,86	9,82	9,79	9,82	9,48	9,53	9,77	9,66	1,02	0,90	1,09	1,04	1,07	1,00	1,14	1,03	9,82	9,61	1,04
64	CC02I	SI	11,65	11,61	11,62	11,65	10,89	11,19	11,23	11,07	1,56	1,36	1,69	1,23	1,62	1,32	1,35	1,63	11,63	11,10	1,47
65	CC02M	SI	10,00	9,98	9,99	9,98	9,28	9,29	9,36	9,42	0,84	0,92	0,86	1,00	1,05	0,89	1,02	1,00	9,99	9,34	0,95
66	CC02S	SI	8,78	8,86	8,86	8,80	8,03	8,00	8,17	8,21	0,92	0,88	0,83	0,86	0,96	0,82	0,88	0,86	8,83	8,10	0,88
67	CC03I	NO	10,55	10,57	10,57	10,49	10,72	10,60	10,94	10,52	1,38	1,47	1,26	1,57	1,42	1,43	1,28	1,60	10,55	10,70	1,43
68	CC03M	NO	10,22	10,14	10,21	10,15	10,83	10,82	10,80	10,72	1,18	1,11	1,26	1,15	1,17	1,08	1,15	1,15	10,18	10,79	1,16
69	CC03S	SI	8,99	8,98	9,00	9,01	8,43	8,17	8,60	8,37	0,93	1,11	0,98	0,98	0,92	0,99	0,98	1,03	9,00	8,39	0,99
70	CC04I	SI	11,42	11,43	11,40	11,41	10,55	10,72	10,61	10,48	1,37	1,49	1,66	1,31	1,49	1,39	1,63	1,30	11,42	10,59	1,46
71	CC04M	NO	10,99	10,95	10,93	10,93	10,90	10,76	10,76	10,83	1,47	1,23	1,33	1,43	1,50	1,53	1,47	1,30	10,95	10,81	1,41
72	CC04S	NO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
73	CC05I	SI	10,66	10,67	10,64	10,67	10,43	10,33	10,39	10,26	1,39	1,17	1,52	1,16	1,50	1,26	1,29	1,38	10,66	10,35	1,33*
74	CC05M	SI	10,96	10,97	10,98	10,99	9,81	9,94	10,04	9,95	1,05	1,18	1,23	1,04	1,29	1,06	1,11	1,11	10,98	9,94	1,13
75	CC05S	NO	9,32	9,30	9,30	9,32	8,62	8,66	8,62	8,63	0,73	0,83	0,80	0,86	0,82	0,88	0,83	0,79	9,31	8,63	0,82
76	CC06I	NO	12,22	12,22	12,16	12,21	11,83	11,90	12,05	12,07	1,49	1,71	1,48	1,61	1,81	1,60	1,40	1,73	12,20	11,96	1,60
77	CC06M	NO	11,16	11,14	11,20	11,12	10,92	11,17	10,99	11,31	1,08	1,19	1,09	1,12	1,00	1,19	1,10	1,11	11,16	11,10	1,11
78	CC06S	SI	10,95	10,90	10,90	10,95	10,10	10,06	10,25	10,32	0,95	0,99	0,93	1,03	0,92	1,06	0,98	1,10	10,93	10,18	1,00
79	CC07I	NO	11,52	11,50	11,50	11,52	11,49	11,19	11,50	11,19	1,49	1,81	1,71	1,62	1,49	2,03	1,78	1,80	11,51	11,34	1,72*
80	CC07M	NO	11,01	11,05	11,02	11,10	10,82	11,00	10,87	11,01	1,19	1,31	1,22	1,40	1,12	1,29	1,16	1,33	11,05	10,93	1,25
81	CC07S	NO	8,59	8,69	8,60	8,65	8,60	8,71	8,61	8,70	0,92	0,80	0,80	0,92	0,80	1,00	0,83	0,91	8,63	8,66	0,87
82	CC08I	NO	11,54	11,57	11,53	11,69	11,70	12,08	11,71	12,00	1,50	1,77	1,83	1,50	1,91	1,87	1,51	1,83	11,58	11,87	1,72
83	CC08M	SI	12,07	12,05	12,05	12,09	10,96	10,85	11,09	11,09	1,27	1,23	1,30	1,19	1,22	1,29	1,23	1,29	12,07	11,00	1,25
84	CC08S	SI	8,59	8,66	8,61	8,50	8,72	8,56	9,02	8,83	0,87	0,98	0,91	0,89	0,96	0,99	0,99	0,97	8,59	8,78	0,95

No	Nomenclatura	NUDO	H <sub>1</sub> (cm)	H <sub>2</sub> (cm)	H <sub>3</sub> (cm)	H <sub>4</sub> (cm)	Φ <sub>11</sub> (cm)	Φ <sub>12</sub> (cm)	Φ <sub>21</sub> (cm)	Φ <sub>22</sub> (cm)	e <sub>11</sub> (cm)	e <sub>12</sub> (cm)	e <sub>13</sub> (cm)	e <sub>14</sub> (cm)	e <sub>21</sub> (cm)	e <sub>22</sub> (cm)	e <sub>23</sub> (cm)	e <sub>24</sub> (cm)	H <sub>prom</sub> (cm)	Φ <sub>prom</sub> (cm)	e <sub>prom</sub> (cm)
85	CC09I	SI	12,15	12,13	12,20	12,20	11,04	11,08	11,19	10,90	1,62	1,28	1,52	1,39	1,62	1,32	1,67	1,35	12,17	11,05	1,47
86	CC09M	SI	10,79	10,90	10,88	10,80	10,53	10,44	10,60	10,52	1,26	1,19	1,28	1,28	1,17	1,33	1,19	1,35	10,84	10,52	1,26
87	CC09S	NO	9,75	9,70	9,72	9,75	9,31	9,23	9,29	9,39	1,06	0,87	0,89	0,88	0,87	1,04	0,90	0,96	9,73	9,31	0,93
88	CC10I	NO	11,47	11,47	11,48	11,48	11,91	12,09	11,89	12,09	1,59	1,43	1,32	1,60	1,33	1,61	1,31	1,50	11,48	12,00	1,46
89	CC10M	SI	12,11	12,09	12,13	12,10	11,53	11,61	11,59	11,53	1,26	1,47	1,41	1,29	1,46	1,22	1,33	1,26	12,11	11,57	1,34
90	CC10S	NO	10,31	10,33	10,37	10,38	10,10	10,09	10,13	10,20	0,93	0,97	0,98	0,99	0,92	0,96	0,91	1,01	10,35	10,13	0,96
91	DC01I	NO	10,49	10,51	10,48	10,49	9,61	9,71	9,79	9,71	1,45	1,37	1,38	1,29	1,46	1,40	1,39	1,51	10,49	9,71	1,41
92	DC01M	NO	10,81	10,91	10,79	10,89	9,68	9,45	9,59	9,52	1,18	1,18	1,30	1,10	1,21	1,21	1,15	1,38	10,85	9,56	1,21
93	DC01S	NO	7,41	7,38	7,39	7,38	6,48	6,20	6,56	6,32	0,88	0,89	0,88	0,88	0,88	0,80	0,86	0,83	7,39	6,39	0,86
94	DC02I	SI	11,06	11,00	11,06	11,07	10,97	10,57	10,69	10,92	1,23	1,39	1,32	1,30	1,17	1,50	1,37	1,40	11,05	10,79	1,34
95	DC02M	SI	9,31	9,37	9,35	9,38	9,06	8,78	8,90	9,16	0,88	0,90	0,86	0,99	0,96	0,89	0,85	0,94	9,35	8,98	0,91
96	DC02S	SI	7,70	7,71	7,75	7,70	8,73	8,71	8,70	8,82	0,85	0,92	1,01	0,89	0,89	0,90	0,99	0,87	7,72	8,74	0,92
97	DC03I	SI	10,80	10,81	10,80	10,80	10,83	11,02	11,06	10,86	1,65	1,85	1,67	1,69	1,78	1,72	1,73	1,72	10,80	10,94	1,73
98	DC03M	NO	12,20	12,25	12,26	12,24	10,57	10,49	10,67	10,56	1,47	1,58	1,52	1,49	1,40	1,47	1,54	1,53	12,24	10,57	1,50
99	DC03S	NO	9,03	9,04	9,02	9,03	8,19	8,33	8,20	8,21	0,93	0,99	0,93	0,95	0,98	0,96	1,01	1,00	9,03	8,23	0,97
100	DC04I	NO	10,49	10,51	10,52	10,55	10,30	10,34	10,23	10,29	1,68	1,75	1,74	1,70	1,60	1,78	1,63	1,70	10,52	10,29	1,70
101	DC04M	SI	11,27	11,32	11,35	11,34	10,16	10,36	10,25	10,38	1,27	1,34	1,40	1,31	1,37	1,34	1,42	1,30	11,32	10,29	1,34
102	DC04S	SI	9,82	9,89	9,88	9,88	8,96	8,68	9,06	9,17	1,17	1,12	1,20	1,19	1,24	1,18	1,21	1,20	9,87	8,97	1,19
103	DC05I	NO	11,23	11,23	11,22	11,19	10,13	10,04	10,22	10,10	1,72	1,72	1,76	1,71	1,89	1,71	1,80	1,78	11,22	10,12	1,76
104	DC05M	SI	10,49	10,51	10,48	10,49	9,30	9,37	9,60	9,52	1,26	1,35	1,29	1,11	1,23	1,21	1,37	1,20	10,49	9,45	1,25
105	DC05S	NO	8,51	8,52	8,50	8,51	7,77	7,98	7,89	7,92	0,95	0,96	0,94	0,96	0,95	0,99	0,95	1,03	8,51	7,89	0,97
106	DC06I	NO	9,22	9,23	9,22	9,22	9,42	9,80	9,50	9,79	1,19	1,05	1,01	1,24	1,05	1,27	1,12	1,25	9,22	9,63	1,15
107	DC06M	SI	11,61	11,65	11,69	11,65	9,51	9,61	9,92	9,63	1,13	1,08	1,18	0,98	1,09	1,11	1,12	1,03	11,65	9,67	1,09
108	DC06S	SI	8,29	8,31	8,32	8,30	8,22	8,05	8,29	8,28	0,91	0,98	1,01	0,90	0,88	0,96	1,09	0,92	8,31	8,21	0,96
109	DC07I	NO	11,99	11,82	11,92	11,85	10,90	11,50	11,06	11,48	1,58	1,70	1,58	1,81	1,60	1,69	1,62	1,77	11,90	11,24	1,67
110	DC07M	NO	12,43	12,47	12,50	12,50	11,03	11,70	11,26	11,41	1,50	1,37	1,56	1,43	1,37	1,49	1,51	1,40	12,48	11,35	1,45
111	DC07S	SI	10,97	11,01	11,04	11,08	9,81	9,76	10,23	10,31	1,17	1,09	1,03	1,11	1,18	1,38	1,26	1,29	11,03	10,03	1,19
112	DC08I	SI	10,52	10,54	10,55	10,52	10,23	10,25	10,11	10,45	1,23	1,48	1,31	1,31	1,29	1,59	1,41	1,39	10,53	10,26	1,38
113	DC08M	SI	9,02	8,99	8,98	9,01	8,70	8,78	8,64	8,65	1,14	1,08	0,92	1,03	1,06	0,98	1,01	1,03	9,00	8,69	1,03

No	Nomenclatura	NUDO	H <sub>1</sub> (cm)	H <sub>2</sub> (cm)	H <sub>3</sub> (cm)	H <sub>4</sub> (cm)	Φ <sub>11</sub> (cm)	Φ <sub>12</sub> (cm)	Φ <sub>21</sub> (cm)	Φ <sub>22</sub> (cm)	e <sub>11</sub> (cm)	e <sub>12</sub> (cm)	e <sub>13</sub> (cm)	e <sub>14</sub> (cm)	e <sub>21</sub> (cm)	e <sub>22</sub> (cm)	e <sub>23</sub> (cm)	e <sub>24</sub> (cm)	H <sub>prom</sub> (cm)	Φ <sub>prom</sub> (cm)	e <sub>prom</sub> (cm)
114	DC08S	NO	8,22	8,21	8,25	8,24	7,27	7,32	7,32	7,36	0,87	0,79	0,81	0,81	0,77	0,79	0,81	0,82	8,23	7,32	0,81
115	DC09I	SI	9,39	9,32	9,39	9,39	8,79	8,73	8,80	8,85	1,12	1,12	1,19	1,02	1,10	1,11	1,17	1,09	9,37	8,79	1,12
116	DC09M	NO	6,69	6,70	6,68	6,70	6,89	7,28	7,01	7,17	0,69	0,73	0,77	0,71	0,79	0,79	0,71	0,80	6,69	7,09	0,75
117	DC09S	NO	6,36	6,37	6,35	6,38	6,68	6,71	6,71	6,78	0,70	0,80	0,69	0,73	0,80	0,81	0,80	0,81	6,37	6,72	0,77
118	DC10I	SI	9,88	9,81	9,85	9,80	9,12	9,22	9,16	9,05	1,45	1,39	1,51	1,30	1,29	1,39	1,39	1,30	9,84	9,14	1,38
119	DC10M	NO	9,14	9,15	9,16	9,17	8,85	9,02	8,93	9,03	1,23	1,19	1,25	1,13	1,29	1,13	1,29	1,11	9,16	8,96	1,20
120	DC10S	SI	9,02	9,09	9,03	8,99	7,70	7,56	7,79	7,82	0,96	0,92	1,03	0,90	0,88	0,93	0,97	0,88	9,03	7,72	0,93
121	EC01I	NO	11,32	11,30	11,32	11,31	10,22	10,32	10,19	10,20	1,79	1,46	1,53	1,62	1,86	1,49	1,71	1,70	11,31	10,23	1,65
122	EC01M	SI	10,97	10,95	10,97	11,00	10,62	10,69	10,79	10,72	1,47	1,49	1,62	1,31	1,72	1,43	1,42	1,57	10,97	10,71	1,50
123	EC01S	NO	9,81	9,81	9,81	9,82	8,57	8,68	8,67	8,69	1,01	1,08	1,04	1,00	1,05	1,11	1,01	1,07	9,81	8,65	1,05
124	EC02I	NO	11,88	11,89	11,89	11,91	10,19	10,52	10,34	10,68	1,07	1,30	1,19	1,21	1,11	1,26	1,18	1,31	11,89	10,43	1,20
125	EC02M	SI	11,47	11,44	11,48	11,47	10,11	10,33	10,52	10,63	1,13	1,22	1,13	1,27	1,02	1,23	1,21	1,20	11,47	10,40	1,18
126	EC02S	SI	11,11	11,10	11,12	11,12	9,64	9,51	10,29	10,13	1,16	1,28	1,29	1,17	1,21	1,29	1,29	1,27	11,11	9,89	1,25
127	EC03I	SI	13,06	13,02	13,07	13,03	11,40	11,38	11,29	11,20	1,64	1,80	1,79	1,81	1,80	1,65	1,62	1,87	13,05	11,32	1,75
128	EC03M	NO	10,21	10,22	10,20	10,20	9,23	9,13	9,21	9,21	1,12	1,13	1,23	1,11	1,21	1,16	1,24	1,29	10,21	9,20	1,19
129	EC03S	SI	7,16	7,12	7,12	7,13	8,03	7,88	8,20	8,21	1,20	1,18	1,22	1,24	1,08	1,14	1,26	1,07	7,13	8,08	1,17
130	EC04I	SI	12,12	12,12	12,19	12,19	11,12	11,16	11,14	11,46	1,62	1,49	1,66	1,51	1,68	1,63	1,47	1,68	12,16	11,22	1,59
131	EC04M	NO	11,12	11,11	11,11	11,11	9,72	9,32	9,62	9,35	1,12	1,08	1,07	1,20	1,14	1,18	1,09	1,22	11,11	9,50	1,14
132	EC04S	NO	9,01	9,02	9,01	9,02	8,61	8,87	8,60	8,89	0,97	1,14	1,06	1,03	0,99	1,10	1,06	1,03	9,02	8,74	1,05
133	EC05I	SI	12,26	12,20	12,23	12,20	11,97	12,06	12,20	12,20	1,63	1,43	1,66	1,49	1,48	1,71	1,67	1,49	12,22	12,11	1,57
134	EC05M	SI	11,42	11,43	11,40	11,43	11,34	11,29	11,50	11,67	1,41	1,30	1,38	1,47	1,37	1,28	1,60	1,32	11,42	11,45	1,39
135	EC05S	SI	8,40	8,35	8,39	8,34	7,80	8,00	8,23	8,27	1,07	1,15	1,26	1,09	1,09	1,06	1,07	1,05	8,37	8,08	1,11
136	EC06I	NO	13,14	13,11	13,12	13,12	13,77	13,70	13,74	13,43	2,20	2,44	2,51	2,37	2,51	2,21	2,59	2,35	13,12	13,66	2,40
137	EC06M	NO	13,17	13,18	13,19	13,13	13,50	13,68	13,45	13,38	1,94	2,08	1,80	2,00	2,18	1,82	1,77	2,06	13,17	13,50	1,96*
138	EC06S	SI	11,72	11,75	11,78	11,73	11,16	10,89	11,70	11,53	1,49	1,43	1,52	1,55	1,43	1,52	1,39	1,52	11,75	11,32	1,48
139	EC07I	NO	12,99	13,10	12,98	13,03	12,42	12,47	12,69	12,58	2,10	1,73	1,87	1,91	2,03	1,97	2,10	1,90	13,03	12,54	1,95
140	EC07M	NO	12,12	12,08	12,13	12,14	11,39	10,98	11,29	10,93	1,25	1,35	1,41	1,46	1,47	1,25	1,50	1,39	12,12	11,15	1,39
141	EC07S	NO	11,52	11,53	11,54	11,54	9,63	9,83	9,63	9,91	1,21	1,21	1,22	1,30	1,13	1,32	1,36	1,39	11,53	9,75	1,27
142	EC08I	NO	10,09	10,07	10,06	10,10	11,22	11,40	11,19	11,30	1,59	1,43	1,53	1,60	1,64	1,57	1,42	1,70	10,08	11,28	1,56

No	Nomenclatura	NUDO	H <sub>1</sub> (cm)	H <sub>2</sub> (cm)	H <sub>3</sub> (cm)	H <sub>4</sub> (cm)	Φ <sub>11</sub> (cm)	Φ <sub>12</sub> (cm)	Φ <sub>21</sub> (cm)	Φ <sub>22</sub> (cm)	e <sub>11</sub> (cm)	e <sub>12</sub> (cm)	e <sub>13</sub> (cm)	e <sub>14</sub> (cm)	e <sub>21</sub> (cm)	e <sub>22</sub> (cm)	e <sub>23</sub> (cm)	e <sub>24</sub> (cm)	H <sub>prom</sub> (cm)	Φ <sub>prom</sub> (cm)	e <sub>prom</sub> (cm)
143	EC08M	SI	12,69	12,62	12,66	12,65	10,60	10,61	10,89	10,71	1,48	1,24	1,46	1,25	1,26	1,45	1,42	1,22	12,66	10,70	1,35
144	EC08S	NO	8,99	8,98	8,99	8,97	8,61	8,59	8,62	8,40	1,00	1,00	0,94	1,03	1,00	1,06	1,00	1,02	8,98	8,56	1,01
145	EC09I	SI	14,31	14,20	14,10	14,30	13,21	13,07	13,19	13,43	1,99	1,86	2,09	1,71	1,92	1,96	2,09	1,65	14,23	13,23	1,91
146	EC09M	SI	12,51	12,51	12,53	12,49	12,04	12,03	12,50	12,21	1,58	1,49	1,57	1,59	1,51	1,56	1,74	1,46	12,51	12,20	1,56
147	EC09S	SI	11,87	11,83	11,82	11,88	11,65	11,50	11,87	12,12	1,43	1,46	1,36	1,55	1,39	1,50	1,44	1,43	11,85	11,79	1,45
148	EC10I	SI	13,62	13,57	13,58	13,64	14,06	14,22	14,38	14,16	2,32	2,10	2,32	2,04	2,24	2,25	2,40	1,99	13,60	14,21	2,21
149	EC10M	NO	13,20	13,19	13,20	13,15	13,22	13,10	13,32	13,31	1,71	1,90	1,70	1,81	1,81	1,65	1,62	1,73	13,19	13,24	1,74
150	EC10S	NO	11,95	11,94	11,93	11,92	10,26	10,31	10,28	10,12	1,18	1,12	1,14	1,19	1,15	1,22	1,15	1,22	11,94	10,24	1,17

\* Representa los datos atípicos.

### ANEXO 13. Carga máxima, esfuerzo último a compresión, contenido de humedad y densidad básica.

No	Nomenclatura	NUDO	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (lb)	$\sigma$ ult (Mpa)	%CH	DB (Kg/m <sup>3</sup> )	Estado de la probeta	Tipo de falla
1	AC01I	SI	50,39	42350	37,38	95,74	492,38		
2	AC01M	NO	37,10	27000	32,37	59,46	616,67		Rajadura externa e interna
3	AC01S	NO	20,05	18000	39,93	105,56	600,00		
4	AC02I	NO	59,89	51000	37,88	96,28	537,78		Rajadura vertical
5	AC02M	SI	41,49	33000	35,38	85,71	294,74*	Diafragma hueco	Aplastamiento
6	AC02S	NO	37,10	31000	37,17	88,89	450,00	Rajadura interna	Rajadura vertical
7	AC03I	SI	53,71	47000	38,92	68,12	1150,00*		Rajadura interna
8	AC03M	SI	48,68	37000	33,81	97,39	530,00		Aplastamiento
9	AC03S	SI	34,36	25485	32,99	86,57	609,09		
10	AC04I	SI	38,59	30500	35,16	167,61*	473,33		Aplastamiento
11	AC04M	NO	33,92	27500	36,06	85,19	270,00*		Rajadura vertical
12	AC04S	NO	28,17	25500	40,27	82,03	564,00	Rajadura interna	Rajadura vertical
13	AC05I	NO	51,12	42500	36,98	104,17	480,00		Rajadura interna
14	AC05M	SI	43,54	32500	33,20	61,54	650,00		Aplastamiento
15	AC05S	NO	56,28	27000	21,34*	82,98	618,42		Rajadura vertical o paralela a la fibra
16	AC06I	SI	41,48	30000	32,17	122,92	490,00		Rajadura vertical
17	AC06M	SI	39,54	23000	25,87	96,00	500,00		
18	AC06S	SI	28,88	21000	32,34	114,29	466,67		Aplastamiento
19	AC07I	NO	50,50	34000	29,95	113,82	-		
20	AC07M	NO	41,81	32000	34,05	98,27	-		
21	AC07S	NO	30,19	26000	38,31	66,56	-		
22	AC08I	SI	36,15	29500	36,30	92,40	526,25	Diafragma hueco	Aplastamiento
23	AC08M	NO	33,15	22500	30,19	91,06	540,83		Aplastamiento y rajadura vert.
24	AC08S	SI	20,75	17000	36,44	87,50	600,00		Aplastamiento
25	AC09I	NO	46,83	42000	39,89	72,73	628,57		Rajadura vertical
26	AC09M	NO	36,35	25000	30,59	86,67	375,00		Rajadura externa e interna
27	AC09S	SI	32,38	25000	34,34	106,90	527,27		Rajadura externa e interna
28	AC10I	NO	56,28	51500	40,70	108,82	485,71		Rajadura vertical
29	AC10M	SI	39,17	28858	32,77	97,11	508,00		
30	AC10S	SI	28,96	26500	40,70	68,09	626,67		Aplastamiento
31	BC01I	NO	49,33	32000	28,86	136,22	-		

No	Nomenclatura	NUDO	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (lb)	$\sigma$ ult (Mpa)	%CH	DB (Kg/m <sup>3</sup> )	Estado de la probeta	Tipo de falla
32	BC01M	SI	37,03	29872	35,88	86,62	685,00		
33	BC01S	NO	18,43	15500	37,41	85,45	550,00		Aplastamiento y rajadura vert.
34	BC02I	NO	42,66	32500	33,89	118,31	473,33		Rajadura vertical
35	BC02M	SI	33,51	29000	38,50	94,12	1275,00*		Aplastamiento interior
36	BC02S	NO	15,85	17500	49,11	86,05	645,00		Aplastamiento y rajadura vert.
37	BC03I	SI	52,95	38000	31,92	137,83*	445,00		Rajadura vertical
38	BC03M	NO	29,06	26500	40,56	86,00	555,56		Rajadura externa e interna
39	BC03S	SI	15,82	21000	59,05*	74,19	620,00		
40	BC04I	SI	35,09	38000	48,17	82,42	650,00		Aplastamiento y rajadura vert.
41	BC04M	SI	22,07	17500	35,27	86,34	805,00		Aplastamiento
42	BC04S	NO	20,14	-	0,00	-	-		
43	BC05I	SI	46,20	38500	37,07	116,57	491,43		Rajadura vertical externa
44	BC05M	SI	33,00	23500	31,68	124,94	454,44		Aplastamiento
45	BC05S	NO	11,65	13000	49,64	62,34	700,00		
46	BC06I	NO	40,78	27500	30,00	137,70*	457,50	Daño físico	Corte y aplastamiento
47	BC06M	SI	19,38	21500	49,35	84,62	650,00		
48	BC06S	SI	18,74	16500	39,17	68,92	740,00		Rajadura vertical y aplastamiento
49	BC07I	NO	31,81	27500	38,46	106,35	504,00		Aplastamiento y rajadura vert.
50	BC07M	NO	28,28	21500	33,82	111,43	500,00		Rajadura externa e interna
51	BC07S	SI	11,94	12500	46,57	94,63	496,67		
52	BC08I	SI	45,73	28660	27,88	140,09*	434,00		
53	BC08M	NO	25,93	19500	33,45	100,00	457,14		Aplastamiento, rajadura ext. eint.
54	BC08S	SI	18,06	13000	32,02	104,92	610,00	Daño físico en la parte exterior	
55	BC09I	NO	37,75	27000	31,81	130,56	466,25		Rajadura vertical
56	BC09M	NO	32,57	26000	35,51	104,18	-	Ataque por insectos	
57	BC09S	NO	19,43	17500	40,06	103,30	455,00		Aplastamiento
58	BC10I	SI	34,22	30000	39,00	71,52	725,56		Aplastamiento y rajadura vert
59	BC10M	NO	32,02	27000	37,51	88,32	590,00		Aplastamiento y rajadura vert
60	BC10S	SI	15,38	15500	44,83	70,51	723,33		Aplastamiento
61	CC01I	SI	47,41	40500	38,00	76,25	800,00		Rajadura vertical
62	CC01M	NO	-	-	-	-	-		
63	CC01S	SI	28,00	22500	35,74	82,50	533,33		Aplastamiento
64	CC02I	SI	44,47	33000	33,01	75,47	588,89		Aplastamiento
65	CC02M	SI	25,04	23000	40,86	92,31	520,00		Rajadura externa e interna
66	CC02S	SI	19,96	18000	40,11	76,92	650,00	Rajadura interna	Aplastamiento y rajaduras ext. eint.

No	Nomenclatura	NUDO	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (lb)	$\sigma$ ult (Mpa)	%CH	DB (Kg/m <sup>3</sup> )	Estado de la probeta	Tipo de falla
67	CC03I	NO	41,65	43000	45,92	87,50	533,33		Rajadura externa e interna
68	CC03M	NO	35,09	32500	41,20	80,77	288,89*		Rajadura interna
69	CC03S	SI	23,02	24500	47,34	75,10	642,50		Aplastamiento
70	CC04I	SI	41,88	40000	42,49	78,57	600,00		Aplastamiento
71	CC04M	NO	41,64	31000	33,12	95,34	571,67		Rajadura vertical
72	CC04S	NO	-	-	-	-	-		
73	CC05I	SI	37,69	32000	37,77	119,51	468,57		Aplastamiento y rajadura vert. ext.
74	CC05M	SI	31,28	29500	41,95	96,48	1136,67*		Aplastamiento
75	CC05S	NO	20,12	17000	37,58	96,58	585,00		Aplastamiento y rajadura vert.
76	CC06I	NO	52,08	-	0,00	80,00	600,00		
77	CC06M	NO	34,84	34500	44,05	68,18	628,57		Rajadura externa e interna
78	CC06S	SI	28,84	23986	37,00	83,55	577,50		
79	CC07I	NO	51,98	40000	34,23	83,33	480,00		Rajadura vertical
80	CC07M	NO	38,01	33500	39,20	104,77	-		
81	CC07S	NO	21,29	20500	42,83	81,21	596,00	Rajadura interna	Rajadura vertical
82	CC08I	NO	54,85	37500	30,41	138,65	-		
83	CC08M	SI	38,29	31063	36,09	90,43	530,77		
84	CC08S	SI	23,37	22500	42,83	83,10	568,00		Aplastamiento
85	CC09I	SI	44,24	25331	25,47	96,48	568,33		
86	CC09M	SI	36,65	30500	37,02	-	0,00		Aplastamiento y rajaduras ext. eint.
87	CC09S	NO	24,48	24000	43,61	66,67	-	Rajadura interna	Aplastamiento y rajadura vert.
88	CC10I	NO	48,34	42000	38,65	55,74	762,50	Ataque por insectos	Rajadura interna
89	CC10M	SI	43,07	37000	38,21	107,69	520,00		Rajadura vertical
90	CC10S	NO	27,66	24000	38,60	75,76	-	Rajadura interna	
91	DC01I	NO	36,77	32500	39,32	60,26	650,00		Rajadura vertical
92	DC01M	NO	31,74	26000	36,44	76,09	1840,00*		Rajadura externa e interna
93	DC01S	NO	14,94	15500	46,15	82,86	636,36		Rajadura externa e interna
94	DC02I	SI	39,78	26191	29,29	98,55	576,67		
95	DC02M	SI	23,07	22500	43,38	69,35	620,00		Aplastamiento
96	DC02S	SI	22,60	24000	47,24	72,88	590,00		Aplastamiento
97	DC03I	SI	50,06	37500	33,32	84,31	566,67		Aplastamiento
98	DC03M	NO	42,74	32000	33,30	128,86	-		
99	DC03S	NO	22,12	19500	39,21	85,53	-		
100	DC04I	NO	45,88	37500	36,36	87,16	610,00		Aplastamiento y rajadura vertical
101	DC04M	SI	37,68	31000	36,60	101,74	575,00		Rajadura vertical

No	Nomenclatura	NUDO	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (lb)	$\sigma$ ult (Mpa)	%CH	DB (Kg/m <sup>3</sup> )	Estado de la probeta	Tipo de falla
102	DC04S	SI	29,09	24500	37,46	84,62	520,00		Aplastamiento
103	DC05I	NO	46,22	38500	37,05	89,66	483,33		Rajadura vertical
104	DC05M	SI	32,20	22000	30,39	103,13	523,64		Aplastamiento
105	DC05S	NO	21,09	17000	35,86	88,89	600,00		Rajadura externa e interna
106	DC06I	NO	30,64	27500	39,92	84,47	588,57		Rajadura vertical
107	DC06M	SI	29,38	21385	32,38	77,93	532,50		
108	DC06S	SI	21,87	19500	39,66	70,21	587,50		Aplastamiento
109	DC07I	NO	50,21	38000	33,66	95,79	-		
110	DC07M	NO	45,10	34000	33,53	96,81	564,00		Aplastamiento y rajadura vert.
111	DC07S	SI	33,05	26345	35,46	71,47	669,09		
112	DC08I	SI	38,50	31000	35,82	107,72	544,00		Aplastamiento
113	DC08M	SI	24,79	22500	40,37	79,41	618,18		Aplastamiento
114	DC08S	NO	16,57	15000	40,27	67,36	796,67		Rajadura vertical
115	DC09I	SI	26,99	27000	44,50	76,19	700,00		Aplastamiento
116	DC09M	NO	14,94	13000	38,71	75,32	770,00		Aplastamiento y rajadura vert.
117	DC09S	NO	14,39	16000	49,46	52,70	672,73		Rajadura vertical
118	DC10I	SI	33,64	27000	35,70	89,47	633,33		Aplastamiento interior
119	DC10M	NO	29,25	23000	34,98	94,77	601,43		Aplastamiento y rajadura vert.
120	DC10S	SI	19,84	20500	45,96	76,67	750,00		Aplastamiento
121	EC01I	NO	44,48	46000	46,00	64,62	678,33		Aplastamiento y rajadura vert.
122	EC01M	SI	43,40	41500	42,53	77,78	600,00		Aplastamiento
123	EC01S	NO	25,07	21000	37,26	72,07	250,63	Rajadura interna	Aplastamiento y rajadura vert
124	EC02I	NO	34,80	29000	37,07	73,81	600,00		
125	EC02M	SI	34,18	21500	27,98	104,87	493,00	Diafragma hueco	Aplastamiento y rajadura vert
126	EC02S	SI	33,93	35000	45,88	51,92	800,00		Aplastamiento
127	EC03I	SI	52,61	42659	36,07	107,65	499,09	Diafragma hueco	
128	EC03M	NO	29,95	28000	41,59	95,74	516,00		Aplastamiento y rajadura vert.
129	EC03S	SI	25,40	25500	44,66	78,05	585,71		Rajadura externa e interna
130	EC04I	SI	48,10	40000	36,99	78,33	600,00	Diafragma hueco	Aplastamiento
131	EC04M	NO	29,94	27500	40,86	79,17	600,00		Rajadura externa e interna
132	EC04S	NO	25,37	20500	35,94	86,67	600,00		Aplastamiento y rajadura vert.
133	EC05I	SI	51,99	35500	30,37	85,29	566,67	Diafragma hueco	Aplastamiento y rajadura interna
134	EC05M	SI	43,93	37000	37,46	76,09	575,00		Aplastamiento
135	EC05S	SI	24,31	20500	37,51	78,38	352,38		Aplastamiento
136	EC06I	NO	84,90	60500	31,70	127,37	-		

No	Nomenclatura	NUDO	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (lb)	$\sigma$ ult (Mpa)	%CH	DB (Kg/m <sup>3</sup> )	Estado de la probeta	Tipo de falla
137	EC06M	NO	71,06	57500	35,99	71,60	623,08		Rajadura externa e interna
138	EC06S	SI	45,75	43000	41,81	58,06	688,89		Aplastamiento
139	EC07I	NO	64,88	59500	40,79	61,06	630,30		Rajadura vertical
140	EC07M	NO	42,62	35500	37,05	102,33	528,46		Rajadura vertical
141	EC07S	NO	33,83	27500	36,16	72,73	550,00		Rajadura vertical
142	EC08I	NO	47,64	41500	38,75	67,31	650,00		Rajadura externa
143	EC08M	SI	39,65	29983	33,64	95,51	667,50		
144	EC08S	NO	23,96	26000	48,27	66,67	708,00		Aplastamiento y rajadura vert.
145	EC09I	SI	67,93	60500	39,62	87,89	622,31		Aplastamiento
146	EC09M	SI	52,15	45000	38,38	102,84	547,78		Aplastamiento y rajadura vert.
147	EC09S	SI	47,10	37170	35,10	110,95	421,54		
148	EC10I	SI	83,32	58000	30,96	67,78	692,31		Rajadura externa
149	EC10M	NO	62,86	42000	29,72	125,34	-		
150	EC10S	NO	33,34	32000	42,69	81,87	-		

\* Representa los datos atípicos.

## ANEXO 14. Resultados de módulos de elasticidad y coeficientes de Poisson.

Tabla 44. Módulos de elasticidad para probetas con comparadores de carátula mecánico.

Probeta	Carga máxima (Kgf)	Resistencia última (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	R <sup>2</sup>
AC01I	19210	29,95	14590	0,9537
AC10M	13090	34,05	12108	0,9879
AC03S	11560	38,31	2123,1	0,9850
BC01M	13550	35,88	12128	0,9828
BC08I	13000	27,88	11664	0,9801
CC06S	11560	37,00	6538,2	0,9913
CC08M	14090	36,09	10540	0,9714
CC09I	17490	25,47	10705	0,9713
DC02I	11880	29,29	1702,4	0,9730
DC06M	9700	32,28	6779	0,9569
DC07S	11950	35,46	12465	0,9888
EC03I	19350	36,07	5069,7	0,9894
EC08M	13600	33,64	4439,2	0,9906
EC09S	16860	35,10	4267,5	0,9906

Tabla 45. Módulos de elasticidad y coeficiente de Poisson para probetas con deformímetros eléctricos.

Probeta	Carga máxima (Lbf)	Resistencia última (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	R <sup>2</sup>	μ
AC07I	34000	29,95	10886	0,9839	-
AC07M	32000	34,05	16694	0,9986	0,95 <sup>+</sup>
AC07S	26000	38,31	60453*	0,6155	0,57 <sup>+</sup>
BC01I	32000	28,86	8770,1	0,9959	-
BC04S	-	-	-	-	-
BC09M	26000	35,51	18334	0,9817	0,83 <sup>+</sup>
CC07M	33500	39,20	18657	0,9872	-
CC08I	37500	30,41	113363*	0,9004	3,73 <sup>+</sup>
CC10S	24000	38,60	17532	0,9997	-
DC07I	38000	33,66	18383	0,9856	0,74 <sup>+</sup>
DC03M	32000	33,30	21203	0,9410	-
DC03S	19500	39,21	16634	0,9961	0,30
EC06I	60500	31,70	14418	0,9745	1,27 <sup>+</sup>
EC10M	42000	29,72	12753	0,9854	0,85 <sup>+</sup>
EC10S	32000	42,69	22048	0,9764	0,80 <sup>+</sup>

\* Representa los datos atípicos.

<sup>+</sup> Valores fuera de rangos lógicos

## ANEXO 15. Gráficas esfuerzo vs deformación.

### Comparadores de carátula mecánicos

Figura 33. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta AC01I.

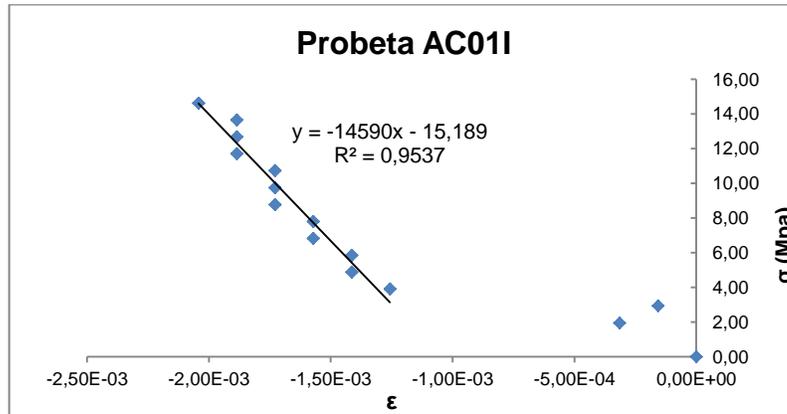


Figura 34. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta AC03S.

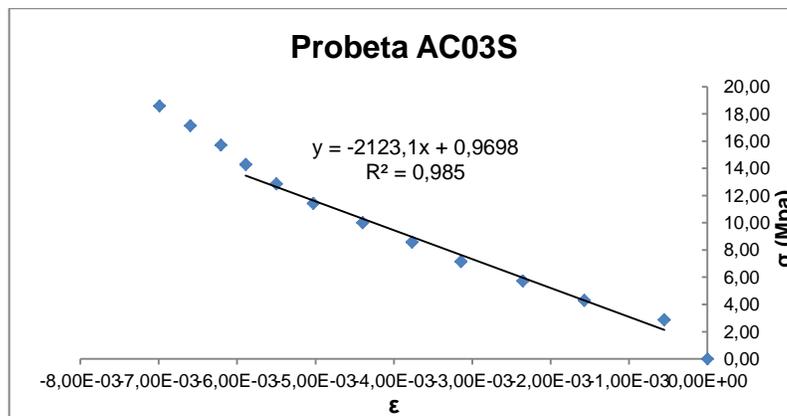


Figura 35. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta BC08I.

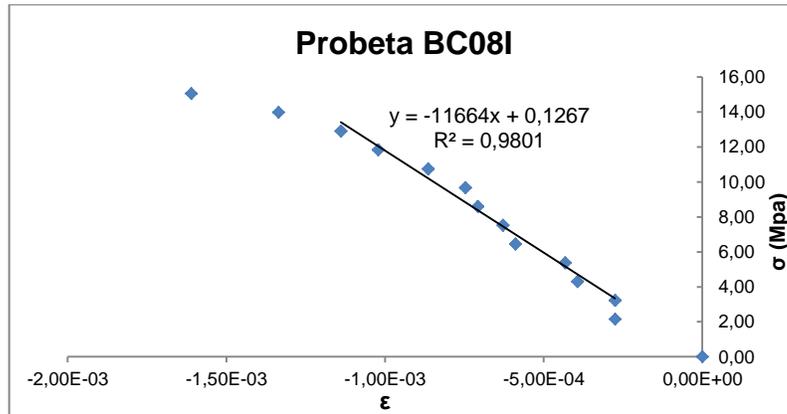


Figura 36. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta BC01M.

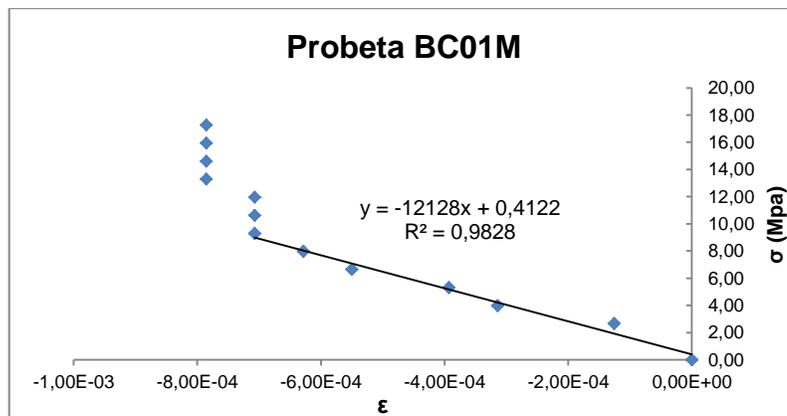


Figura 37. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta CC09I.

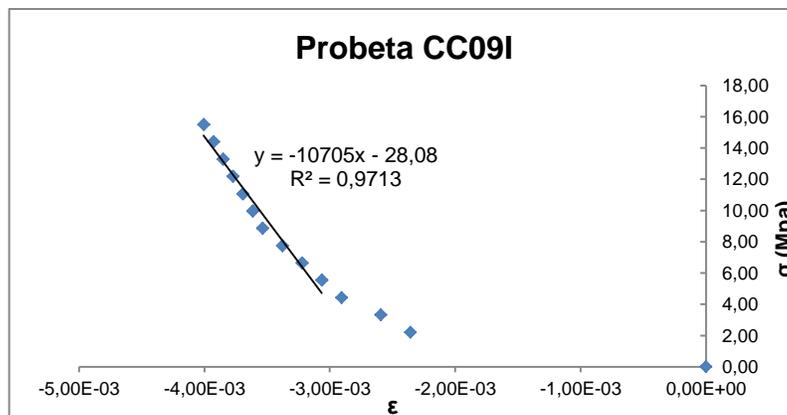


Figura 38. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta CC08M.

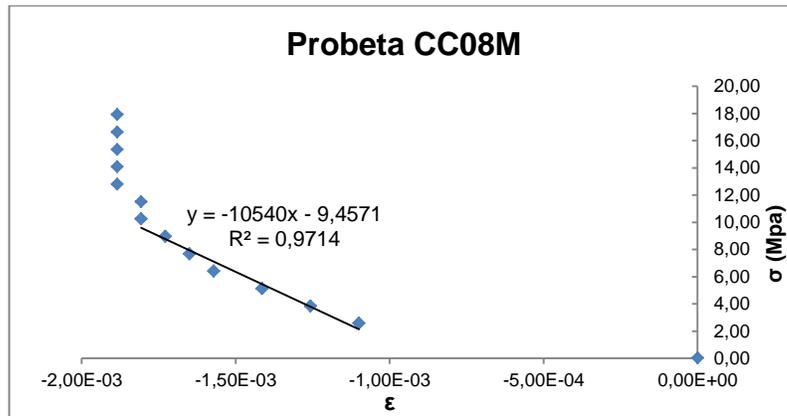


Figura 39. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta CC06S.

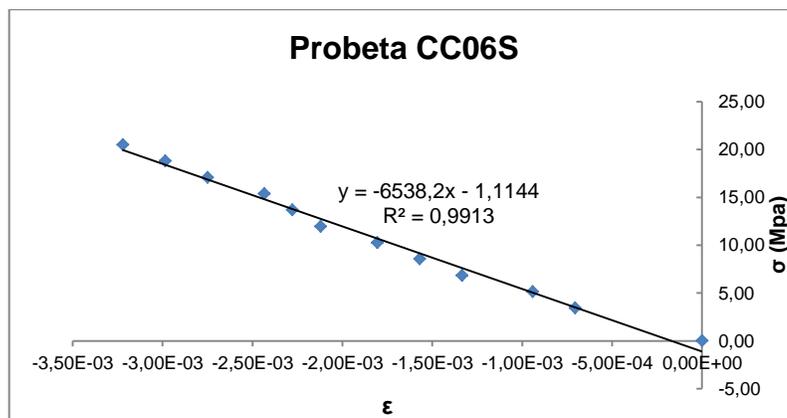


Figura 40. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta DC02I.

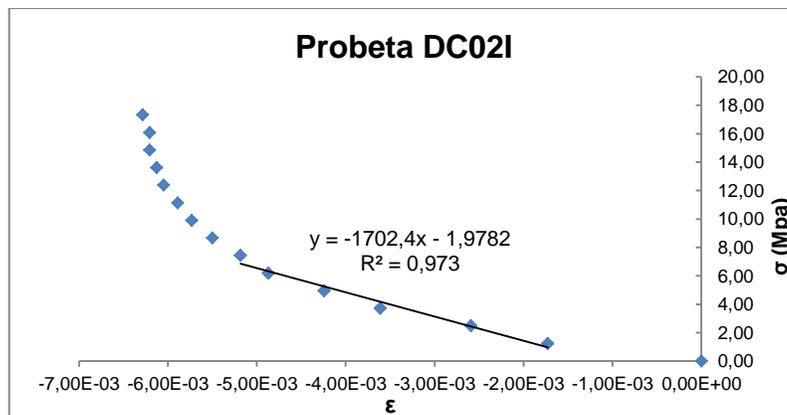


Figura 41. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta DC06M.

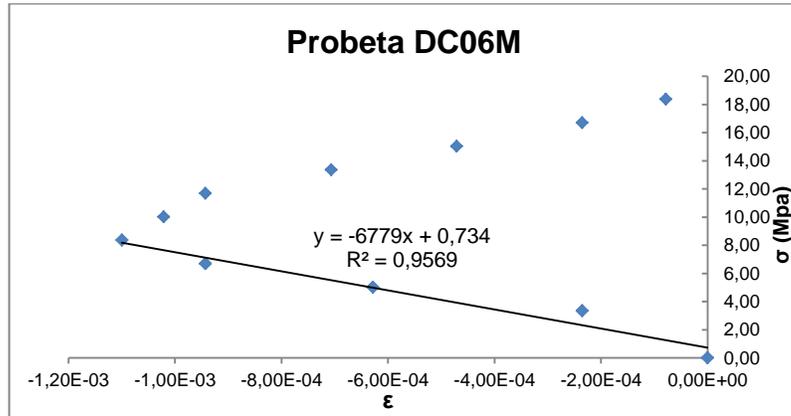


Figura 42. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta DC07S.

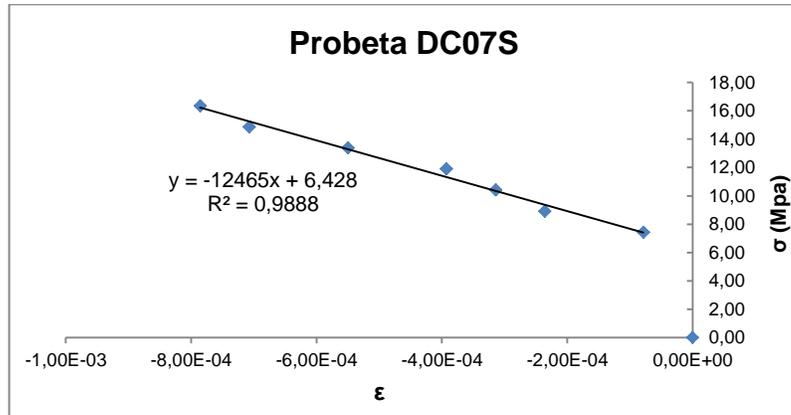


Figura 43. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta EC03I.

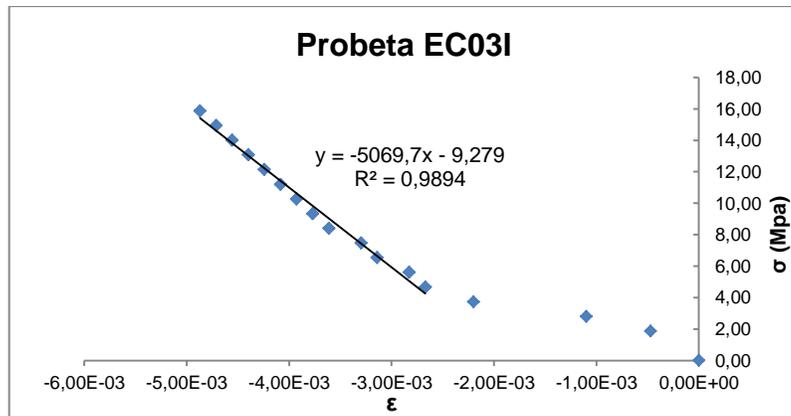


Figura 44. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta EC08M.

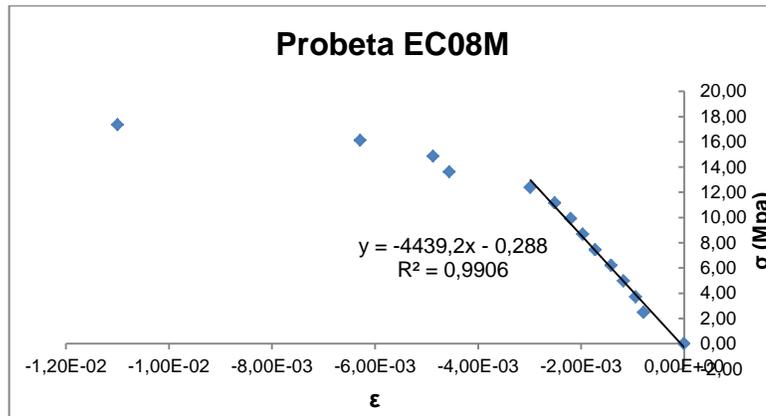
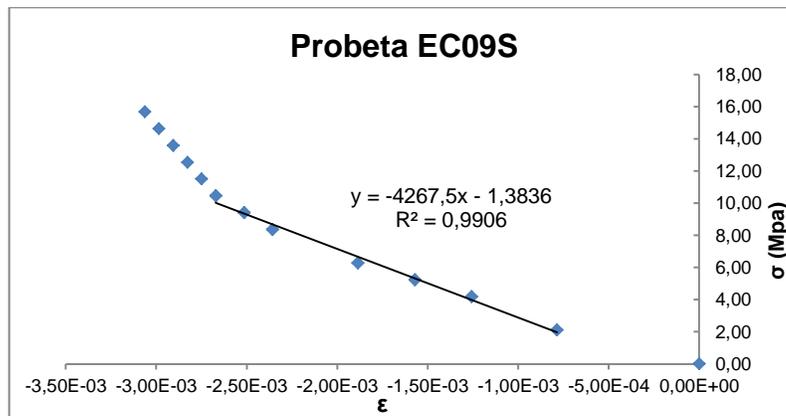


Figura 45. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta EC09S.



## Deformímetros eléctricos

Figura 46. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal probeta AC07I.

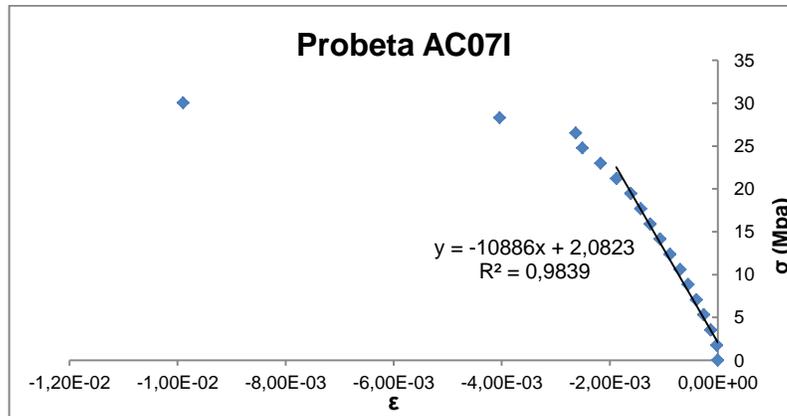


Figura 47. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta AC07M.

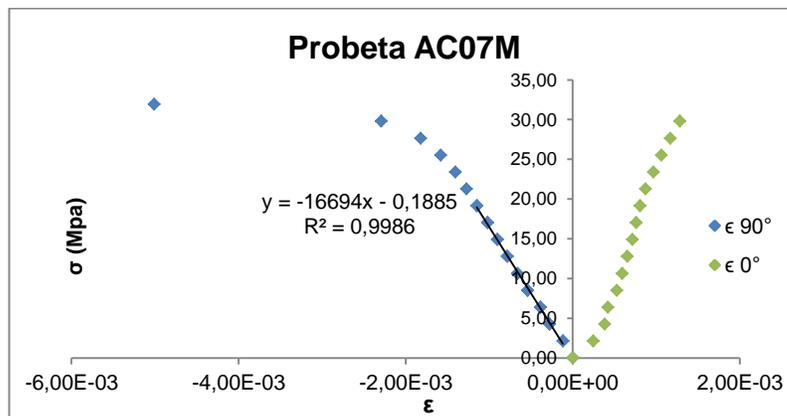


Figura 48. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta AC07S.

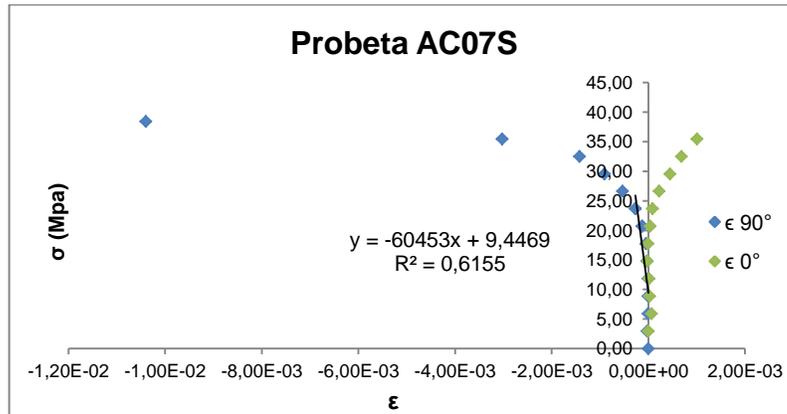


Figura 49. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta BC011.

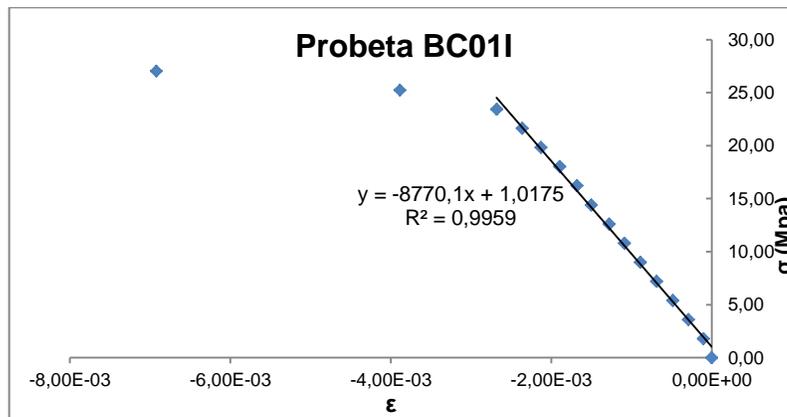


Figura 50. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta CC08I.

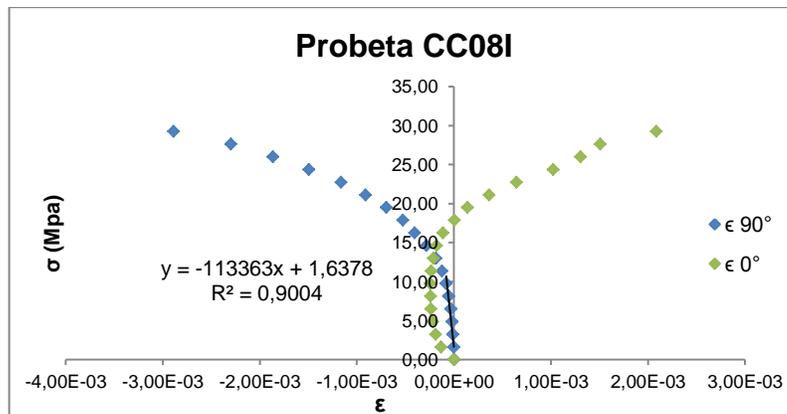


Figura 51. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta CC07M.

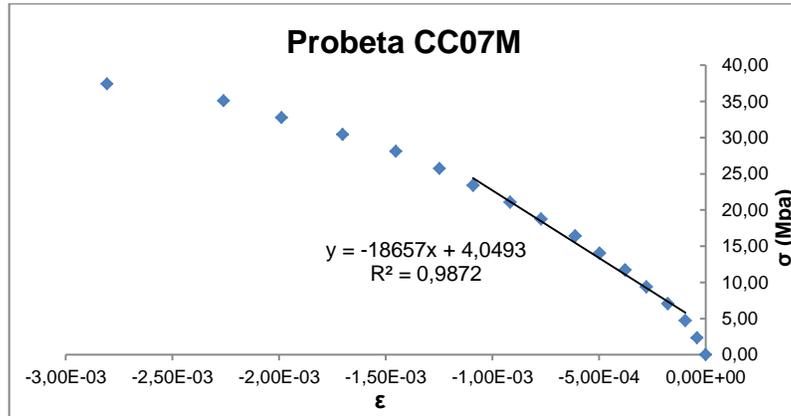


Figura 52. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta CC10S.

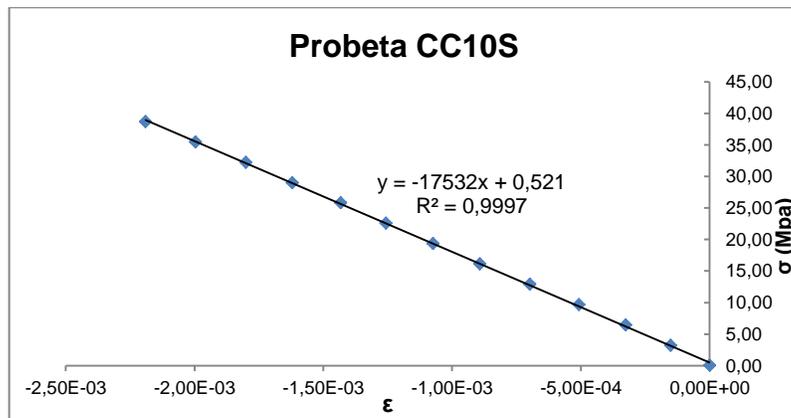


Figura 53. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta DC07I.

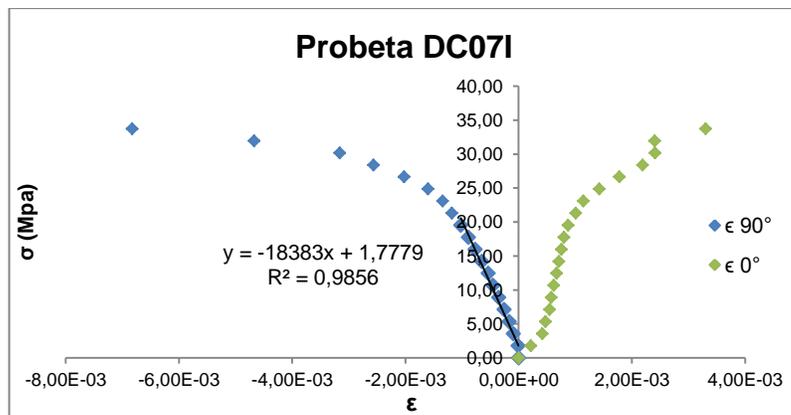


Figura 54. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta DC03M.

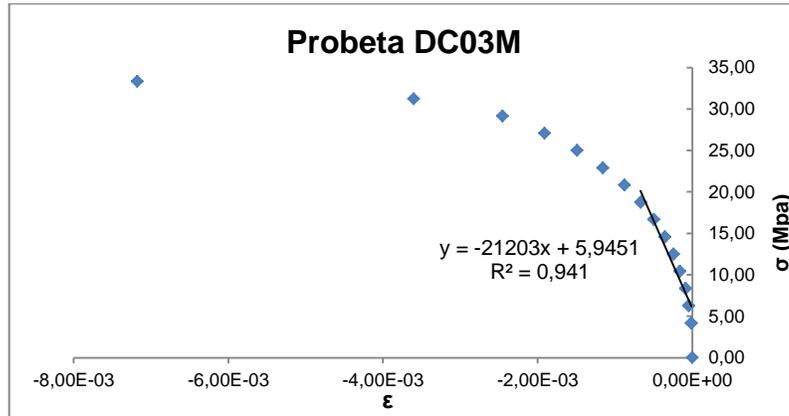


Figura 55. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta EC06I.

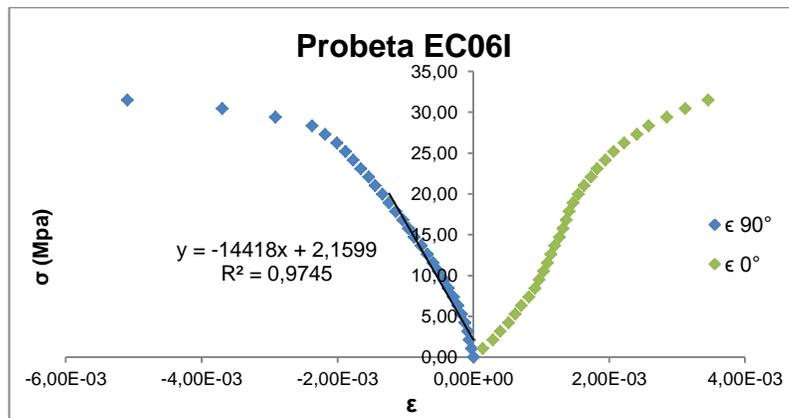


Figura 56. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta EC10M.

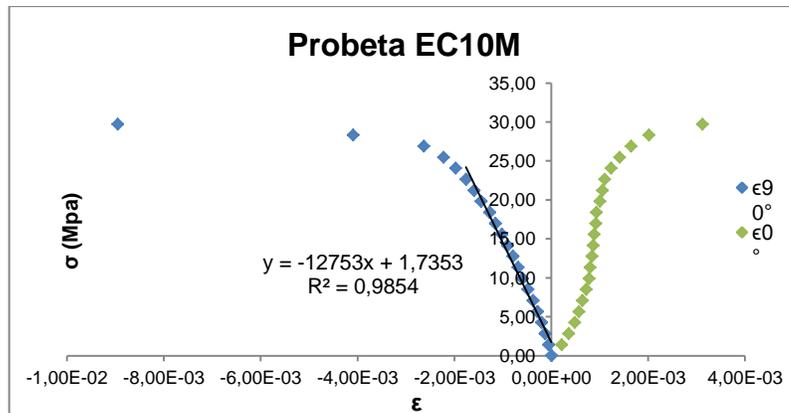
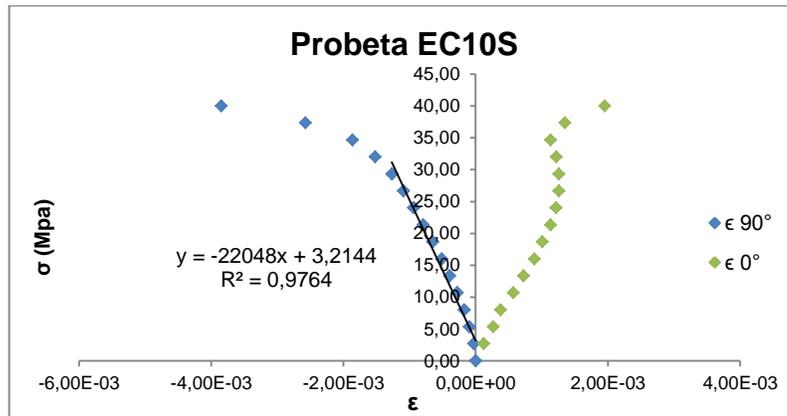


Figura 57. Gráfica esfuerzo vs deformación longitudinal y transversal probeta EC10M.



# PLANOS

# **Análisis de Varianza Multifactorial para Resistencia Última a la Compresión Paralela a la Fibra en Muestras de Guadua Angustifolia Kunth**

## **Analysis of Variance for Ultimate Strength in Compression Parallel to Grain in Guadua Angustifolia Kunth samples**

Caori Takeuchi T.<sup>1</sup>, Mauricio Duarte T.<sup>2</sup>, Andrés F. Capera O.<sup>3</sup> y Wilson J. Erazo E.<sup>4</sup>

### **Resumen**

Se presenta la evaluación del comportamiento de la resistencia a la compresión paralela a la fibra de probetas de Guadua angustifolia en relación a factores como zona, sección del culmo o tallo y presencia de nudo, realizada mediante un análisis de varianza multifactorial. Las muestras objeto de estudio procedentes de cuatro zonas ubicadas en el municipio de Pitalito y una en el municipio de Timaná al sur del departamento del Huila, fueron ensayadas en el Instituto de Extensión e Investigación (IEI) de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. La metodología para el corte de los culmos, obtención de las probetas y ensayos de resistencia a la compresión, fue basada en las normas NTC5300, NTC5525, NSR10 y ISO/TC 165N315, y los protocolos para corte de culmos y probetas, y determinación de la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. La resistencia a la compresión paralela a la fibra promedio de 130 probetas fue de 38,00 Mpa. El análisis de varianza multifactorial del diseño experimental, permitió identificar la significancia estadística del factor sección sobre la resistencia a la compresión con un valor-p inferior a 0,05 y un nivel de confianza del 95%, los valores más altos se encontraron para la parte superior. Los factores zona y presencia de nudo, al igual que las interacciones de segundo orden no fueron significativos.

*Palabras clave:* guadua angustifolia; resistencia a la compresión paralela a la fibra; factores.

### **Abstract**

This article presents the performance evaluation of the compressive strength parallel to grain in the Guadua angustifolia specimens, in relation to factors such as area, culm or stem section and the presence of knots, made by a multifactorial analysis of variance. Samples studied were collected from four zones in the municipality of Pitalito and one in the municipality of Timaná in southern Huila, were tested in the Instituto de Extensión e Investigación (IEI) at the Universidad Nacional de Colombia in Bogotá. The methodology for cutting the culms, obtaining samples and testing compressive strength, is based on NTC5300, NTC5525, NSR10 and ISO / TC 165N315 standards, and also the protocols for cutting culms and samples, and determining the compressive strength parallel to grain of the Universidad Nacional de Colombia in Bogotá. The average compressive strength parallel to grain of 130 samples was 38.00 MPa. The multifactorial ANOVA helped to identify the statistical significance of the section factor on compression resistance with a p-value less than 0.05 and a confidence level of 95%, higher values were found for the top. The zone and presence of knots like the second order interactions were not significant factors.

*Keywords:* guadua angustifolia; compressive strength parallel to grain; factors.

---

<sup>1</sup> Magister en Estructuras. Docente Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. [cpakeuchit@unal.edu.co](mailto:cpakeuchit@unal.edu.co)

<sup>2</sup> Magister en Ingeniería Civil. Docente Universidad Surcolombiana. Av. Pastrana Borrero carrera 1ª Neiva. [maduto@usco.edu.co](mailto:maduto@usco.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniero Agrícola. Universidad Surcolombiana. Av. Pastrana Borrero carrera 1ª Neiva. [anfaco12@gmail.com](mailto:anfaco12@gmail.com)

<sup>4</sup> Ingeniero Agrícola. Universidad Surcolombiana. Av. Pastrana Borrero carrera 1ª Neiva. [wjee89@gmail.com](mailto:wjee89@gmail.com)

## 1. Introducción

La *Guadua angustifolia* en Colombia se presenta a lo largo de la cordillera central y la zona céntrica del país en los departamentos de Antioquia, Cauca, Caldas, Cundinamarca, Huila, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca (Martínez *et al.*, 2005). Se trata de una de las especies del género *Guadua* más importantes por sus múltiples beneficios ambientales, sociales y económicos. Según Judziewicz (1999) citado por Muñoz (2011), esta especie ha tenido una apropiación cultural y desarrollo tecnológico únicos, producto de una mejor aceptación y mayor demanda por su enorme potencial para la construcción, elaboración de muebles, artesanías, fabricación de papel, pisos, modulares y combustibles (Martínez *et al.*, 2005).

La utilización de este material para la construcción en lugar de otro maderable fino ayuda a su preservación (Ezpeleta, 2004). Se ha comprobado que al utilizar *Guadua angustifolia* como material para la construcción, se reducen costos y consumos energéticos (Villegas, 2005; Salas, 2006). Su fácil propagación, rápido crecimiento y capacidad para automultiplicarse vegetativamente la convierten en el mejor sustituto y además en una especie ideal para la reforestación (Londoño, 2001, citado por Moreno *et al.*, 2007).

Las necesidades ambientales y de uso de la *Guadua* han despertado intereses de tipo investigativo, es así como se ha encontrado que las condiciones de sitio afectan la calidad de la *Guadua*; según García (2004) variables de calidad como dureza, porcentaje de humedad, resistencia a la compresión, resistencia al corte, densidad básica y longitud de canutos, presentan mejores características en sitios localizados entre los 1200 y 1500 m.s.n.m, con pendientes entre 20 y 30°, temperaturas medias anuales entre 20 y 22°C y brillo solar entre las 1395 y 1760 horas/luz/año.

Las condiciones referidas anteriormente, se asemejan a las encontradas en los municipios de Pitalito y Timaná ubicados al sur del departamento del Huila. En esta parte del país tradicionalmente se ha utilizado la *Guadua* para la adecuación de la infraestructura destinada al beneficio del café (beneficiaderos y secadores solares), y en menor proporción para la construcción de corrales, establos, canales recolectores, viviendas y estructuras de mayor escala.

La falta de conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua* en esta zona, se debe esencialmente al desconocimiento de las grandes posibilidades económicas que este material podría generar, en caso de consolidarse su utilización como material estructural en proyectos de mayor trascendencia; esto genera incertidumbre a nivel investigativo y obliga a realizar estudios que hasta la fecha no se han ejecutado.

La determinación de la resistencia a la compresión paralela a la fibra basada en la metodología planteada por las NTC5525, NSR10 y los protocolos de la Universidad Nacional de Colombia (2008), representa el comienzo de lo que se espera sea una serie de estudios consecutivos en beneficio de la misma especie, la población campesina, guadueros, transportadores, técnicos, ingenieros, arquitectos e instituciones como el SENA, además de los mismos municipios y el departamento.

Al considerar la variable resistencia a la compresión, resulta apropiado analizar su comportamiento en relación a factores como zona o procedencia de culmos, sección y presencia de nudo. Se han observado ciertas tendencias en investigaciones como las realizadas por Uribe y Durán (2002), García (2004), Ghavami y Marinho (2005), González (2006), González *et al.* (2008) y Lozano *et al.* (2010), las cuales están relacionadas con el incremento de la resistencia con la altura del culm, y además poca afectación por la presencia de nudos y las condiciones de sitio, cuando estas últimas no difieren considerablemente.

Estudios que den a conocer los beneficios ambientales, sociales y económicos que traen consigo esta planta y además sus propiedades físicas y mecánicas, motivan a que este recurso sea conservado y propagado de manera transitoria, mejorando con ello las condiciones de los suelos, fuentes hídricas, atmósfera y la biodiversidad.

## 2. Metodología

### 2.1. Localización

La investigación se llevó a cabo en la zona rural del sur del departamento del Huila, específicamente en los municipios de Pitalito y Timaná. En total se seleccionaron 5 rodales (zona de estudio A, B, C, D y E), cuatro de ellos localizados en el municipio de Pitalito y uno en el municipio de Timaná (tabla 1). La selección de los sitios de muestreo se realizó de forma aleatoria, para garantizar representatividad en el área de estudio. Durante esta etapa se contó con la colaboración del personal del Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). El rango de altitud de la zona de estudio es de 1000 a 1800 m.s.n.m, con una temperatura media anual de 18 a 21°C. Los límites de la zona de estudio, de acuerdo con el sistema de referencia de coordenadas MAGNA-SIRGAS son: Latitud 1°55'40.95"N - 1°44'50.30"N y Longitud 75°57'15.00"O - 76°08'02.38"O.

**Tabla 1.** Localización de las zonas en los municipios de Pitalito y Timaná

PREDIO	VEREDA	MUNICIPIO	COORDENADAS MAGNA-SIRGAS		Altitud (m.s.n.m)	Dist. al casco urbano (Km)
			LATITUD (N)	LONGITUD (O)		
A: La Vega	Pantanos	Timaná	1°54'19.80"	75°58'02.80"	1253	10
B: La Esperanza	San Francisco	Pitalito	1°50'06.00"	76°06'57.40"	1313	10
C: La Dalia-Limón	Palmarito	Pitalito	1°47'13.80"	76°04'03.40"	1294	12
D: Sena Yamboró	Aguadas	Pitalito	1°53'36.00"	76°05'25.10"	1331	7,0
E: Villa María	Zanjones	Pitalito	1°50'26.11"	76°01'58.31"	1279	2,5

### 2.2. Etapas para el desarrollo del proyecto

Para la selección, corte, caracterización física, determinación del comportamiento del esfuerzo a compresión paralela a la fibra, densidad básica y contenido de humedad, se procedió con las siguientes normas, leyes y protocolos:

- Norma unificada para el manejo y aprovechamiento de la Guadua, (Carder, 2002).
- Ley forestal 1021 de 2006.
- ISO/TC 165N315, 2001. "Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo"
- NTC5300 "Cosecha y postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth" (Icontec, 2008).
- NTC5525 "Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua" (Incotec, 2007).
- Reglamento colombiano de construcciones sismo-resistente NSR10, 2010. Título G "Estructuras de madera y estructuras de Guadua. Bogotá D.C
- Protocolos de la universidad Nacional de Colombia sede Bogotá (2008). "Corte de culmos y probetas, determinación de la resistencia a compresión paralela a la fibra, medición del contenido de humedad para la *Guadua angustifolia* Kunth".

#### 2.2.1 Selección de culmos y caracterización general de los sitios de muestreo

En esta etapa se seleccionaron e identificaron las Guaduas "hechas" o maduras con un periodo de edad entre 4 y 6 años que no presentaran daños físicos, adicionalmente se realizó una descripción general de los sitios donde se desarrolló la Guadua (relieve, fuentes hídricas, tipo de plantación, variedad de Guadua y métodos de aprovechamiento).

### 2.2.2 Corte de los culmos

Las Guaduas fueron cortadas a 1 metro por encima del cuello y posteriormente sometidas durante un periodo de 2 semanas a avinagramiento (pérdida de humedad); una vez terminado este proceso se cortaron en 3 secciones longitudinales: inferior (1,5m), medio (4,5m) y superior (3,0m).

### 2.2.3 Obtención de las probetas

El material fue transportado desde la zona de estudio hasta las instalaciones del Instituto de Extensión e Investigación (I.E.I), de la facultad de ingeniería de la universidad Nacional de Colombia sede Bogotá; donde se llevaron a cabo los procedimientos para la obtención de las probetas. La selección de las probetas con nudo y sin nudo para las 3 secciones fue totalmente aleatoria, en total se obtuvieron 132 probetas para carga última con una relación 1:1 (diámetro-espesor). Las probetas fueron lijadas para garantizar mayor uniformidad en la distribución de la carga, a continuación se realizó la caracterización física para determinar el área de la sección transversal de cada una, para luego sumergirlas en agua durante un periodo aproximado de 2 semanas, para evitar el fisuramiento por pérdida de humedad.

### 2.2.4 Ensayos de resistencia a la compresión paralela a la fibra, densidad básica y contenido de humedad

Los ensayos se realizaron en el equipo de carga a compresión FORNEY con capacidad de carga de 500 Lb calibrada por SERVINTEGRAL LTDA (figura 1); las probetas se ubicaron de modo tal que el centro del cabezal estuviera verticalmente sobre el centro de la sección transversal de la probeta, manteniendo una velocidad de aplicación de carga de aproximadamente 0,01 mm/s.



**Fig. 1.** Equipo de cargar a compresión paralela Servintegral.

Una vez finalizados los ensayos de resistencia a la compresión paralela a la fibra, se procedió a determinar el contenido de humedad para cada probeta, para este ensayo se extrajo una lámina de Guadua con dimensiones aproximadas de 3cm de ancho por 6 cm de largo. El secado de las muestras se trabajó a una temperatura de 60°C a diferencia de lo establecido en la norma NTC 5525 (103°C  $\pm$  2°C) para evitar su calcinamiento.

### 2.2.5 Análisis estadístico (ANOVA MULTIFACTOR)

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño de varianza multifactorial totalmente aleatorio, donde se evaluaron las probetas solicitadas a compresión paralela a la fibra; previamente se descartaron mediante análisis exploratorio los valores atípicos. La variable respuesta para el diseño ANOVA multifactorial, los factores y niveles de factor se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Factores y niveles de factor cuyos efectos sobre la resistencia a la compresión fueron evaluados.

FACTOR	NIVELES DE FACTOR	VARIABLE DEPENDIENTE
1. Zona	A. La Vega B. La Esperanza C. Dalia - Limón D. Aguadas E. Villa María	Resistencia a la compresión paralela a la fibra (Mpa)
2. Sección	1. Inferior 2. Media 3. Superior	
3. Nudo	1. Con nudo 2. Sin nudo	

El nivel de confiabilidad mínimo para los resultados es del 95%, los datos se organizaron y procesaron en el software STATGRAPHICS CENTURION versión 15.2.06 asumiendo como hipótesis la normalidad, homocedasticidad e independencia de los mismos.

### 3. Resultados

Las probetas destinadas para el ensayo de resistencia a compresión paralela a la fibra, presentaron una densidad básica promedio de  $577,64 \text{ kg/m}^3$  con una desviación estándar de  $95,85 \text{ kg/m}^3$  y contenidos de humedad promedio de 86,98% con una desviación estándar de 17,19%. Se descartaron mediante análisis exploratorio dos probetas (AC05S y BC03S) por presentar valores atípicos de resistencia a la compresión, por tal motivo se analizaron 130 probetas en el ANOVA multifactorial, la aleatoriedad en el muestreo, obtención de probetas y ejecución de ensayos, garantizaron la normalidad, independencia y heterocedasticidad de los residuos.

#### 3.1 ANOVA Multifactorial

El análisis de varianza multifactorial presentado en la tabla 3, permitió identificar la significancia estadística del factor sección sobre la resistencia a la compresión paralela a la fibra con un valor-p inferior a 0,05 y un nivel de confianza del 95%; esta misma tendencia fue presentada por González *et al.* (2008) para el caso de guadua sobremadura. Los factores zona y nudo no produjeron efectos significativos sobre la resistencia de la guadua, al igual que las interacciones de segundo orden.

**Tabla 3.** Análisis de varianza multifactorial para resistencia a la compresión paralela a la fibra.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
1: Zona	189,99	4	47,50	2,14	0,0802
2: Sección	426,56	2	213,28	9,63	0,0001
3: Nudo	60,25	1	60,25	2,72	0,1019
INTERACCIONES					
1:2	209,53	8	26,19	1,18	0,3162
1:3	39,75	4	9,94	0,45	0,7731
2:3	25,62	2	12,81	0,58	0,5625
RESIDUOS	2391,65	108	22,14		
TOTAL (CORREGIDO)	3363,86	129			

### 3.2 Pruebas de múltiples rangos (Efectos principales)

La comparación múltiple entre los niveles del factor zona que se presenta en la tabla 4, demuestra diferencias significativas entre la zona A y las demás, con el valor más bajo de resistencia promedio. Se evidencia homogeneidad entre la resistencia de la guadua de las zonas B, C, D y E, lo que significaría condiciones similares de sitio. Estas condiciones de sitio se asemejan a las identificadas por García (2004) como condiciones óptimas para las variables de calidad.

**Tabla 4.** Prueba de múltiples rangos para resistencia a la compresión por Zona.

Datos Estadísticos	Zonas					Total
	A	B	C	D	E	
Casos	26	26	24	27	27	130
Media (Mpa)	35,60 <sup>a</sup>	38,32 <sup>b</sup>	39,20 <sup>b</sup>	38,42 <sup>b</sup>	38,45 <sup>b</sup>	38,00
Desviación Estándar (Mpa)	3,70	6,35	4,81	5,11	4,78	5,11
Coefficiente de Variación (%)	10,46	16,64	12,35	13,33	12,49	13,50
Mínimo (Mpa)	25,87	27,88	25,47	29,29	27,98	25,47
Máximo (Mpa)	40,70	49,64	47,34	49,46	48,27	49,64
Límite Inferior (Mpa)	33,75	36,48	37,23	36,61	36,65	36,95
Límite Superior (Mpa)	37,46	40,16	41,16	40,23	40,26	38,72

<sup>a</sup> indica una diferencia significativa con un nivel de confianza del 95,0%.

<sup>b</sup> zonas homogéneas, no existe diferencias significativas entre ellas.

La sección o parte del culmo de *Guadua angustifolia* es significativo sobre la resistencia a la compresión paralela a la fibra de acuerdo con el análisis de varianza. La parte superior es la más resistente y difiere significativamente de los valores promedio de las secciones media e inferior, tal y como se muestra en la tabla 5. González *et al.* (2008), habían encontrado valores para la secciones inferior, media y superior de 24,09 Mpa, 29,14 Mpa y 27,45 Mpa respectivamente, con un % C.H entre 12,4 al 60,6%. Ghavami y Marinho (2005) para probetas con nudo encontraron esta misma tendencia, con variaciones de 25,27 a 31,77 de la sección inferior a la superior. Muñoz (2011) por su parte, obtuvo valores mínimos de 37,28 Mpa, 39,82 Mpa y 45,19 Mpa para probetas de las secciones inferior, media y superior respectivamente.

**Tabla 5.** Prueba de múltiple rangos para resistencia a la compresión por Sección.

Datos Estadísticos	Sección			Total
	Inferior	Media	Superior	
Casos	44	130	42	130
Media (Mpa)	36,93 <sup>b</sup>	38,00 <sup>b</sup>	40,60 <sup>a</sup>	38,00
Desviación Estándar (Mpa)	4,77	5,11	5,03	5,11
Coefficiente de Variación (%)	12,99	13,50	12,43	13,50
Mínimo (Mpa)	25,47	25,47	32,02	25,47
Máximo (Mpa)	22,70	49,64	49,64	49,64
Límite Inferior (Mpa)	35,50	36,95	39,14	36,95
Límite Superior (Mpa)	38,35	38,72	42,06	38,72

<sup>a</sup> indica una diferencia significativa con un nivel del 95,0% de confianza.

<sup>b</sup> secciones homogéneas, no existe diferencias significativas entre ellos.

La presencia de nudo no afecta de forma significativa la resistencia a la compresión paralela a la fibra de probetas de guadua. En la tabla 6 no se evidencia ninguna diferencia estadística entre las medias de los niveles del factor nudo. En una investigación realizada por González (2008), se encontraron valores promedios de esfuerzo a

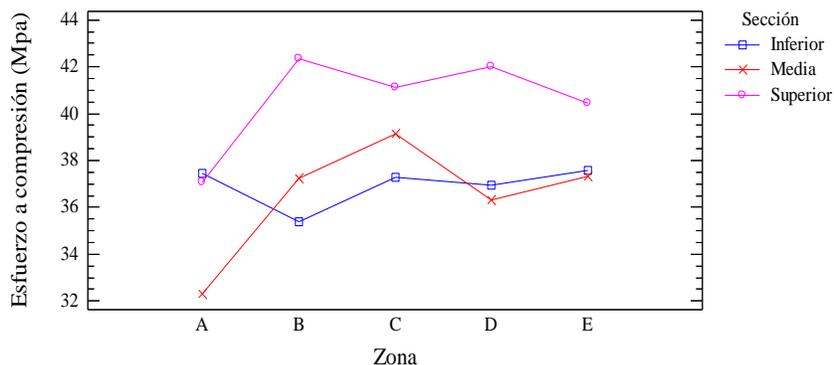
compresión para probetas con nudo y sin nudo de 28,45 y 29,12 Mpa respectivamente. En el estudio realizado por Ghavami y Marinho (2005) se presentó una tendencia similar para probetas con nudo y sin nudo; con valores de 25,27 Mpa y 28,36 Mpa para la sección inferior, 28,36 Mpa y 31,77 Mpa para la sección media y 31,77 Mpa y 25,27 Mpa para la sección superior en el mismo orden.

**Tabla 6.** Prueba de múltiple rangos para resistencia a la compresión por Nudo.

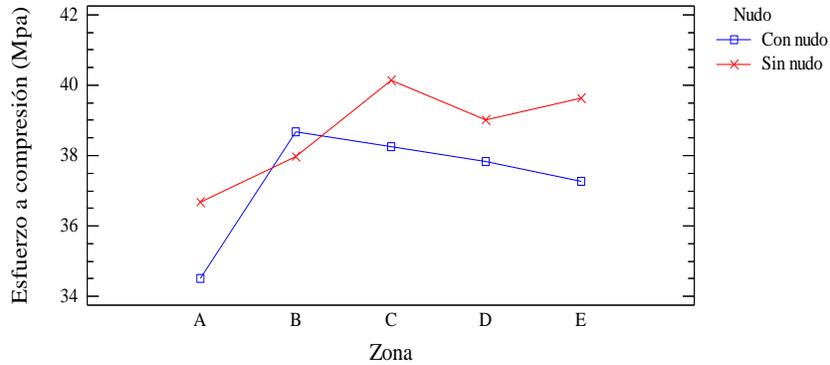
Datos Estadísticos	Nudo		Total
	Con Nudo	Sin Nudo	
Casos	74	56	130
Media (Mpa)	37,31	38,69	38,00
Desviación Estándar (Mpa)	5,31	4,75	5,11
Coefficiente de Variación (%)	14,26	12,31	13,50
Mínimo (Mpa)	25,47	30	25,47
Máximo (Mpa)	49,35	49,64	49,64
Límite Inferior (Mpa)	36,22	37,43	36,95
Límite Superior (Mpa)	38,39	39,94	38,72

### 3.3 Efecto de las interacciones

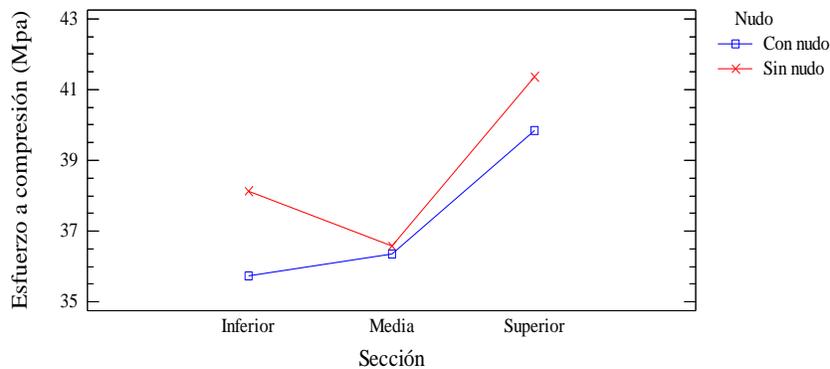
Los efectos de las combinaciones de dos factores sobre la resistencia a la compresión paralela a la fibra, a pesar de no ser significativos, producen cambios en la variable respuesta como se observa en los gráficos de interacciones de las figuras 2, 3 y 4. Para el caso de culmos de las zonas B, C, D Y E, se observa mayor resistencia en la sección superior (figura 1); tendencia que varía para el caso de las secciones media e inferior en todas las zonas. En la figura 3 se evidencia en la mayoría de los casos, mayor resistencia en probetas sin nudo y en la figura 4 en cada uno de los casos; la resistencia de probetas con nudo tiende a ser inferior aunque no de forma significativa.



**Fig. 2.** Efecto sobre la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la interacción entre los factores zona y sección.



**Fig. 3.** Efecto sobre la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la interacción entre los factores zona y nudo.



**Fig. 4.** Efecto sobre la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la interacción entre los factores sección y nudo.

#### 4. Conclusiones

El factor zona no es significativo sobre la variable respuesta resistencia a la compresión paralela a la fibra, con un valor-p de 0,0802. Solo se encontró para la zona A diferencias mínimas significativas en comparación con las demás zonas de estudio según lo establecido por la prueba LSD de Fisher.

La sección del culmo es un factor determinante sobre la resistencia a la compresión con valor-p de 0,0001. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre valores de resistencia promedio de las secciones inferior y media frente al alcanzado por la sección superior. Los valores promedios para las cinco zonas para las secciones inferior y media fueron de: 36,93 y 36,47 Mpa respectivamente; valores que se encuentran por debajo de la resistencia alcanzada para la sección superior 40,60 Mpa.

La presencia de nudo en las probetas no produce efectos estadísticamente significativos sobre la resistencia a la compresión paralela a la fibra con un valor-p de 0,1019. El valor promedio del esfuerzo a compresión para probetas con nudo y sin nudo fue de 37,31 y 38,69 Mpa respectivamente.

Los efectos de las interacciones entre factores no son significativos. El valor-p para la interacción entre zona y sección fue de 0,3162, para los factores sección y nudo de 0,5626 y para zona y nudo de 0,7731.

## 5. Referencias Bibliográficas

1. Ezpeleta, S., 2004. Análisis comparativo de cinco estudios de mercado de Guadua. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá. 28 pp.
2. García, J., 2004. Definición de áreas óptimas de calidad de Guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), orientada a satisfacer las necesidades del mercado. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Industrial. 118 pp.
3. Ghavami, K., Marinho, A., 2005. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. Rio de Janeiro: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.1, 107-114 p.
4. Carder, Corporación Autónoma Regional de Risaralda. 2002. Gobernanza forestal “Proyecto Bosque FLEGT/Colombia”, Norma unificada para el manejo y aprovechamiento de la Guadua. Risaralda.
5. González, H., Montoya, J., Rubiel, J., 2008. Comportamiento de muestras de *Guadua angustifolia* Kunth con diafragma y sin diafragma sometidas a esfuerzo de compresión. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia et Technica*, no 38. ISSN 012-1701.
6. González, C., 2006. Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la *Guadua angustifolia* y determinación del módulo de elasticidad. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. 95 pp.
7. Icontec, Instituto colombiano de normas técnicas, 2007. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth. NTC 5525. Bogotá D.C.
8. Icontec, Instituto colombiano de normas técnicas, 2008. Cosecha y postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. NTC 5300. Bogotá D.C.
9. Ley General forestal 1021., 2006. Colombia. Congreso de la República.
10. Lozano, J., Luna, Patricia., Takeuchi, Caori., 2010. Validación de la *Guadua angustifolia* como material estructural para diseño, por el método de esfuerzos admisibles. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 190 pp.
11. Martínez, H., Espinal, C., 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. 26 pp.
12. Moreno, L., Trujillo, E., Osorio, L., 2007. Estudio de las características de haces de fibra de *Guadua angustifolia*. En: *Scientia et Technica* Año XIII. Universidad Tecnológica de Pereira. 613 pp.
13. Muñoz, J., 2011. Diversidad genética, estructura poblacional y selección de clones superiores de *Guadua angustifolia* Kunth en la eco-región cafetera de Colombia. Tesis de doctorado en ciencia. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 151 pp.
14. Reglamento colombiano de construcciones sismo-resistente NSR10, 2010. Título G “Estructuras de madera y estructuras de *Guadua*. Bogotá D.C.
15. Salas, E., 2006. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambu en Colombia. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. 410 pp.

16. The international organization for standardization, 2001. Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo. ISO/TC 165N315.

17. Universidad Nacional de Colombia, 2008. Protocolos de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Corte de culmos y probetas, determinación de la resistencia a compresión paralela a la fibra, medición del contenido de humedad para la Guadua angustifolia Kunth. Bogotá.

18. Uribe, M., Durán, A., 2002. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres Guaduas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil. 125 pp.

19. Villegas, F., 2005. Comparación consumos de recursos energéticos en la construcción de vivienda social: Guadua vs Concreto. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. 113 pp.

## **6. Agradecimientos**

Los autores expresan sus agradecimientos:

A los M.Sc Caori Patricia Takeuchi T. y Mauricio Duarte Toro Directores del proyecto.

Al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) sede Pitalito en cabeza del subdirector Henry Lizcano Parra.

Al Instituto de Extensión e Investigación (I.E.I) de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá en cabeza de su director Juan Manuel Lizarazo y a los laboratoristas Jorge Olarte y José Darío Moreno. A la Ingeniería Patricia Luna Tamayo del SINDU.

A los docentes de la Universidad Surcolombiana sede Neiva Eduardo Valencia Granada y Nelson Gutiérrez.

A Rey Ariel Borbón y Edisney Silva directores de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) en las sedes Neiva y Pitalito respectivamente, y a Cesar Penagos.