

**ESFUERZO MÁXIMO DE TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA Y
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA *GUADUA*
ANGUSTIFOLIA DEL MUNICIPIO DE PITALITO-HUILA**

JOHN EDINSON ALARCÓN GUTIÉRREZ

JAIRO FRANCISCO OLARTE FLÓREZ

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENERÍA
PROGRAMA DE INGENERÍA AGRICOLA
NEIVA
2013**

**ESFUERZO MÁXIMO DE TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA Y
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA *GUADUA*
ANGUSTIFOLIA DEL MUNICIPIO DE PITALITO-HUILA**

JOHN EDINSON ALARCÓN GUTIÉRREZ

JAIRO FRANCISCO OLARTE FLÓREZ

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

Directores:

**M.Sc MAURICO DUARTE TORO
M.Sc CAORY PATRICIA TAKEUCHI TAM**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENERÍA
PROGRAMA DE INGENERÍA AGRICOLA
NEIVA
2013**

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Director

Director

Neiva, Mayo de 2013

DEDICATORIAS

A Dios Quien me dio la oportunidad de vivir, la fe, la salud y la esperanza para terminar este trabajo.

A la Virgen de Guadalupe Por acompañarme todo los días, por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarte cada día más.

Mi madre Nubia Flórez por darme la vida, ser mi mejor amiga y porque siempre me apoyaste, que esto sea la recompensa a tantos años de trabajo, esfuerzo y desvelo, todo esto te lo debo a ti, te adoro.

Mi padre José Jairo Olarte Charry (QEPD) por su amor, enseñanzas y a quien prometí que terminaría mis estudios. Promesa cumplida Don Jairo.

Mis hermanos Oscar A. Olarte y Milady O. Flórez por estar conmigo, para que este logro les sirva de ejemplo para seguir adelante sin importar los tropiezos que pueden tener en la vida, los quiero mucho.

A mi segundo padre Víctor Charry Olarte quien siempre me motivó a seguir adelante, porque he aprendido tu fuerza y entrega, gracias por compartir tu sabiduría y muchas cosas más.

Mi primo Víctor Andrés Charry Viuchy por su apoyo, amistad y confianza, eres otro hermano.

Mi ahijado Samuel David Correa Carvajal por llenar mi vida de felicidad con tus alegrías, abrazos y travesuras te quiero mucho viejito. Y ahora sí: al infinito y más allá...

Mónica Marcela Carvajal Vanegas amor apenas tienes una idea de todo lo que significas para mí. Tú sabes que mis logros son los tuyos y mil gracias por haber llegado a mi vida, Te amo conita.

A todos mis amigos ustedes saben quiénes son, compañeros y profesores de la Universidad Surcolombiana Facultad de Ingeniería Agrícola, por compartir los buenos y malos momentos siempre se quedaran en mis recuerdos. Y como dijo Galán: "Siempre adelante, ni un paso atrás."

Con mucho cariño:

Jairo Francisco Olarte Flórez.

Las metas que alcanzamos en nuestra vida siempre son gracias al apoyo de nuestros seres queridos, en este momento a punto de culminar una de ellas pasa por mi mente muchos agradecimientos que quizás no quedaran plasmados en esta página de papel, sin embargo de una forma muy resumida quiero agradecer a aquellos seres que de una u otra manera han aportado en este logro.

En primer lugar quiero agradecer **a Dios** por darme la oportunidad de vivir esta experiencia personal con fe y esperanza, así mismo por darme la fuerza espiritual para terminar este trabajo.

A mis padres Emilia Gutiérrez y Jorge Hernando Alarcón por darme la vida y su apoyo día tras día para lograr esta meta, así mismo les agradezco por sus enseñanzas y buenos consejos que han hecho de mí una mejor persona.

A mis hermanos Jorge, Yuri, Carlos, Katherine y Daira Alarcón Gutiérrez por su apoyo, y que este logro sirva de ejemplo para que sigan adelante sin importar los obstáculos que nos pone la vida, los quiero.

A mis sobrinos María José Alarcón Téllez, Juan A. Caquimbo Alarcón y Emily Andrea Alarcón Gutiérrez, por las alegrías que han traído a nuestras vidas con sus travesuras y peleas de niños, los quiero mucho.

A mi novia Lina María Caquimbo por acompañarme en estos años de relación, por su apoyo a lo largo de la carrera, y por los buenos y malos momentos que hemos pasado juntos.

A mis tías, especialmente Amparo Gutiérrez y Marlene Alarcón porque me han apoyado y aconsejado cuando he estado fuera de mi hogar.

A todos **mis primos**, porque su apoyo y confianza también aportaron en este logro.

A mis amigos de La Jagua con los cuales he compartido muchas cosas buenas que para siempre quedaran grabados en mi mente; a los compañeros y profesores de la Universidad Surcolombiana Facultad de Ingeniería Agrícola, por su sabiduría, por los buenos y malos momentos que compartimos en la universidad que hacen de mí hoy un Ingeniero Agrícola con ética y valores dispuesto a servir a la sociedad, siempre se quedaran en mis recuerdos.

Con mucho cariño:

John Edinson Alarcón Gutiérrez

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que participaron e hicieron posible este proyecto muchas gracias.

En primer lugar a Dios por su amor, sabiduría, paciencia y fortaleza.

Nuestras familias por su comprensión, compañía, paciencia, apoyo y motivación.

Los directores del proyecto Caori Patricia Takeuchi T Y Mauricio Duarte Toro, por sus orientaciones, enseñanzas constantes y comprensión en el desarrollo del mismo.

La ingeniera Patricia Luna Tamayo profesora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional sede Bogotá por su asesorías, paciencia y colaboración.

Al instructor del (SENA) sede Pitalito, Bertulfo Avendaño por su colaboración en el desarrollo de selección y corte de los culmos en los predios.

Jaime Núñez Losada por su colaboración en el préstamo de equipos y herramientas para el trabajo de la guadua.

El técnico Efrén Mosquera Villareal por su colaboración, consejos y apoyo.

Los docentes de la Universidad Surcolombiana sede Neiva Rodrigo Pachón, Nelson Gutiérrez guzmán, Jaime Izquierdo Bautista, Miguel German Cifuentes Perdomo, Néstor Enrique Cerquera Peña, Alfredo Olaya Amaya, Hernando Díaz Llano y Emilio Martin Oroasco Chavarro, que han sabido brindar sus conocimiento y consejos en el transcurso de la carrera.

Compañeros y amigos, Cristian F. Pérez, Johannes A. Ossa, Fernando L. Gutiérrez, Paola A. Sánchez, Anyelo Yohan Pérez, Yilberth Oviedo, Carlos E. Cáceres, Edinson Ortiz, John W. Castañeda, Diana M. Jorge M. Polania, Luis A. Rueda, Wilson J. Erazo, Andrés F. Capera, Mario G. Trujillo, José M. Gonzales, Maria F. duran, Ana M. Villanueva, José L. salas, Liseth N. Javela Flórez, Javier F. Gutiérrez, Nadia L. Chica, Niní J. Carrillo, Diana F. Bernal, Ana M. Sabogal, Karla Bernal, Sair Giraldo, Israel Castalleda, Robert Orjuela, Luis H. Huguett, Oscar M. Oviedo, Juan C. Sánchez, Eduardo Mora, Beatriz E. Gómez, Edison Moreno, Mancho G. Pico, Hugo J. Barragán, Juan G. Bolívar, Ingrid O. Oviedo, Andrés F. Silva, por todos los momentos malos y buenos durante 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	34
3.1 LA GUADUA	34
3.2 GUADUA ANGUSTIFOLIA	36
3.2.1 Anatomía	37
3.2.1.1 Tejido parenquimático	38
3.2.1.2 Las fibras	39
3.2.1.3 Haces vasculares	40
3.2.2 Morfología	41
3.2.2.1 Rizoma.....	42
3.2.2.2 Tallo o culmo	43
3.2.2.3 Yema	46
3.2.2.1 Ramas	47
3.2.2.2 Follaje	47
3.2.2.3 Hoja caulinar.....	48
3.2.2.1 Inflorescencia	49
3.2.3 Manejo silvicultura y aprovechamiento	49
3.2.4 Importancia ambiental y socioeconómica.....	51
3.3 LA GUADUA COMO MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN.....	53
3.4 TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA.....	55
3.5 VALOR CARACTERÍSTICO	56
3.6 ESFUERSO ADMISIBLE	56
3.7 MÓDULO DE ELASTICIDAD	57
3.8 DISEÑO EXPERIMENTAL Y DISEÑO ESTADÍSTICO	58
3.8.1 Diseño factorial multinivel	59
3.8.1.1 Análisis de varianza	60
4. METODOLOGÍA.....	61
4.1 LOCALIZACIÓN	61
4.2 NORMAS Y PROTOCOLO.....	62
4.3 SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO	63
4.4 METODOLOGÍA PARA EL CORTE DE LOS CULMOS	64
4.5 ELABORACIÓN DE PROBETAS	64

4.6 ENSAYOS PARA DETERMINAR EL ESFUERZO MÁXIMO DE TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA, MÓDULOS DE ELASTICIDAD, CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD BÁSICA.....	65
4.7 ANÁLISIS DE DATOS	67
4.7.1 Análisis de datos multifactorial.....	67
4.7.2 Variable dependiente, factores, niveles de factor.....	67
4.7.3 Organización de los datos.....	67
5. CÁLCULOS Y RESULTADOS	69
5.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS CULMOS	69
5.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS PROBETAS	69
5.3 RESISTENCIA A LA TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA, CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD ANHIDRA.....	70
5.4 GRÁFICAS ESFUERZO VS DEFORMACIÓN	72
5.5 ESFUERZOS ADMISIBLES Y VALORES CARACTERÍSTICOS.....	74
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	78
6.1 ELIMINACIÓN DE DATOS ATÍPICOS	78
6.2 ANÁLISIS DESCRIPTIVO	78
6.3 ANÁLISIS DE VARIANZA MULTIFACTORIAL.	80
6.4 PRUEBAS DE MÚLTIPLES RANGOS PARA LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN.....	81
6.5 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS.....	83
6.5.1 Normalidad de los residuos	83
6.5.2 Prueba de homocedasticidad.....	83
6.5.3 Independencia de los residuos.....	84
6.6 ANÁLISIS DESCRIPTIVO MÓDULO DE ELASTICIDAD.	85
6.7 ANÁLISIS ESFUERZO ADMISIBLES A TENSIÓN.....	86
7. CONCLUSIONES	87
8. RECOMENDACIONES.....	89
9. BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS	96

LISTA DE ABREVIATURAS

Fult	=	Carga máxima a la cual falla la probeta
COVt	=	Coefficiente de variación de esfuerzos para tensión
CH	=	Contenido de humedad
R ²	=	Coefficiente de correlación
δ	=	Deformación
ε	=	Deformación unitaria
LSD	=	Diferencia mínima significativa
DA	=	Densidad anhidrida
σ	=	Esfuerzo
σ_{adm}	=	Esfuerzo admisible
σ_{ult}	=	Esfuerzo último
FDC	=	Factor de duración de carga
FC	=	Factor de reducción para esfuerzos admisibles
F _s	=	Factor de seguridad
σ_{pr}	=	Límite de proporcionalidad
M	=	Masa de la probeta antes del secado
m _o	=	Masa de la probeta después del secado
E	=	Módulo de elasticidad
N	=	Número de ensayos
f _{kt}	=	Valor característico
b_{prom}	=	Valor promedio de diámetro
e_{prom}	=	Valor promedio de espesor
F _{00.5i}	=	Valor correspondiente al percentil 5 de los datos
V	=	Volumen de la probeta

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Resultados fuerza de falla para los diferentes tramos de la guadua.	30
Tabla 2. Resultados módulo de elasticidad para los diferentes tramos de la guadua.	30
Tabla 3. Resultados esfuerzo de tensión para los diferentes tramos de la guadua.	31
Tabla 4. Distribución de las probetas ensayadas a tensión paralela a la fibra.	31
Tabla 5. Análisis estadístico para resistencia última a tensión paralela, tres zonas.	31
Tabla 6. Análisis estadístico para módulo de elasticidad a tensión paralela, tres zonas.	32
Tabla 7. Análisis descriptivo para módulo de elasticidad por secciones para probetas instrumentadas con comparadores de carátula y deformímetros eléctricos.	33
Tabla 8. Clasificación taxonómica de la guadua.	34
Tabla 9. Factores climáticos que condicionan el crecimiento de la guadua.	35
Tabla 10. Factores edáficos que condicionan el crecimiento de la guadua.	35
Tabla 11. División transversal del culmo de la guadua angustifolia.	38
Tabla 12. Características y usos principales de los culmos de <i>Guadua angustifolia</i> según el estado de madurez.	44
Tabla 13. Características y usos principales de los culmos de <i>Guadua angustifolia</i> según el segmento longitudinal.	45
Tabla 14. Productos y subproductos de la <i>Guadua angustifolia</i> .	53
Tabla 15. Pautas generales para diseñar un experimento.	59
Tabla 16. Zonas de estudio municipio Pitalito.	63

Tabla 17. Factores y niveles de factor, cuyos efectos sobre el Esfuerzo a la tensión serán evaluados.	67
Tabla 18. Clasificación de los datos según el factor y sus niveles correspondiente.	68
Tabla 19. Área de la sección transversal y dimensiones promedios de probeta extraída de la parte media de los culmos procedentes de la zona C.	70
Tabla 20. Esfuerzo ultimo a tensión, contenido de humedad y densidad anhídrida De las probetas de la sección media de la zona C.	72
Tabla 21. Valores iniciales de deformación unitaria de la probeta BT12Mb, medidas con deformímetros eléctricos.	73
Tabla 22. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para el rodal A.	76
Tabla 23. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para el rodal B.	76
Tabla 24. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para el rodal C.	76
Tabla 25. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para el rodal D.	76
Tabla 26. Valores característicos y esfuerzos admisibles para los cuatro rodales.	77
Tabla 27. Análisis descriptivo para diámetros para las 4 zonas.	78
Tabla 28. Análisis descriptivo para espesor de pared para las 4 zonas.	79
Tabla 29. Análisis descriptivo para densidad anhídrida para las 4 zonas.	79
Tabla 30. Análisis descriptivo para contenido de humedad para las 4 zonas.	80
Tabla 31. Análisis de varianza multifactorial para resistencia a la compresión paralela a la fibra.	80
Tabla 32. Prueba de múltiple rango para la resistencia a la tensión por Zona.	81

Tabla 33. Prueba de múltiple rango para la resistencia a la tensión por Sección.	82
Tabla 34. Módulos de elasticidad para probetas con deformímetros eléctricos.	85
Tabla 35. Análisis descriptivo para módulo de elasticidad de probetas, con deformímetros eléctricos.	85
Tabla 36. Caracterización física de culmos del Rodal A. Diámetros y espesores de cada una de las tres secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).	110
Tabla 37. Caracterización física de culmos del Rodal B. Diámetros y espesores de cada una de las tres secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).	113
Tabla 38. Caracterización física de culmos del Rodal C. Diámetros y espesores de cada una de las tres secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).	116
Tabla 39. Caracterización física de culmos del Rodal D. Diámetros y espesores de cada una de las tres secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).	119
Tabla 40. Caracterización física de culmos del rodal A. Longitud de entrenudos (cm).	122
Tabla 41. Caracterización física de culmos del rodal B. Longitud de entrenudos (cm).	124
Tabla 42. Caracterización física de culmos del rodal C. Longitud de entrenudos (cm).	126
Tabla 43. Caracterización física de culmos del rodal D. Longitud de entrenudos (cm).	128
Tabla 44. Resultados experimentales para el ensayo de Tensión paralela a la fibra, Zona A.	142
Tabla 45. Resultados experimentales para el ensayo de Tensión paralela a la fibra, Zona B.	143
Tabla 46. Resultados experimentales para el ensayo de Tensión paralela a la fibra, Zona C.	145

Tabla 47. Resultados experimentales para el ensayo de Tensión paralela a la fibra, Zona D. 146

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Puente en guadua construido por aborígenes.	27
Figura 2. Viviendas en guadua y bahareque en Manizales Colombia.	28
Figura 3. Museo Nómada en México diseñado por Simón Vélez.	28
Figura 4. Rodal de <i>Guadua angustifolia</i> vereda Zanjones, municipio de Pitalito.	36
Figura 5. Composición del tejido en las diferentes zonas a través de una sección transversal de <i>Guadua angustifolia</i> : zona de periferia y transición (a); zona media (b); zona interna (c).	39
Figura 6. Haces vasculares y tejido parenquimático en el espesor de la pared de la <i>Guadua angustifolia</i> .	40
Figura 7. Detalle del haz vascular de la <i>Guadua angustifolia</i> : a) metaxilema b) floema, c) protoxilema, d) tejido parenquimático, e) fibras.	41
Figura 8. Raíz de <i>Guadua angustifolia</i> verdea Aguadas, Municipio de Pitalito (Huila).	42
Figura 9. Culmo de <i>Guadua angustifolia</i> verdea Aguadas, Municipio de Pitalito (Huila).	43
Figura 10. Yema sobre línea nodal en un culmo de <i>Guadua angustifolia</i> .	46
Figura 11. Ramas de <i>Guadua angustifolia</i> .	47
Figura 12 Hojas del follaje en <i>Guadua angustifolia</i> .	48
Figura 13. Renuevo de <i>Guadua angustifolia</i> recubierto por hojas caulinares.	48
Figura 14. Inflorescencia en <i>Guadua angustifolia</i> .	49
Figura 15. Tableta con laminado de guadua.	52
Figura 16. Mueble construido con guadua.	52
Figura 17. Edificio de tres pantas construidas en tapia pisada al bahareque	54

Figura 18. Curva típica Esfuerzo Vs Deformación.	58
Figura 19. Principios de diseño de experimentos (Fisher, 1926)	58
Figura 20. Etapas para el desarrollo del proyecto.	61
Figura 21. Ubicación geográfica del municipio de Pitalito.	62
Figura 22. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria longitudinal probeta BT12Mb.	73
Figura 23. Gráfico de probabilidad normal para residuos.	83
Figura 24. Gráfico de residuos frente a predichos para esfuerzo a la tensión en Mpa.	84
Figura 25. Gráfico de residuos frente a predichos para esfuerzo a la tensión en Mpa.	84
Figura 26. Selección y corte con machete de la guadua, predio SENA Yamboro, Pitalito Huila.	97
Figura 27. Corte sobre el canuto, para evitar el daño físico del rizoma.	97
Figura 28. Medición y marcación de las secciones del culmo, predio La Esperanza Pitalito Huila.	98
Figura 29. Trozado de culmos en secciones, predio La Esperanza Pitalito Huila.	98
Figura 30. Selección del tolete, predio La Esperanza Pitalito Huila.	99
Figura 31. Almacenamiento de los toletes, Taller de carpintería Jaime Núñez, Pitalito-Huila.	99
Figura 32. Extracción de latas a partir de los toletes, con sierra de disco, Taller de carpintería Jaime Núñez, Pitalito-Huila.	100
Figura 33. Latas extraídas de los toletes de guadua.	100
Figura 34. Elaboración de probetas en el Taller de carpintería Don Luis (Neiva-Huila).	101
Figura 35. Probetas Para La prueba de Tensión Paralela a la fibra.	101

Figura 36. Probetas para la prueba de densidad.	102
Figura 37. Inmersión en agua de las probetas, edificio SINDU Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.	102
Figura 38. Equipo para el ensayo de tensión paralela a la fibra, Carpintería edificio SINDU, Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.	103
Figura 39. Probeta fallada a tensión paralela a la fibra.	103
Figura 40. Falla Producida por las mordazas.	104
Figura 41. Falla típica de tensión paralela a la fibra.	104
Figura 42. Equipo para el ensayo de módulo de elasticidad, Laboratorio de maderas y guadua SINDU, edificio SINDU, Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.	105
Figura 43. Deformímetro eléctrico Uniaxial.	105
Figura 44. Probetas falladas y guardadas en bolsa ziploc posteriormente de la prueba de tensión paralela a la fibra, para hallar la humedad de las mismas.	106
Figura 45. Balanza para el peso de probetas Laboratorio de maderas y guadua SINDU, edificio SINDU Universidad Nacional Sede Bogotá.	106
Figura 46. Horno para el secado de las probetas de guadua, Laboratorio de maderas y guadua SINDU, edificio SINDU Universidad Nacional Sede Bogotá.	107
Figura 47. Prueba de densidad, edificio SINDU Universidad Nacional Sede Bogotá.	107
Figura 48. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta AT3Ib.	148
Figura 49. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta AT12Ib.	148
Figura 50. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta AT4Ma.	148
Figura 51. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta AT4Sb.	148
Figura 52. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta BT10Ib.	148
Figura 53. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta BT12Mb.	148

Figura 54. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta BT1Sb*.	149
Figura 55. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta CT10Ib.	149
Figura 56. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta CT2Ma.	149
Figura 57. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta CT11Sb.	149
Figura 58. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta DT3Ib.	149
Figura 59. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta DT2Sb.	149

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Corte y trozado de la guadua.	97
ANEXO 2. Caracterización física de culmos y extracción de probetas	99
ANEXO 3. Ensayos físicos y mecánicos para las probetas de <i>Guadua angustifolia</i> .	103
ANEXO 4. Caracterización física de la sección media (basa) y lugar de corte de la probeta CT4Mb.	108
ANEXO 5. Caracterización física de la probeta CT4Mb.	109
ANEXO 6. Caracterización física de culmos de <i>Guadua angustifolia</i> .	110
ANEXO 7. Caracterización física de probetas de <i>Guadua angustifolia</i> .	130
ANEXO 8. Carga máxima, esfuerzo último a compresión, contenido de humedad y densidad básica.	142
ANEXO 9. Gráficas esfuerzo vs deformación.	148

GLOSARIO

Los siguientes términos y definiciones fueron tomados de las Normas Técnicas Colombianas NTC 5300, NTC 5301, NTC 5525 y la Norma Unificada para el Manejo y Aprovechamiento de la guadua.

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

Carga: 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 presenta el mayor diámetro y mayor espesor de pared.

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

Densidad anhidra: Relación entre la masa y el volumen de la madera, anhidra (completamente seca). La que se usa en general.

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

Esfuerzo admisible: Son los esfuerzos de diseño de compresión paralela y perpendicular, corte paralelo, flexión, tracción paralela, perpendicular, de los elementos estructurales de guadua.

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

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

Fractil: Valor en un conjunto ordenado de datos bajo el cual se encuentra una proporción especificada de todos los valores.

Guadua madura: Guadua de edad mayor a 5 años la cual presenta tallo verde-blanquesino, con presencia abundante 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.

Laboyano: Persona natural del municipio de Pitalito.

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

Punzonamiento: Esfuerzo producido por tracciones en una pieza debidas a los esfuerzos tangenciales originados por una carga localizada en una superficie pequeña de un elemento bidireccional alrededor de su soporte.

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.

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

El conocimiento del comportamiento mecánico de la *Guadua angustifolia* en el departamento del Huila se ha hecho importante, debido a su alta utilización en todo el departamento. Con el presente estudio se continúa con la caracterización de la guadua de la zona sur del departamento del Huila, iniciada en un primer proyecto, realizado por dos estudiantes de la Universidad Surcolombiana, donde se estudió el comportamiento a la compresión, para tener una completa caracterización de la guadua de esta zona.

El presente proyecto se denominó “Esfuerzo máximo de tensión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila” cuyo objetivo principal es la resistencia a la tensión paralela a la fibra y el módulo de elasticidad longitudinal a tensión siguiendo las recomendaciones dadas por las Normas Técnicas Colombianas, NTC 5525 y Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistente RNSR-10. De igual manera se evaluaron propiedades físicas como densidad anhidrida, contenido de humedad, longitudes y área de la probeta, así como longitudes y número de entrenudos para las secciones de culmos, siguiendo los aliniamientos de 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 tensión paralela a la fibra de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Para la determinación del módulo de elasticidad para la *Guadua Angustifolia* se efectuó mediante ensayos con deformímetros eléctricos uniaxiales.

Con base en los datos obtenidos se realizó un análisis estadístico inferencial, el cual se hizo a partir de un diseño experimental en el que se midió la incidencia de los factores zona y sección del culmo en la resistencia a la tensión paralela a la fibra. El ANOVA multifactorial permitió reconocer la significancia estadística del factor sección y zona con un nivel de confianza del 95%.

Los datos del estudio estadístico permitieron presentar un análisis descriptivo y comparativo de las variables resistencia a la tensión paralela a la fibra, módulos de elasticidad, diámetros, espesores de pared y densidad anhidrida. En este análisis se tuvo en cuenta como referencia otros estudios realizados a nivel nacional, 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 tensión, módulos de Elasticidad, análisis estadístico inferencial.

ABSTRACT

The knowledge of the mechanical behavior of *angustifolia* Bamboo in Huila has become important because of its high use throughout the department. The present study was intended to continue the mechanical characterization of bamboo in the southern department of Huila. This process initiated by two students of the surcolombiana University, aimed to have a complete characterization of the bamboo from this area.

The present project is called "Determination of the Tension Strength parallel to the fiber and longitudinal elastic modulus of *Guadua angustifolia* Bamboo from Pitalito Huila" in which the main objective is to determine, the tension strength parallel to the fiber and the modulus of elasticity according to the recommendations given by the Technical Colombian Code NTC 5525 and Colombian Code for seismic resistant constructions NSR-10. In the same way some physical properties were evaluated as anhydrous density, moisture content, lengths and area of the each specimen, as well as lengths and number of internodes for culms sections following the NTC 5525, NTC 5300, NTC 5301, ISO/DIS 22157 and the protocols for culms and specimens cutting, and determination of the strength to the tension parallel to the fiber of the National University of Colombia in Bogotá. For the determination of the modulus of elasticity for *Guadua angustifolia* Bamboo electrical one-axial gages were used.

Based on the obtained data it was performed inferential statistical analysis, using an experimental design which measured the incidence of areas and section culms factors in the strength to the tension parallel to the fiber. The multifactorial ANOVA allowed to recognize the statistical significance of areas and section factor with a confidence level of 95%.

The statistical data allowed to show a descriptive and comparative analysis of the variables strength to the tension parallel to fiber, modulus of elasticity, diameters, wall thicknesses and anhydrous density. In this analysis it was taken into account other studies done at a national level, as well as what is established in the NSR-10. Additionally, characteristic values and allowable stresses were calculated using the data of last resistance analyzed.

Keywords: *Guadua angustifolia* Bamboo, tensión strength, elasticity modules, inferential statistical analysis.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A pesar que Colombia es reconocida internacionalmente como uno de los países avanzados en sistemas constructivos con bambú y en particular el bambú *Guadua angustifolia* ha sido utilizado en múltiples oficios y es un material de tradición histórica en la construcción de edificaciones, aún no se le ha dado la importancia que se necesita. Sólo recientemente, la guadua es tratada como material de construcción por parte de arquitectos e ingenieros, después de algunos avances en normatividad como la implementación del Decreto 926 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y específicamente con el capítulo G. 12 “Estructuras de guadua” del actual Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo resistentes (NSR-10); para el diseño y construcción de estructura de guadua, Para poder llegar al capítulo mencionado , se hizo necesario la ejecución de estudios físicos y mecánicos de la *Guadua angustifolia* realizados principalmente con material extraído de los departamentos del Quindío, Caldas, Antioquia, Cundinamarca, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca.

Sin embargo, estudios físico y mecánicos sobre la *Guadua angustifolia* en el departamento del Huila son muy pocos, a pesar que en el sur del departamento municipios como Pitalito y Timana, cuentan con grandes bosques de guadua; que en la actualidad son talados por ser considerados por algunos propietarios de los predios como maleza, para dar campo a cultivos tradicionales como: café, maíz, frijol, plátano, frutales y hortalizas, base fundamental de la economía de la región. Debido al desconocimiento de sus propiedades físico-mecánicas y ambientales de la guadua, los rodales no son aprovechados como alternativas de desarrollo agroindustrial con posibilidades de explotaciones de manera tecnificada y sostenible, que producirían ingresos económicos en el sector rural de la región.

Por esto se hace necesario estudiar en especial el esfuerzo máximo a tensión paralela a la fibra y el módulo de elasticidad longitudinal a tensión de la *Guadua angustifolia* de la región sur del departamento del Huila, dando origen al presente estudio para determinar el esfuerzo máximo a tensión paralela a la fibra y el módulo de elasticidad longitudinal a tensión siguiendo las recomendaciones de la Norma Técnica Colombiana NTC5525 y el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (NSR-10).

Con el propósito de confrontar los resultados obtenidos de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito, se formularon las siguientes hipótesis:

- El esfuerzo a la tensión paralela a la fibra de culmos de *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito, no resulta afectada por las condiciones del sitio donde se desarrolla.

- La parte o sección en culmos de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito, no incide sobre el esfuerzo a tensión paralela a la fibra.

Adicional a la determinación de la resistencia a la tensión paralela a la fibra y del módulo de elasticidad longitudinal a tensión, se evaluaron los contenidos de humedad y densidad anhídrida del material al momento del ensayo.

JUSTIFICACIÓN

Debido a la creciente demanda de la guadua, por parte de los sectores de la arquitectura y la construcción como material estructural en diferentes construcciones urbanas y rurales, se ha generado un interés mayor de investigación de las propiedades físico-mecánicas de esta, principalmente en los departamentos de Quindío, Caldas, Antioquia, Cundinamarca, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca.

En el municipio de Pitalito ubicado en el sur del departamento de Huila, se encuentra la especie *Guadua angustifolia*, utilizada en su gran mayoría en el sector artesanal y constructivo como, material de construcción, a través de experiencias de sus pobladores en tradiciones familiares en estructuras tipo agrícola como secadores solares, corrales, establos, ha generado gran interés en entidades como el SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje), institución que ha dirigido procesos de tecnificación en el manejo y aprovechamiento de la guadua, lo mencionado anteriormente, hace importante el estudio de las propiedades físico-mecánicas de la guadua de este municipio y específicamente su comportamiento a tensión paralela a la fibra. Con la determinación del esfuerzo máximo a tensión paralela a la fibra y el módulo de elasticidad; se busca mejorar la base de datos existentes en la región para investigaciones futuras por parte de estudiantes, técnicos, ingenieros y arquitectos; convirtiéndose de esta manera en una especie de aprovechamientos industriales, generadora de empleo e ingresos económicos para las comunidades rurales del municipio de Pitalito-Huila.

Los resultados de este trabajo de investigación estarán en disposición de estudiantes, profesores y demás personas involucradas con la Universidad Surcolombiana, la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá y el SENA sede Pitalito y en general para la comunidad académica del país.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el esfuerzo máximo de tensión paralela a la fibra y el módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar los procedimientos de ensayos para la tracción paralela de las fibras de la *Guadua angustifolia*, cumpliendo la norma estándar internacional de bambú ISO 22157 - *determinación de propiedades físicas y mecánicas*
- Determinar el esfuerzo máximo a la tensión paralela a la fibra y el módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* para cepa, basa y sobrebasa, procedente de cuatro rodales del municipio de Pitalito.
- Comparar los resultados del esfuerzo máximo a la tensión paralela a la fibra entre los diferentes rodales, junto a los valores obtenidos de los diferentes tramos de la *Guadua angustifolia* cepa, basa y sobrebasa mediante análisis estadísticos.
- Determinar los valores característicos y admisibles para tensión paralela a la fibra según la norma NSR-10.

2. ANTECEDENTES

La guadua ha sido aprovechada desde épocas antiguas por nuestros aborígenes como materia prima especialmente para la construcción de sus casas, balsas, herramientas y puentes (Figura 1), Fue utilizada en la construcción de vivienda en el establecimiento de poblaciones de la zona cafetera como la que se observa en la (Figura 2). Luego, de una serie de acontecimientos como los incendios de la ciudad de Manizales en los años 1922, 1925, 1926 y la aparición de los nuevos materiales constructivos como el acero y el concreto; la población con recursos del eje cafetero reemplazó el uso de la guadua en construcción por otros materiales. Sin embargo, la población de bajos recursos siguió con la tradición de construir en zonas urbanas y rurales con guadua aunque, muy pobremente trabajada

Figura 1. Puente en guadua construido por aborígenes.



Fuente: Guadua arquitectura y diseño. Marcelo Villegas

Figura 2. Viviendas en guadua y bahareque en Manizales Colombia



Fuente: Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia. Eduardo Salas.

Actualmente la *Guadua angustifolia* es observada como alternativa ambiental, producto de grandes construcciones en guadua alrededor del mundo (Figura 3), Arquitectos como Simón Vélez han despertado el interés a trabajar con materiales naturales, que contribuyan al mejoramiento ambiental afectado por el uso de los materiales cotidianos en construcción.

Figura 3. Museo Nómada en México diseñado por Simón Vélez



Fuente: Foto cortesía de Simón Vélez

Se han desarrollado investigaciones en Colombia de las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia*, con la obtención de valores de resistencia a la tensión paralela a la fibra y módulos de la elasticidad, A continuación se presentan algunos de ellos:

López y Trujillo (2002), presentan un valor de esfuerzo a tracción paralela promedio de 53 Mpa, tomando la norma IMBAR (Standard for Determination of Physical and Mechanical Properties OF Bamboo).

Castrillón y Malaver (2004), realizaron en la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá el trabajo; Procedimientos de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la guadua, documento que especifica la realización de los ensayos a tensión paralela a la fibra.

En la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín Osorio, Vélez y Ciro (2005), publicaron el documento “Determinación de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de la *Guadua Angustifolia Kunth*” siguiendo las recomendaciones de las normas ASTM 143-94, ISO TC-165 del INBAR (1999) e S358.2 ASAE American Society of Agricultural Engineers (1990), en su estudio se evaluó la tensión paralela para 15 probetas de la sección media o basal del culmo, de diámetros externos entre 9 y 12 cm y espesores de pared entre 0,6 y 1,0, cm para *Guadua angustifolia* Kunth del municipio de Venecia Antioquia. Los resultados obtenidos para el esfuerzo promedio fueron de 190,70 Mpa.

La Universidad Tecnológica de Pereira UTP, ha desarrollado diferentes estudios e investigaciones de características físicas y mecánicas de la guadua *Angustifolia*. González y Montoya (2006) publicaron el trabajo “Metodología de preparación de muestras experimentales en procesos investigativos con *Guadua angustifolia kunth*”; González, Montoya y Bedoya (2006) también publicaron el documento “Esfuerzo de tensión y la influencia de la humedad relativa del ambiente y la altura a lo largo del tramo en la especie de bambú *Guadua angustifolia kunth*” siguiendo las normas internacionales ISO/TR 22157-1 e ISO/TR 22157-2, utilizando material extraído del vivero ubicado al interior de la misma universidad, mediante análisis de varianza (ANOVA) a través del software SPSS versión 10,0, se analizó el esfuerzo a la tensión respecto a 3 bloques de materia prima: verde, madura y sobremadura para dos factores; factor tramo; cepa, basa, sobrebasa y factor ambiental; normal 65% de humedad relativa y húmedo 85% de humedad relativa. Para la fuerza de falla con relación al tramo no se encontraron diferencias estadísticas significativas, para el factor ambiente con un valor-P de 0,124; al analizar la interacción entre los factores tramo de la guadua y ambiente, no se encontraron diferencias significativas. El factor tramo por su parte es significativo con un valor-p< 0,001 igualmente las fuerzas promedios de los diferentes métodos del experimento, en la tabla 1 se presenta los resultado fuerza de falla.

Para el módulo de elasticidad con relación al ambiente y tramo, el factor ambiente con un valor p de 0,0011, el factor tramo con un valor de p de 0,043 son significativos, al analizar la interacción entre los factores tramo de la guadua y ambiente no se encontraron diferencias significativas. en la tabla 2 se presentan los resultados de módulo de elasticidad. Para el Esfuerzo de Rotura con relación al tramo y al ambiente, el factor tramo con un valor p de 0,069, el factor ambiente con un valor p de 0,546, no son significativos, al analizar la interacción entre los factores no se encontraron diferencias significativas para un valor p de 0,311, en la tabla 3 se presentan los resultados de esfuerzo a tensión.

Tabla 1. Resultados fuerza de falla para los diferentes tramos de la guadua.

Ambiente (%HR/T°C)	Tramo	Fuerza de Falla (N)	Intervalo de confianza 95% (N)	
		Media	Límite inferior	Límite superior
Normal (65/20)	Cepa	10295.00	8938.10	11651.90
	Basa	6118.30	4761.40	7475.30
	sobrebasa	5436.70	4079.70	6793.60
Húmedo (85/20)	Cepa	8051.30	6694.40	9408.30
	Basa	8051.30	4844.70	7558.60
	sobrebasa	5093.30	3736.40	6450.30

Tabla 2. Resultados módulo de elasticidad para los diferentes tramos de la guadua.

Ambiente (%HR/T°C)	Tramo	Módulo de Falla(N/mm2)	Intervalo de confianza 95% (N/mm2)	
		Media	Límite inferior	Límite superior
Normal (65/20)	Cepa	17139.20	13968.10	20310.20
	Basa	21066.30	17895.30	24237.40
	sobrebasa	28281.80	17110.80	23452.90
Húmedo (85/20)	Cepa	13695.40	10524.30	16866.50
	Basa	18081.70	14910.60	21252.70
	sobrebasa	15856.50	12685.50	19027.60

Tabla 3. Resultados esfuerzo de tensión para los diferentes tramos de la guadua.

Ambiente (%HR/T°C)	Tramo	Fuerza de Falla(N/mm ²)	Intervalo de confianza 95% (N/mm ²)	
		Media	Límite inferior	Límite superior
Normal (65/20)	Cepa	161.50	134.70	188.30
	Basa	191.60	164.70	218.40
	sobrebasa	172.80	146.00	199.60
Húmedo (85/20)	Cepa	154.80	127.90	181.60
	Basa	187.70	160.80	214.50
	sobrebasa	164.90	138.20	191.80

En el proyecto de investigación “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 desarrollado en la Universidad Nacional sede Bogotá en el año 2010, bajo la coordinación del profesor Jorge Enrique Lozano Peña, donde se desarrolló la caracterización física y determinación de propiedades físicas y mecánicas de culmos de *Guadua angustifolia* procedente de tres zonas: la zona A correspondiente al departamento de Quindío, la zona B correspondiente al departamento de Cundinamarca y la zona C correspondiente al Valle del Cauca. en la tabla 4 se presenta la distribución de las mismas, los resultados de promedios para resistencia a la tensión paralela a la fibra y módulo de elasticidad para las tres zonas se muestran en las tablas 5 y 6 respectivamente.

Tabla 4. Distribución de las probetas ensayadas a tensión paralela a la fibra.

		Zona del país		
		Zona A	Zona B	Zona C
Parte de la Guadua	Inferior	15.00	16.00	15.00
	Media	30.00	30.00	30.00
	Superior	30.00	30.00	30.00
	Total	75.00	76.00	75.00

Tabla 5. Análisis estadístico para resistencia última a tensión paralela, tres zonas

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total zonas
Numero de datos (N)	41.00	57.00	63.00	161.00
Promedio (MPa)	60.82	61.37	61.81	61.40

Tabla 5. (Continuación).

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total zonas
Desviación estandar (MPa)	15.33	15.22	11.10	13.70
Coefficiente de variación	25.21	24.80	17.97	22.32
Percentil 5 (MPa)	44.61	40.69	44.08	42.73
Valor característico (MPa)	39.87	37.08	41.39	40.70

Tabla 6. Análisis estadístico para módulo de elasticidad a tensión paralela, tres zonas

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total zonas
Numero de datos (N)	38.00	89.00	84.00	211.00
Promedio (MPa)	6631.10	6079.46	6992.34	6542.23
Desviación estandar (MPa)	2301.10	2699.96	3186.54	2859.06
Coefficiente de variación	34.70	44.41	45.57	43.70
Percentil 5 (MPa)	3646.63	2810.80	3094.83	3025.60
Valor característico (MPa)	3213.30	2009.00	2489.95	2009.00

Mateo Gutiérrez Gonzales, en el año 2011 desarrolló el proyecto de investigación “Factor de corrección por contenido de humedad para la resistencia a tensión paralela a la fibra de la *Guadua angustifolia* Kunth”, donde ensayó 674 probetas con material procedente de tres diferentes regiones de Colombia: Quindío (Montenegro y Quimbaya), Cundinamarca (Pacho), Valle del Cauca (Bugá), divididas en sus secciones inferior, media y superior basándose en la NTC 5525.

Por otra parte Capera y Erazo (2012) realizaron el estudio “Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila”, pioneros en estudios de la *Guadua angustifolia* para el departamento del Huila con colaboración del grupo de investigación Análisis Diseño y Materiales, GIES de la Universidad Nacional sede Bogotá y la Universidad Surcolombiana, siguiendo las recomendaciones dadas por las NTC 5525 y NSR-10, trabajo de gran ayuda para la realización del presente proyecto; los resultados obtenidos del Análisis descriptivo para módulo de elasticidad se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. 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	9.00	10.00	7.00	26.00
E0,5 = 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
E0,05 = percentil 5 (Mpa)	1702,40	4439,20	2123,10	2123,10
EMínimo (Mpa)	1702,40	4439,20	2123,10	1702,40
EMáximo (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

3. MARCO TEÓRICO

3.1 LA GUADUA

Según Hidalgo (2008), a pesar de que el bambú ha sido una planta conocida y empleada a través de la historia de la humanidad, su clasificación botánica ha sido difícil por las características mismas de la planta, ya que su florecimiento solo se presenta en intervalos de 30, 60, 90 e incluso 100 años después y las flores y los frutos son indispensables para la clasificación. Taxonómicamente pertenece a la familia *Poaceae*, 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. De acuerdo con Uribe & Durán (2002), la guadua es una gramínea nativa, de amplia distribución en América, donde ha cumplido un importante papel ambiental, sociocultural y económico; la guadua es un género que forma parte de la subtribu *Guadinae* y contiene entre sus especies a la *Guadua angustifolia*.

El Código Internacional de Nomenclatura Botánica ha establecido para la guadua 14 rangos taxonómicos (tabla 8).

Tabla 8. Clasificación taxonómica de la guadua.

REINO	Vegetal
DIVISIÓN	Spermatofitas
SUBDIVISIÓN	Angiospermas
ORDEN	Glumiflorales
CLASE	Monocotiledóneas
FAMILIA	Poaceae
SUBFAMILIA	Bambusoideae
SUPERTRIBU	Bambusodae
TRIBU	Bambuseae
SUBTRIBU	Guadinae
GÉNERO	Guadua
ESPECIE	Angustifolia Kunth
VARIEDAD	Bicolor
FORMA	Castilla, Cebolla, Macana, Cotuda, Rayada
NOMBRE CIENTÍFICO	Guadua Angustifolia Kunth (Bambusa guadua H et B)

Fuente: Uribe & Durán, 2002.

El género guadua consta de aproximadamente 30 especies, las cuales se pueden encontrar desde México a los 23° latitud Norte, hasta Argentina a los 35° latitud sur, y en alturas sobre el nivel del mar comprendidas entre los 0 m.s.n.m. a los 2800 m.s.n.m. (Gutiérrez, 2011). Según Castaño (2002), Citado por Capera & Erazo (2012), expone 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 9 y 10). La guadua en Colombia se puede encontrar en el Amazonas, en la Región Atlántica y en la Región Andina. La de mayor reconocimiento dentro del país es la guadua que crece en la Región Andina, debido a su incidencia en el desarrollo económico y cultural, fenómeno observado especialmente en la región del eje cafetero (Pantoja & Acuña, 2005); los departamentos en Colombia donde se distribuye la mayor parte de guadua son, Antioquia, Cauca, Caldas, Cundinamarca, Huila, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca.

Tabla 9. Factores climáticos que condicionan el crecimiento de la guadua.

Factor	Rango General	Rango óptimo
Altitud (m.s.n.m.)	40 – 2600	600 – 2000
Temperatura (°C)	14 – 26	20 -26
Precipitación (mm/año)	950 – 5000	1800 – 2000
Brillo Solar (Hora/Luz/año)	1400 – 2200	1800 – 2000
Humedad Relativa (%)		75 – 85

Fuente: Capera & Erazo, 2012.

Tabla 10. Factores edáficos que condicionan el crecimiento de la guadua.

Factor	Características deseables
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	Moderadamente alta
Retención de humedad	Moderadamente alta
Drenaje	Bueno
Fertilidad	Moderada a alta. En caso de deficiencias de N, P, K, B se debe proceder a su abonamiento

Fuente: Capera & Erazo, 2012.

Tabla 10. (Continuación).

Factor	Características deseables
Quemas	No permitido
Pastoreo	No permitido
Relieve	En lo posible, zonas planas y onduladas

Fuente: Capera & Erazo, 2012.

3.2 GUADUA ANGUSTIFOLIA

De acuerdo con Giraldo & Sabogal (1999), citados por Uribe & Durán (2002) y Castrillón & Malaver (2004), en América las primeras especies de guadua fueron recolectadas durante la Real Expedición Botánica en 1783, por José Celestino Mutis. Los primeros en analizar los especies de guadua fueron el taxónomo y naturalista francés Aimé Bonpland y el alemán Alejandro Von Humboldt naturalista y explorador quienes la clasifican como *Bambusa Guadua*; en 1822 el alemán Karl Sigismund, conocido como Kunth, luego de estudios, concluyó que la guadua de América debía ser agrupada en un género diferente al de *Bambusa*, ya que la distribución es distinta al igual que la palea, que es una estructura floral; Kunth clasificó la guadua de América como *Guadua angustifolia* (Figura 4), luego de que se creara el género guadua, utilizando para esto el vocablo indígena “Guadua” que es como la conocían originalmente las comunidades indígenas de Colombia y Ecuador.

Figura 4. Rodal de *Guadua angustifolia* vereda Zanjones, municipio de Pitalito.



Fuente: Fotografía de los autores.

Pantoja y Acuña (2005), especifican que la *Guadua angustifolia* tiene altas velocidades de crecimiento, de aproximadamente 13 centímetros por día; en los primeros seis o siete meses de vida, esta alcanza una altura final de 20 a 30 metros y un diámetro de hasta 18 centímetros, luego de este proceso y a partir del séptimo mes crecen las ramas tamizadas, que se encuentran en forma de espina en toda el tallo mostrando las hojas. En su comienzo, el tallo se envuelve en una cáscara peluda, que se cae después de los dos años de vida y es la que brinda la protección en el ciclo inicial de la guadua.

3.2.1 Anatomía

La guadua se compone de materiales de celulosa reforzada con sílice, sus características anatómicas y estructurales únicas hacen que sea superior a otra especie natural conocida; es renovable, disponible en abundancia, de bajo costo y favorable al medio ambiente, teniendo en cuenta estas propiedades y otras, como la densidad y las propiedades mecánicas de cualquier material clasificado funcionalmente, tal vez la guadua sea el mejor.

Según Liese (1998) y Londoño (2002), citados por Gutiérrez (2011), en la sección transversal del tallo se presenta tres componentes típicos en cuanto a la anatomía:

- La epidermis o corteza exterior: En la *Guadua angustifolia* tiene una gran concentración de células de sílice, que contribuyen a la dureza del material. La corteza ayuda a prevenir la pérdida del contenido de humedad y también sirve como protección para resistir los impactos mecánicos que puede sufrir el culmo.
- La capa interior de la pared del tallo: Está compuesta por capas de parénquima, que a menudo son gruesas y con alto contenido de lignina.
- El tejido fibro-vascular: Localizado entre las dos anteriores, en esta zona aparecen las células parenquimáticas, las cuales forman el tejido constitutivo del tallo. Allí también se encuentran los haces vasculares, los cuales están compuestos por el tejido conductor y las fibras.

Liese afirma, que la sección transversal del tejido fibro-vascular de la *Guadua Angustifolia* también puede ser dividida en cuatro zonas, las cuales se especifican en la tabla número 11.

Tabla 11. División transversal del culmo de la *Guadua angustifolia*

Zona	Rango de Medida (mm)	Características	Grosor de la pared (%)	Nº de haces vasculares
Periférica	0.65 – 0.77	Formada por haces vasculares adyacentes a la corteza de forma circular, pequeños y numerosos. Están colocados en cadena con orientación tangencial.	4.50	346 – 530
Transición	1.20 – 2.75	Formada por haces vasculares no típicos de forma oval que no pueden ser usados para la identificación de las especies.	10.70	346 – 530
Media	4.90 – 16.34	Es la más larga de las cuatro zonas. Los haces vasculares de esta zona son utilizados para las caracterizaciones anatómicas del bambú.	73.90	81 – 194
Inferior	1.40 – 2.00	Los haces vasculares de esta zona por lo general carecen de orientación. Su forma es oval y circular	10.80	52. – 96

Fuente: Gutiérrez, 2011.

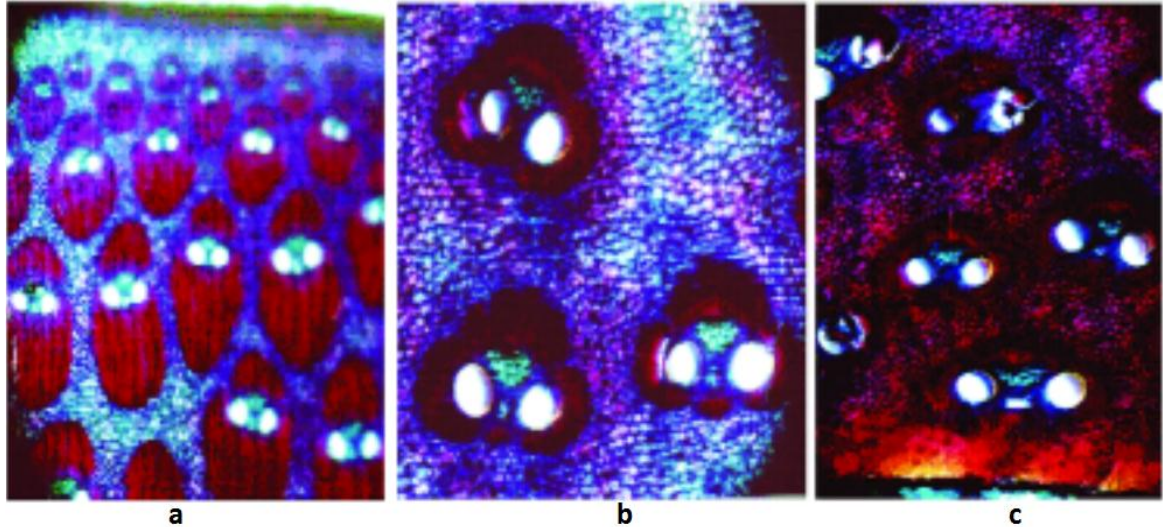
El tejido del culmo consiste de haces vasculares (10%), de células parenquimatosas (50%), y de fibras (40%); Las células parenquimatosas constituyen la base del tejido y son en su mayoría verticalmente alargadas.

3.2.1.1 Tejido parenquimático

Está compuesto fundamentalmente por células alargadas, intercaladas entre sí, con células cortas de forma cúbica; en estas células se almacenan nutrientes como de almidón que cubren entre 50% y 70% del tejido. En los entre nudos de la parte baja el tejido parenquimático es mayor disminuyendo en los entrenudos de la parte superior; así mismo en las paredes del culmo se observa mayor cantidad de este tejido hacia el interior, disminuyendo hacia la parte periférica de la pared (figura 5).

Estas células forman el tejido de soporte del tallo en los que se encuentran los haces vasculares; son las que le dan la flexibilidad a la guadua, además son importante en el almacenamiento y la movilización de la energía al interior del culmo. Esta parte igualmente puede ser contraproducente ya que es donde se encuentra el alimento de hongos e insectos por su alto contenido de almidón.

Figura 5. Composición del tejido en las diferentes zonas a través de una sección transversal de *Guadua angustifolia*: zona de periferia y transición (a); zona media (b); zona interna (c).



Fuente: The anatomy of bamboo culms, 1998.

3.2.1.2 Las fibras

En el manual del bambú se especifica que la *Guadua angustifolia* tiene fibras naturales muy fuertes que la colocan entre las 20 mejores especies de bambúes del mundo. Estas fibras constituyen el tejido que soporta todo el esfuerzo mecánico al que está sometido el tallo debido a factores externos como el viento, y esfuerzos inherentes como el de su propio peso.

Según Uribe & Durán (2002), las fibras de la guadua muestra un patrón definido a lo largo y ancho del tallo por su distribución, por lo que la mayor parte de fibras está en dirección vertical y aumentan desde las base hacia la punta, así mismo el porcentaje de fibras disminuye desde el exterior hacia el interior, con lo que se puede correlacionar con la densidad que se encuentra entre 0.6 y 0.7 g/cm³ y la resistencia de la guadua. Las fibras son largas y ahusadas en los extremos y generalmente mucho más largas que en las fibras de las maderas duras, las fibras más cortas se sitúan en los nudos y las más largas en el centro del entrenudo.

Gutiérrez (2011), señala que las fibras constituyen entre el 40% y el 50% del tejido total y entre el 60% y el 70% del peso del culmo, por lo que afectan directamente en el peso específico (0.5-0.9 g/cm²); al igual las paredes de las fibras se encuentran compuestas por microfibrillas orientadas en diferentes direcciones influenciando directamente en la apariencia del material después de la falla.

3.2.1.3 Haces vasculares

La composición anatómica de la guadua está representada en un gran porcentaje por los haces vasculares, los cuales igualmente están ligados íntimamente con las fibras. En el grosor de la pared se pueden identificar el número de haces vasculares los cuales determinan la anatomía del culmo, junto con la forma y la medida de los mismos; según Uribe & Duran (2002), la importancia de los haces vasculares radica en su cantidad y proporción con el resto de elementos que componen la guadua, ya que dependiendo de estas dos variables así mismo se determina el comportamiento del culmo ante los esfuerzos de tracción, compresión o flexión.

Como se observa en la figura 6, En la periferia del culmo los haces vasculares son más pequeños y más numerosos (derecha figura 6), mientras que hacia la parte interna son más grandes y más escasos (izquierda figura 6). La densidad de los haces vasculares aumenta con la altura del culmo por su superficie, ya que la guadua disminuye su diámetro desde la base hacia la parte más alta del tallo. La forma de los haces vasculares y la cantidad de fibras, está relacionada con gravedad específica, la cual varía desde la base hasta la parte superior del tallo de la guadua.

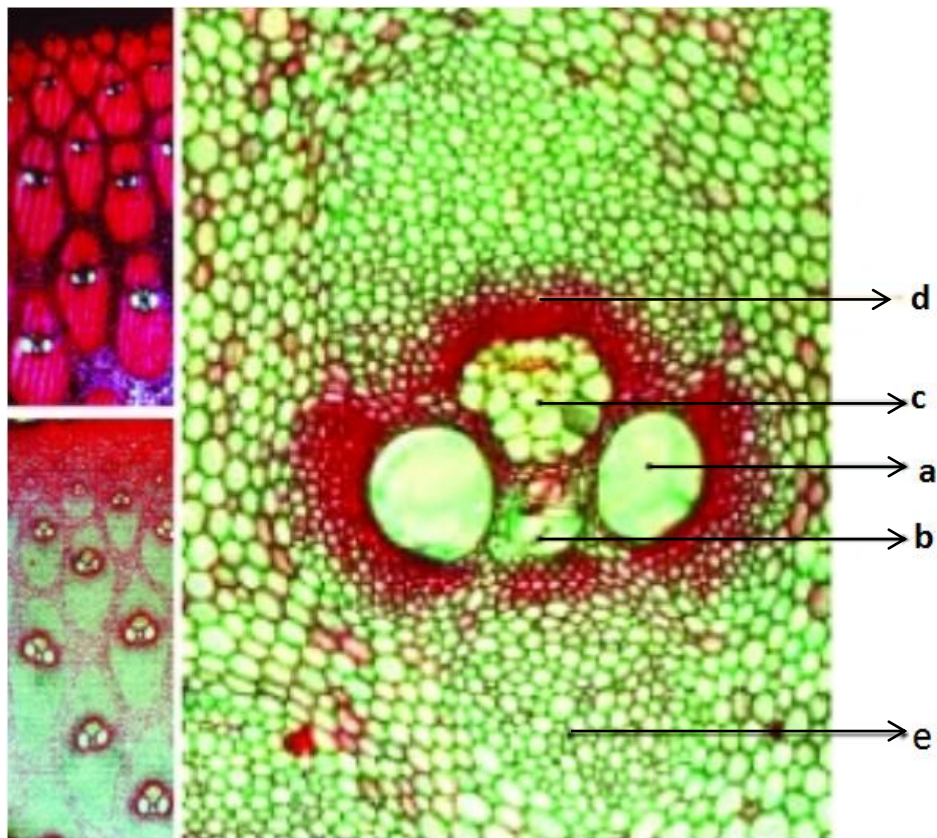
Figura 6. Haces vasculares y tejido parenquimático en el espesor de la pared de la *Guadua angustifolia*.



Fuente: Factor de corrección por contenido de humedad para la resistencia a tensión paralela a la fibra de la *Guadua angustifolia kunth*. Gutiérrez, 2011.

Según Liese (1985), citado por Gutiérrez (2011), los haces vasculares (figura 7) están compuestos por las fibras y por el tejido conductor. Este último consiste en: a) El xilema, con dos grandes metaxilemas (vasos), que transporta el agua de la raíz a la parte superior y, por b) el floema por el que los líquidos bajan, con paredes delgadas y tubos cribosos sin lignificar, los cuales están conectados a las células acompañantes o fibras.

Figura 7. Detalle del haz vascular de la *Guadua angustifolia*: a) metaxilema b) floema, c) protoxilema, d) tejido parenquimático, e) fibras.



Fuente: The anatomy of bamboo culms, 1998.

3.2.2 Morfología

La diversidad morfológica de la *Guadua angustifolia* está influenciada por las condiciones del sitio y la diversidad genética de la planta; la morfología de la guadua está basada en un sistema de ejes vegetativos segmentados, los cuales forman alternamente nudos y entrenudos, que varían en su morfología dependiendo del lugar de la planta al cual correspondan, es decir el rizoma, el tallo o las ramas, en lo que corresponde al tallo y su estructura también varía dependiendo de la especie, variedad y/o biotipo a la cual pertenezca, así mismo

como en alturas, diámetros, y forma de los nudos facilitándose así su clasificación (Uribe & Durán, 2002).

3.2.2.1 Rizoma

Como todas las plantas la guadua igualmente tiene un eje subterráneo o raíz, denominado Rizoma (figura 8) y definido por Pantoja & Acuña (2005), como un tallo modificado, subterráneo, que conforma el soporte de la planta. Este cumple la función de tomar y almacenar nutrientes esenciales para el desarrollo del resto de la planta, igualmente es el elemento básico que permite la propagación de la guadua la cual se efectúa asexualmente por ramificación de los rizomas (Uribe & Durán, 2002 y Castrillón & Malaver, 2004).

Figura 8. Raíz de *Guadua angustifolia* verdea Aguadas, Municipio de Pitalito (Huila).



Fuente: Fotografía de los autores.

La estructura del rizoma consta de dos partes el cuello del rizoma, que carece de yemas; y del rizoma en sí, que es subterráneo y tiene raíces, yemas y brácteas; según el investigador McClure (1996), citado por Uribe & Durán (2002), los rizomas del bambú se dividen en dos grupos principales y uno intermedio, de acuerdo con la morfología de los mismos, el primer grupo, son los rizomas Paquimorfos (Simpodial y Cespitoso), el segundo el Leptomorfo (Monopodial), y el tercero Anfipodial; el género guadua pertenece al grupo Paquiformo, los cuales incluyen en su mayoría especies tropicales y sus rizomas se denominan

paquimorfos, por ser cortos y gruesos, de forma más o menos curva y diámetro generalmente mayor que el del culmo, los entrenudos son más anchos que largos, sólidos y asimétricos, se caracterizan por su yema apical que termina originando un tallo aéreo, y las yemas laterales continúan el crecimiento del rizoma repitiendo el mismo sistema de ramificación, normalmente anclaje puede alcanzar profundidades entre 1 y 3 metros.

3.2.2.2 Tallo o culmo

Según Prieto & Sánchez (2002), es el eje aéreo segmentado que emerge del rizoma y es la porción más útil del Bambú; el término culmo se emplea principalmente cuando se hace referencia a los bambúes leñosos. Consta de: cuello, nudos y cañutos (Figura 9), se le denomina cuello a la parte de unión entre el rizoma y el culmo, nudo a los puntos de unión de los cañutos y cañuto a la porción del culmo comprendida entre dos nudos. El tallo según Uribe & Durán (2002) y Castrillón & Malaver (2004), es un sistema modular que consta de nudos y entrenudos dispuestos axialmente, el diámetro y el espesor de la pared del culmo, disminuyen con la altura, en caso contrario la densidad y la longitud entre nudos aumenta con ésta.

Figura 9. Culmo de *Guadua angustifolia* verdea Aguadas, Municipio de Pitalito (Huila).



Fuente: Fotografía de los autores.

De acuerdo a su estado de madurez y a la sección longitudinal de los culmos estos tienen diferentes usos. Dentro de los estados de madurez se encuentra: el rebrote o renuevo, seguido de la etapa juvenil o biche, luego la etapa adulta madura o hecha y por último el estado de sobre maduración o etapa seca. Los estados de maduración del culmo y los principales usos se resumen en la tabla 12, según lo indicado por Castrillón y Malaver (2004).

Tabla 12. Características y usos principales de los culmos de *Guadua angustifolia* según el estado de madurez.

Estado de madurez	Descripción	Utilización
Rebrote o Renuevo	Se presenta cuando aparece el rebrote hasta que llega a su máxima altura, entre los 0 y 6 meses de edad, en esta fase el tallo está cubierto por hojas caulinares. Los entrenudos son de color verde intenso y presentan dos bandas blancas en cada nudo, compuestas de pelusa.	En América no existe el hábito alimenticio del consumo de los brotes de bambú, pero en países asiáticos (China, Taiwán, Japón y Tailandia) los renuevos se consumen frescos o en encurtidos y son vendidos enlatados en salmuera.
Culmo Joven	Entre los 6 meses y los 3 años de edad. El tallo elimina todas las hojas caulinares, dando paso a las ramas. Los entrenudos son de color verde intenso y las bandas nodales, su superficie es limpia y nudos con bandas nodales color blanquecino.	Se utilizan sobre todo para la elaboración de canastos, esteras y canastones.
Culmo maduro o Hecha	Entre los 3 y 6 años de edad. La <i>Guadua</i> alcanza su mayor resistencia y dureza. Se cubre de manchas liquenosas, se atenúan las bandas nodales y aparecen algunos musgos en los nudos, presenta manchas blanquecinas, la <i>Guadua</i> cambia a un color verde oscuro.	Se han reportado más de mil usos, los más importantes son como material de construcción, en labores agropecuarias (corrales, cercos, etc.), en la fabricación de muebles y artesanías, en la producción de carbón vegetal, de textiles y de pulpa para papel.
Culmo seco o Sobremaduro	De los 6 años en adelante, comienza disminuir su retención y se agrieta fácilmente, no hay presencia de follaje, los tallos son de color ocre o amarillo pálido y no hay generación de rebrotes.	Por la mala resistencia en este estado, el uso se limita solo material para la combustión.

Fuente: Castrillón y Malaver (2004).

De la sección longitudinal del culmo se pueden diferenciar además del rizoma, la cepa, la basa, la sobrebasa, el varillón y la copa. En la tabla 13 se presentan características y usos de cada sección de la guadua tomados de la misma fuente.

Tabla 13. Características y usos principales de los culmos de *Guadua angustifolia* según el segmento longitudinal.

Parte	Descripción	Utilización
Rizoma	Es un tallo modificado, subterráneo, que conforma el soporte de la planta. Popularmente se conoce como “caimán”. Las raíces o rizomas se pueden encontrar hasta 2.0 metros de profundidad.	En decoración y juegos infantiles.
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, dada su sección. Comportamiento frente a esfuerzos de flexión, esta parte de la guadua se comporta muy bien, gracias a la corta distancia entre nudos.
Basa	Parte de la guadua que posee mayores usos, debido a que su diámetro es intermedio y la distancia entre nudos es mayor que en la cepa; es la parte del culmo de la guadua que más se utiliza; tiene una longitud aproximada de 8.0 metros.	Si el tallo es de buen diámetro se utilizan 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. Es el tramo más comercial de la guadua.
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 (puntual), se emplea como viguetas para formaletear vaciados de losas, vigas y columnas.

Fuente: Castrillón y Malaver, 2004.

Tabla 13. (Continuación).

Parte	Descripción	Utilización
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: Castrillón y Malaver, 2004.

3.2.2.3 Yema

Según Pacheco (2006), está siempre protegida por un profilo; puede ser activa o inactiva, de carácter vegetativo o reproductivo; en el tallo las yemas (Figura 10) se localizan por encima de la línea nodal y en posición distica¹; rompen su inactividad generalmente cuando el tallo ha completado el crecimiento apical. Para la misma autora, las yemas son importantes en los estudios taxonómicos ya que ayudan a identificar especies, secciones y géneros. También cumplen un papel muy importante en el campo de la biotecnología para la propagación "in vitro".

Figura 10. Yema sobre línea nodal en un culmo de *Guadua angustifolia*.



Fuente: Fotografía de los autores.

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

3.2.2.4 Ramas

Se originan en la línea nodal, por encima de esta o sobre un promontorio, en el caso de la guadua las ramas basales se modifican y llegan a transformarse en espinas (Uribe & Durán, 2002). De acuerdo con Pacheco (2006), el número de ramas y su organización varían mucho; existe desde una rama hasta más de 100 ramas por nudo, dispuestas en forma de abanico (Rhipidocladum y Merostachys), con una rama central dominante (Atractantha) o sin ella; son importantes porque sostienen el follaje, estructura básica en el proceso fotosintético; las ramas (figura 11) pueden aprovecharse en la elaboración del papel, por su alto contenido de fibra y en el estado seco se utilizan para tutorar cultivos a pequeña escala.

Figura 11. Ramas de *Guadua angustifolia*.



Fuente: Fotografía de los autores.

3.2.2.5 Follaje

Estructura básica en el proceso de fotosíntesis, en la mayoría de las gramíneas la hoja está constituida por vaina, lámina, y apéndices como aurículas y fimbrias, existe el pseudo pecíolo, estructura de unión, orientación y desarticulación entre la vaina y la lámina. La lámina es una estructura que varía mucho en tamaño y forma (Uribe & Durán, 2002; Pacheco, 2006) (Figura 12).

Figura 12. Hojas del follaje en *Guadua angustifolia*.



Fuente: Fotografía de los autores.

3.2.2.6 Hoja caulinar

Es la estructura que nace en cada nudo del tallo y tiene como función proteger la yema que da origen a las ramas y al follaje; la hoja Caulinar (Figura 13) presenta cambios progresivos en su tamaño, forma, consistencia y vestimento a lo largo del tallo; estas estructuras además de proteger las yemas del tallo, se utilizan para la fabricación de objetos artesanales y como elemento decorativo (Pacheco, 2006).

Figura 13. Renuevo de *Guadua angustifolia*, recubierto por hojas caulinares.



Fuente: Fotografía de los autores.

3.2.2.7 Inflorescencia

Hace referencia a la organización de las flores en una planta y no tiene connotación morfológica; en los bambúes puede tener aspecto de panícula o de racimo y tiene la inflorescencia indeterminada que se prolonga indefinidamente mediante la producción progresiva de ramas (figura 14), cada eje florífero inicia y completa su periodo de crecimiento independientemente y termina en una espiguilla indeterminada, es decir, con un antecio rudimentario al final de la espiguilla que tiene el potencial para desarrollar más flores en un futuro (Pacheco, 2006).

Figura 14. Inflorescencia en *Guadua angustifolia*.



Fuente: Comportamiento de la *Guadua angustifolia* sometida a flexión. Prieto & Sánchez, 2002.

3.2.3 Manejo silvicultural y aprovechamiento

En el Microcluster de la guadua (2002), se refiere 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. La silvicultura de la guadua incluye el manejo, aprovechamiento y productividad de la

misma, aumentando los beneficios ambientales, sociales, ecológicos y económicos. Para esto se ha hecho necesario crear técnicas con el paso del tiempo, que busca desarrollar mejor la práctica de la silvicultura de este cultivo, estas técnicas son: manejo racional, regulación y desarrollo de tecnología a partir del cultivo de la guadua, para así tener beneficio tanto en lo económico, lo social y en lo ambiental de la región donde se desarrolle la silvicultura.

Entre las principales actividades realizadas en la silvicultura de la guadua están el corte, trozado, limpieza, fertilización, socla, entresacas de mejoramiento y distribución de residuos, de las cuales hay un gran beneficio tanto socio-económico y natural, ya que mediante estas actividades se da dinamismo al empleo y a la economía de la región donde se desarrolla estas actividades, trayendo además beneficios al rodal ya que se le da un alto grado sostenibilidad originando un óptimo incremento y desarrollo de los chusquines, mejorando la extracción del material junto con una operación más efectiva dentro del rodal.

Prieto & Sánchez (2002), mencionan que el ciclo y la intensidad del corte son los factores más importantes a considerar en el aprovechamiento de un rodal de guadua, ya que la explotación sistemática y regular, incrementa la producción de culmos y facilita el aprovechamiento, mientras que la explotación excesiva y continua, reduce la producción de culmos y conduce a la extinción del cultivo; en el plan de aprovechamiento se recomienda una intensidad de entresaca de culmos comerciales hasta del 50%, con una periodicidad de 12 a 18 meses para el mismo sitio.

Al no realizar el proceso de silvicultura en el guadual, puede ocurrir una sucesión progresiva, lo cual puede ocasionar la completa desaparición del rodal; para evitar lo anterior se hace necesario conocer y diferenciar todos y cada uno de los elementos que conforman el guadual, el conocimiento del guadual permite que se realice aprovechamientos técnicos, además de conocer su dinámica dentro del proceso de productividad del guadual; la llamada sucesión regresiva puede ocurrir al no realizarse principalmente un buen manejo, ya que si los guaduales no se aprovechan tienden a degradarse por exceso de individuos en determinado momento y/o por disminución de la actividad biológica o dinámica del guadual.

Para realizar un mejor manejo de los guaduales se han creado diferentes técnicas y normas que buscan un buen aprovechamiento y cuidado de los mismos, entre las normas más importantes que podemos encontrar en Colombia sobre la silvicultura en guadua están 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'.

3.2.4 Importancia ambiental y socioeconómica

Los múltiples beneficios de la *Guadua angustifolia* han atraído el interés de muchos investigadores, los cuales han encontrado y según lo expuesto en el microcluster de la guadua (2002)² “Los productos, los subproductos y los servicios ambientales, constituyen los beneficios más importantes de las plantaciones de Guadua y de los Guadales naturales, entre los grandes benéficos que ofrecen los guadales están los servicios ambientales, el crecimiento de la economía de la región y el beneficio social”

Pacheco (2006), especifica que entre los principales beneficios ambientales que trae el cultivo de la guadua está la protección y conservación de Cuencas Hidrográficas, recuperación de tierras degradadas, regulación de cantidad y calidad de caudales, la guadua contribuye también a la conservación y mejoramiento de la calidad del aire. Otros autores como Uribe & Duran (2002), Pantoja & Acuña (2005) y Capera & Erazo (2012), remarcan otros beneficios ambientales como el control en la erosión de los suelos, almacenamiento de grandes cantidades de agua en épocas de invierno (“una hectárea de Guadua puede almacenar hasta 30000 litros de agua”³), albergue de gran biodiversidad de fauna y flora constituyéndose en verdaderos ecosistemas, se considera como una buena fuente para la reforestación por su gran velocidad de crecimiento, gran fijador de CO₂ en comparación con otras especies vegetales y de gran aporte de biomasa al suelo (de 2 a 4 ton/ha/año).

Las posibilidades socioeconómicas que se encuentran a partir del cultivo de la guadua son muchas y de gran interés, dentro de estas están las oportunidades de empleo, incremento en el nivel de ingresos de productores y trabajadores, constitución de unidades empresariales e incremento del conocimiento en el manejo sostenible de la guadua.

En lo económico se puede considerar que el cultivo ofrece muchos beneficios ya que desde el manejo silvicultural hasta la comercialización de los productos y subproductos (figuras 15 y 16) (tabla 14), pasando por la creación y transformación de la guadua conformando la cadena productiva de este cultivo.

² Corpocaldas. Cámara de Comercio de Manizales. Microcluster de la Guadua. Manizales, Caldas. 2002.

³ GIRALDO, Edgar, SABOGAL, Aureliano. “LA Guadua angustifolia KUNTH EN COLOMBIA”. Corporación Autónoma Regional del Quindío. Subdirección de Recursos Naturales y educación ambiental. Centro Nacional para el Estudio del Bambú-Guadua, 1999.

Figura 15. Tableta con laminado de guadua.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 16. Mueble construido con guadua.



Fuente: Fotografía de los autores

Tabla 14. Productos y subproductos de la *Guadua angustifolia*.

<i>Guadua Angustifolia</i>	
Productos de la guadua	Subproductos creados a partir de la guadua
Basa	Mesas
	Muebles
Cepa	Artesanías
	Cestería
Sobresa	Papel
	Rayón
Alimento	Viviendas
	Corrales
Varillón	Producción de alcohol
	Aglomerados
Recurso natural para la conservación y transformación del medio ambiente.	Laminados
	Tabletas
	Juguetes
Estirilla	Bicicletas
Aserrín	Instrumento musicales

Fuente: Los autores. Tomado de Pacheco (2006).

En lo referente a lo social la guadua ofrece muchos beneficios, pero el principal se relaciona con la construcción de vivienda y construcciones rurales; los indígenas, los Colonos Antioqueños, los paisas y los Laboyanos son algunos ejemplos de sociedades en Colombia que a través del tiempo han interactuado y se han beneficiado de la guadua, que es una especie vegetal de muy buenas características y ventajas, por su rentabilidad y facilidad en el aprovechamiento para múltiples tareas.

3.3 LA GUADUA COMO MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN

La guadua en la construcción en Colombia, ha sido utilizada desde ya hace muchas décadas por los pobladores cercanos a los rodales, esta ha sido fundamental en el desarrollo de la cultura Colombiana, principalmente desde la época de la Colonización Antioqueña, ya que gracias a sus propiedades de dureza y fácil manejo ayudo en el ágil proceso de poblamiento y desarrollo de comunidades emigrantes que establecieron pueblos que hoy en día son modelos a seguir por su progreso, cultura y alto desarrollo en cuanto a la construcción. Según Uribe & Durán (2002), desde su llegada, los colonos a la zona del Quindío, encontraron abundancia en la guadua, la cual utilizaron para múltiples usos en pro de su beneficio, el más destacado de estos beneficios fue de la construcción de viviendas, debido a esto es considera la guadua como soporte de la civilización de

los Colonos Antioqueños, así como se considerada la porcelana en Asia, la piedra en Europa, el hierro y el cemento en Estados Unidos.

“En Manizales el bahareque permitió que se desarrollara una arquitectura similar a la republicana europea, pues si bien la naciente burguesía no tenía los recursos para traer materiales del extranjero, si deseaban que sus edificios se parecieran a los palacetes del Viejo Continente”⁴, a pesar del tiempo de construcción que llevan estas estructuras aún en nuestros días se pueden observar muchas de estas majestuosas estructuras construidas en la época de la Colonización Antioqueña y que a nivel nacional también se puede observar (Figura 17).

Las construcciones en guadua tradicionalmente se han realizado empíricamente con métodos utilizados por los pioneros en edificaciones con guadua (Los Colonos Antioqueños y Campesinos), que aunque han aportado mucho en este sector, se comprobó que carecían de un verdadero y profundo estudio de las propiedades de la guadua.

Figura 17. Edificio de tres pantas construidas en tapia pisada al bahareque.



Fuente: Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia, Eduardo Salas.

En 1984 se expidió la ley 1400 (CÓDIGO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIONES SISMORRESISTENTES), pero esta norma se enfocó en construcciones con materiales industriales, es decir, edificaciones compuestas por concreto, acero y ladrillo, dejando por fuera materiales tradicionales como lo eran la madera, el bahareque y guadua. A raíz del buen desempeño obtenido en las edificaciones de

⁴ ROBLEDO, Jorge. Un Siglo de Bahareque en el antiguo Caldas. En: CONGRESO MUNDIAL DE BAMBU/GUADUA. (1º: 1992: Pereira). Memorias I Congreso Mundial de Bambú / Guadua. Pereira: 1992. P. 129.

guadua en el terremoto del eje cafetero en el año de 1999, la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS), elaboró el capítulo E.7 “Casas de uno y dos pisos en bahareque encementado” de la Norma Colombiana de construcciones Sismorresistentes (NSR-98) (Decreto 052 del 2002), pero que no tienen en cuenta estructuras con guadua, como puentes, cerchas o edificios que se salen del alcance del mismo.

Aunque la construcción en guadua en Colombia empezó en la Colonización Antioqueña hace más de 150 años, actualmente la guadua es un recurso que le da la mano a este sector y que gracias arquitectos como Simón Vélez, Marcelo Villegas y Oscar Hidalgo, que han diseñado y construido diferentes edificaciones en guadua (puentes, centros de convenciones, salones y clubes), en Colombia y a nivel mundial, se puede considerar la guadua como un recurso excelente en todo tipo de construcciones.

3.4 TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA

Gutiérrez (2011), describe que la resistencia paralela a la fibra de las maderas es afectada por la inclinación de las fibras, por ejemplo, dice que si existe una inclinación entre 1° y 8° el esfuerzo de falla es aproximadamente el 75% del esfuerzo de falla paralelo al grano, para una inclinación de 14° es del 45% y para una inclinación de 90°, es decir, perpendicular a la fibra, es del 2% al 5% del esfuerzo de falla paralelo al grano, sin embargo afirma que aún no se tiene un estudio detallado de cómo este fenómeno pueda afectar la resistencia final de un bambú.

Algunos investigadores afirman que la propiedad más fuerte en los bambúes, incluyendo la guadua, es la tensión paralela a la fibra, por ejemplo Janssen (1981), citado por González, Montoya & Rubiel (2006), dice que el esfuerzo de tensión paralela a la fibra es la propiedad más fuerte del Bambú, y Gutiérrez (2011), hace referencia a esta tesis expresando que la resistencia a la tracción paralela a la fibra, libres de defectos es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela a la fibra.

Debido a la creciente demanda de la guadua, como material estructural en diferentes construcciones, urbanas y rurales, la tensión paralela a la fibra ha generado un interés de investigación, a raíz de uno de los principales problema que se presenta en la guadua como material estructural, cuando es sometido a esfuerzos de tensión (Castrillón y Malaver, 2004)

En la guadua las propiedades mecánicas entre las que se encuentra la tensión, dependen de la edad del corte de la planta, la sección del culmo y de otras propiedades físicas como la humedad, densidad aparente, entre otros aspectos, los cuales varían considerablemente ya sea entre rodal, entre guadua o con

respecto a la sección de la guadua o al espesor de la pared, estas propiedades son importantes para conocer el comportamiento de la guadua ante el esfuerzo del material al ser utilizado.

Muchos ensayos realizados en el país en universidades, institutos y centros de investigaciones, y según lo descrito por Gutiérrez (2011) han demostrado que la resistencia a la tensión paralela a la fibra es mayor en la sobrecarga de la guadua, disminuyendo la resistencia donde se presentan nudos debido a la discontinuidad de las fibras.

El ensayo de tensión paralela a la fibra ha sido muy difícil de aplicar, a pesar de que es muy común, debido al problema que se presenta al momento de sujetar las probetas. Para realizar el ensayo de tensión paralela a la fibra, se siguió lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 5525, numeral 10, en este ensayo se puede determinar la resistencia última a tensión paralela a las fibras, aplicando una carga gradualmente creciente sobre la probeta.

3.5 VALOR CARACTERÍSTICO

“El valor característico de una acción 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. Los valores característicos de las acciones son los definidos en la reglamentación específica aplicable”⁵.

El valor característico de una acción, F_k , se define, según el caso, por su valor medio, por un fractil superior o inferior, o por un valor nominal⁶. Para calcular el valor característico de las probetas de la guadua se puede seguir la metodología presentada en la NSR10 capítulo G.12.7.4 donde se muestra el procedimiento para determinar este valor.

3.6 ESFUERZO ADMISIBLE

El esfuerzo admisible, es el esfuerzo máximo al que puede ser sometido un material, aplicando cierto valor de seguridad en la estructura que se considere. Para muchas estructuras es importante que el material permanezca dentro del intervalo linealmente elástico, para evitar deformaciones permanentes cuando se

⁵ Ministerio de fomento. Gobierno de España. (n.d). Consultado en Enero de 2013. Disponible en: <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/7E6874BB-AF3B-4B35-676F9F6A1930B5C/37457/CAPITULOIIIborde.pdf>

⁶ Código técnico de la edificación. CTE-SE. Seguridad estructural

quiten las cargas. En estas condiciones se establece el factor de seguridad con respecto al esfuerzo de fluencia (o la resistencia de fluencia) se obtienen un esfuerzo admisible (o esfuerzo de trabajo) que no se debe rebasar en lugar alguno de la estructura⁷.

3.7 MÓDULO DE ELASTICIDAD

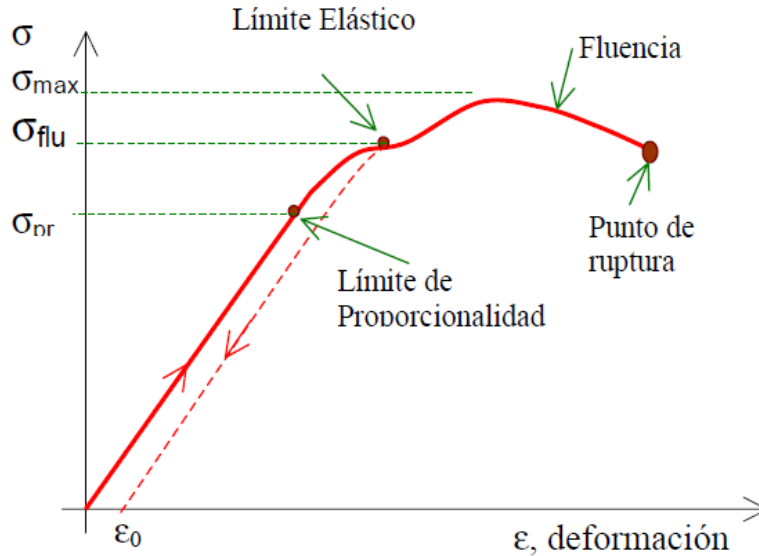
El módulo de elasticidad es la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria. Cuando se sobrepasa el límite elástico, y se suprime el esfuerzo aplicado, el material queda permanentemente deformado, este hecho se indica en el figura 18. El valor de deformación unitaria, indica la magnitud de la deformación permanente.

Al principio del estiramiento, la deformación es proporcional al esfuerzo, es zona de validez de la Ley de Hooke. Esto ocurre hasta que el esfuerzo aplicado alcanza un valor llamado “*Límite de proporcionalidad*” (σ_{pr}). Si el material es sometido hasta este valor de esfuerzo, al suprimir el mismo, el material retoma su forma original sin sufrir deformación permanente.

Más allá del Límite de proporcionalidad, la gráfica se desvía de la recta y no existe una relación sencilla entre Esfuerzo (σ) y Deformación (ϵ). Sin embargo, hasta el límite elástico, el objeto regresará a su longitud original si se remueve la fuerza aplicada, es decir los esfuerzos aplicados no producen deformaciones permanentes en el material. La zona desde el origen hasta el límite elástico se llama *zona elástica*. Si el objeto se somete a un esfuerzo más allá del límite elástico, entra a la región plástico y no recuperará su longitud original al retirar la fuerza aplicada, sino que quedará permanentemente deformado. Si el esfuerzo sigue incrementándose más allá del límite elástico, se alcanza el punto de ruptura. Entre el límite elástico y el punto de ruptura, a menudo existe una zona de fluencia, donde el material se deforma fácilmente, sin necesidad de aumentar el esfuerzo (región plana de la curva).

⁷ Instituto Tecnológico Superior de Champoton (INTESCAM). Gobierno de México. (n.d.). Consultado en Enero de 2013. Disponible en: <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r68071.PDF>

Figura 18. Curva típica Esfuerzo Vs Deformación.

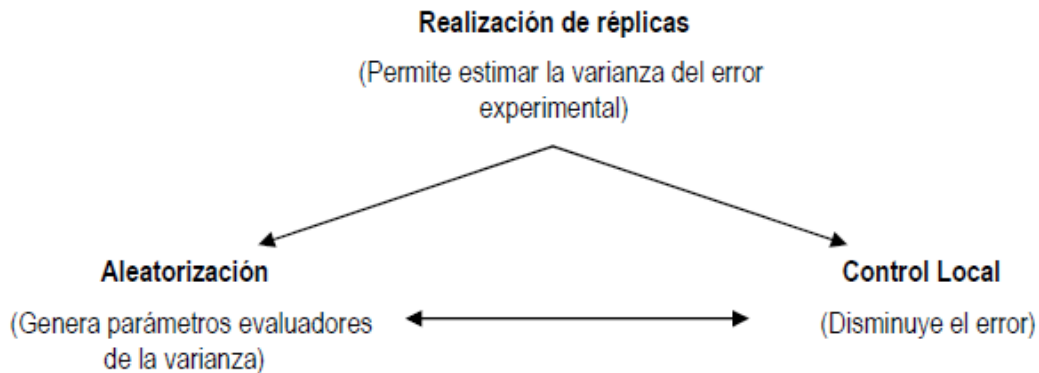


Fuente: UNSAM, 2002.

3.8 DISEÑO EXPERIMENTAL Y DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño experimental toma su origen a través de una serie de investigaciones realizadas por Ronald Fisher que en el año de 1926 publicó el primer resumen de sus ideas en el artículo “The Arrangement of field experiments”; en ese importante artículo describió tres componentes fundamentales de los experimentos en el área de pruebas agrícolas: **control local** de las condiciones de campo para reducir el error experimental, **replicación** como un medio para estimar la varianza del error experimental y **aleatorización** para obtener una estimación válida de esa varianza (Kuehl, 2001), ver figura 19.

Figura 19. Principios de diseño de experimentos (Fisher, 1926)



Fuente: Diseño de experimento en el área de ingeniería electrónica- Luisa Marcela Pineda Triana.

El diseño estadístico de experimentos se refiere al proceso para planear el experimento de tal forma que se recaben datos adecuados que puedan analizarse con métodos estadísticos que llevarán a conclusiones válidas y objetivas. El enfoque estadístico del diseño experimental es necesario si se quieren sacar conclusiones significativas de los datos. Cuando el problema incluye datos que están sujetos a errores experimentales, la metodología estadística es el único enfoque objetivo de análisis. Por lo tanto, cualquier problema experimental incluye dos aspectos: el diseño del experimento y el análisis estadístico de los datos. Estos dos aspectos se encuentran íntimamente relacionados porque el método de análisis depende directamente del diseño empleado⁸.

Para aplicar el enfoque estadístico en el diseño y análisis de un experimento, es necesario que todos los que participan en el mismo tenga desde el principio una idea clara de qué es exactamente lo que va a estudiarse, cómo van a colectarse los datos, y al menos una comprensión cualitativa de la forma en que van a analizarse estos datos. Tabla 15. (Montgomery, 2003)

Tabla 15. Pautas generales para diseñar un experimento.

<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación y exposición del problema 2. Elección de los factores, los niveles y los rangos.* 3. Selección de la variable de respuesta.* 4. Elección del diseño experimental. 5. Realización del experimento. 6. Análisis estadístico de los datos. 7. Conclusiones y recomendaciones.] Planeación previa al experimento
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------

* En la práctica, los pasos 2 y 3 suelen hacerse simultáneamente o en el orden inverso

Fuente: MONTGOMERY, Douglas C. Diseño y Análisis de Experimento. John Wiley & Son. (2003) pág. 14.

3.8.1 Diseño factorial multinivel

Los diseños factoriales producen experimentos más eficientes, pues cada observación proporciona información sobre todos los factores, y es factible ver las respuestas de un factor en diferentes niveles de otro factor en el mismo experimento (Kuehl, 2001).

El término factor se utiliza en un sentido general para denotar cualquier característica del experimento y los niveles de un factor como los valores reales que se utilizan en el experimento, para cada uno de estos casos es importante no

⁸ MONTGOMERY, Douglas C. Diseño y Análisis de Experimento. John Wiley & Son. (2003) Pág. 11.

solo determinar si los dos factores tienen una influencia en la respuesta sino también si hay una interacción significativa entre los dos factores⁹.

Los tres *efectos* de interés en un experimento factorial son los simples, los principales y los de interacción; el *efecto* de un factor es un cambio en la respuesta medida ocasionado por un cambio en el nivel de ese factor, los *efectos simples* son las comparaciones entre los niveles de un factor a un solo nivel de otro; los *efectos principales* son comparaciones entre los niveles de un factor promediados para todos los niveles de otro factor; los *efectos de interacción* son las diferencias entre los *efectos simples* (Kuehl, 2001) .

3.8.1.1 Análisis de varianza

El análisis de la varianza se considera como una forma de comprobar si dos o más medias de muestrales puede haberse obtenido de poblaciones con la misma media paramétrica respecto de una variable dada; las premisas necesarias para la aplicación ANOVA, requiere que los datos a tratar cumplan los siguientes supuestos; **Independencia de los datos**, el muestreo debe ser aleatorio, lo que asegura la independencia de los datos generados, **Normalidad** la independencia de los datos no permite, en la mayoría de los casos, presuponer que la distribución de los datos corresponde a una normal, **Homoscedasticidad** la igualdad de las varianzas (homogeneidad u homoscedasticidad) en un grupo de muestra es una importante pre- condición para diversos tests estadísticos¹⁰.

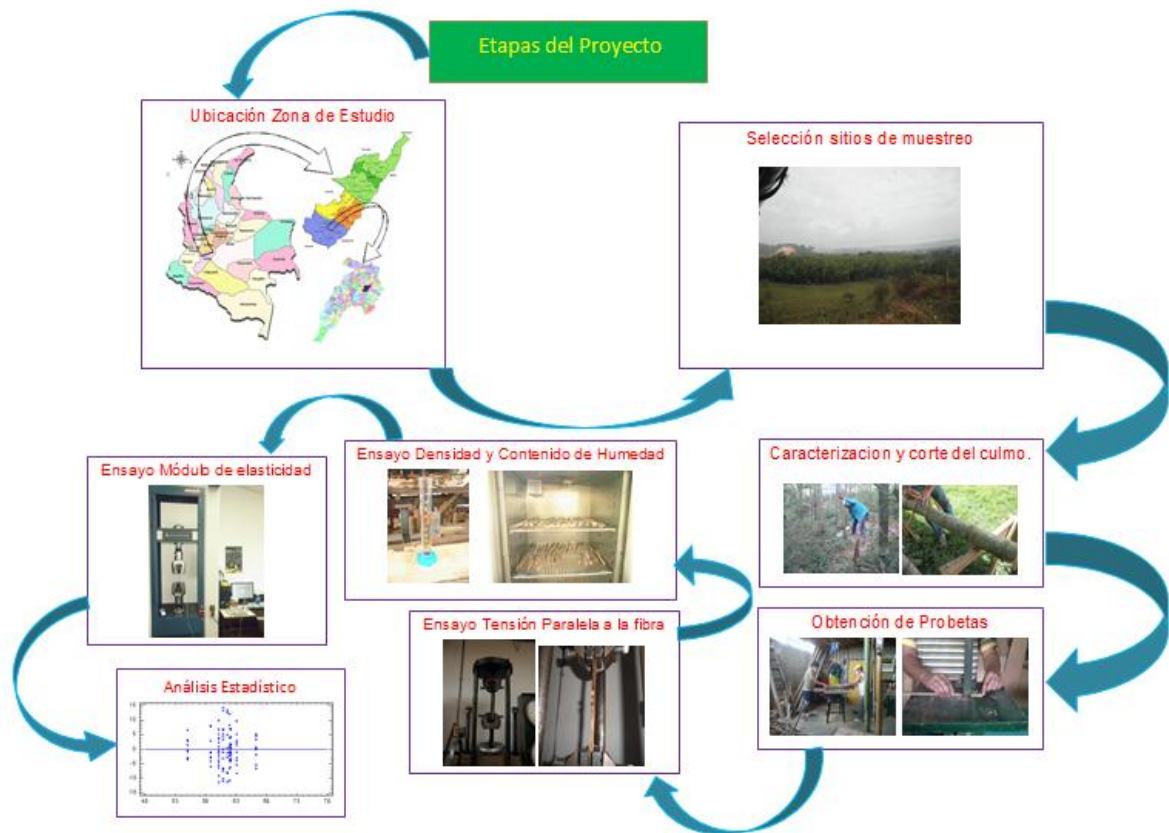
⁹ WALPOLE, Ronald E. Probabilidad y Estadística para Ingenieros, 6ta edición, pág.527.

¹⁰ SERRANO GALLEGO, Roque. Introducción al análisis de datos experimentales, publicaciones de la Universitat Jaume I, D.L. (2003), Pág. 67.

4. METODOLOGÍA

El presente estudio se realizó en diferentes etapas en las que se contemplaron varios pasos consecutivos y ordenados, iniciando por el estudio de la zona de aprovechamiento del material y finalizando con el análisis estadístico de los datos obtenidos a lo largo del presente proyecto, como se presenta en la figura 20.

Figura 20. Etapas para el desarrollo del proyecto.

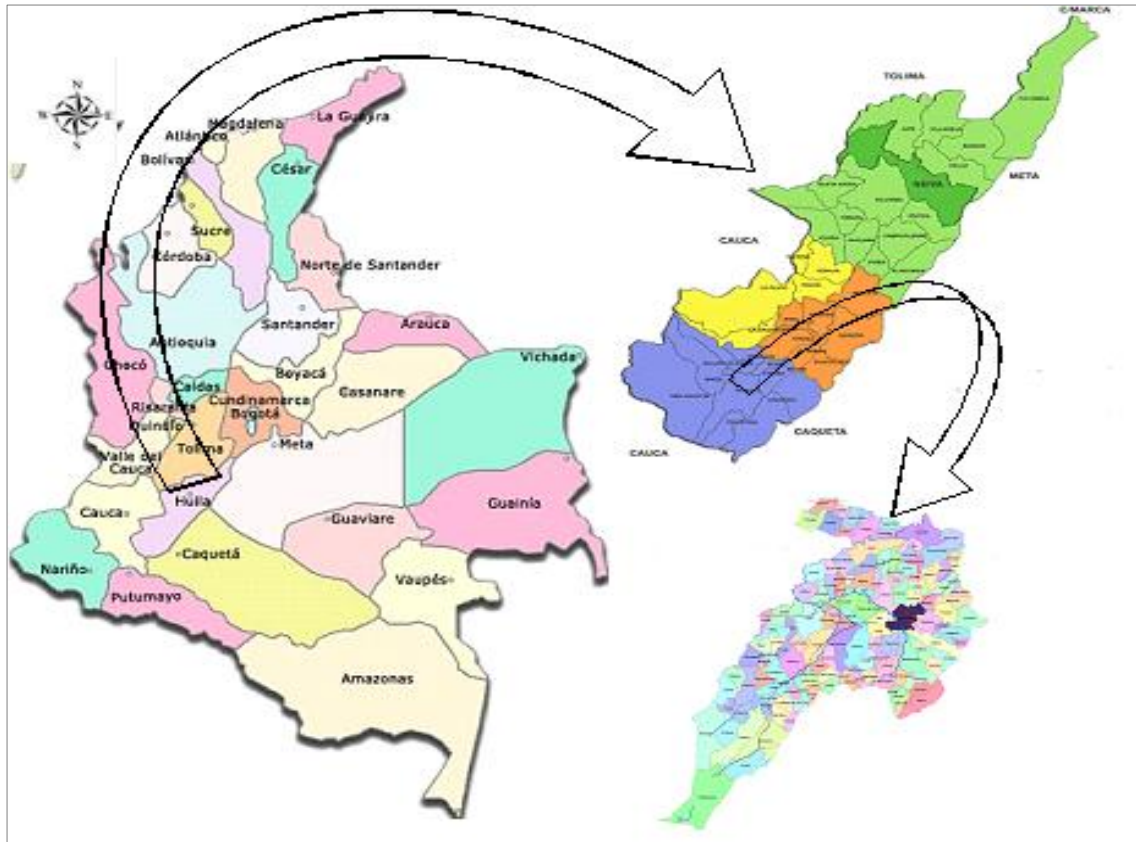


Fuente: Los Autores.

4.1 LOCALIZACIÓN

El estudio se desarrolló en el sur del departamento del Huila, específicamente en la zona rural del municipio de Pitalito (Figura 21). El municipio de Pitalito se encuentra a una altitud promedio de 1318 m.s.n.m. y a una temperatura promedio oscilante anual entre 17-22⁰C. Geográficamente los límites de la zona de estudio son: Latitud 1°55'40.88"N - 1°44'50.43"N - Longitud 75°57'15.12"O - 76°08'02.17"O, de acuerdo con el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS.

Figura 21. Ubicación geográfica del municipio de Pitalito



Fuente: Los Autores.

4.2 NORMAS Y PROTOCOLO

En el estudio para la selección, caracterización física, corte, determinación de resistencia a la tensión paralela a la fibra, módulos de elasticidad y contenido de humedad para la *Guadua angustifolia*, se tuvo en cuenta 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 sísmo resistente”.
10. Proyecto de investigación (2008M6336). Protocolos de la Universidad Nacional de Colombia “Corte de culmos y probetas, medición del contenido de humedad para la *Guadua angustifolia Kunth*”.

4.3 SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

Para la selección de los sitios de muestreo se tuvo en cuenta los rodales elegidos para el proyecto “Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila”, con el fin de continuar el estudio de los mismos rodales y así tener datos y resultados completos que buscan caracterizar la *Guadua* de la zona sur del departamento del Huila y de rodales específicos. Los rodales elegidos para el presente estudio fueron cuatro, los cuales se tomaron de forma aleatoria dentro del municipio de Pitalito (H). El municipio de Pitalito por su ubicación geográfica posee una gran diversidad de fauna y flora; dentro de la fauna sobresale los bosques de *Guadua*, los cuales dentro de la zonificación ambiental del municipio de Pitalito son muy representativa según lo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial (P.O.T 2000). Teniendo en cuenta la norma NTC 5525 y por razones prácticas para cada predio se le asignó una letra que lo identifica y diferencia de los demás, por lo cual cada uno de ellos se nombraba como zona A, B, C y/o D, los cuales son referenciados en la tabla 16.

Tabla 16. Zonas de estudio municipio Pitalito

Predio	Vereda	COORDENADAS MAGNA-SIRGAS		Altitud (m.s.n.m)
		Latitud (N)	Longitud (O)	
A: La Esperanza	San Francisco	1°50'06.04"	76°06'57.44"	1313
B: Villa María	Zanjones	1°50'26.07"	76°01'58.35"	1279
C: Yamboro	Aguadas	1°53'36.02"	76°05'25.13"	1331
D: La Dalia-Limón	Palmarito	1°47'13.81"	76°04'03.39"	1294

Fuente: Capera y Erazo, 2012.

4.4 METODOLOGÍA PARA EL CORTE DE LOS CULMOS

En el proceso de corte, primero se realizó inspección ocular a los rodales estudio, donde se identificaron, marcaron y seleccionaron las guaduas maduras o hechas, las cuales se encontraban en una edad entre 3 y 6 años; posteriormente en el proceso de corte se solicitaron los respectivos permisos de corte y aprovechamiento, otorgados por la empresa Agroforestal del municipio Pitalito-Huila. Para el corte de la guadua se siguieron algunas recomendaciones propias de los Campesinos de la zona, este se realizó con machete y se hizo a una altura de aproximadamente un metro por encima del suelo, como se observa en la figura 26 del Anexo 1; el corte de la guadua se procuró que quedará sobre un canuto, para así evitar un empoce de agua lluvias que causaría pudrición del tallo afectando el rizoma (Anexo 1, figura 27).

A la guadua cortada se le realizó un avinagrado gradual o pérdida de humedad en el mismo gradual, el cual tuvo un tiempo aproximado de 20 días. Transcurrido el avinagrado se extrajeron las guaduas de los rodales las cuales se llevaron a un punto limpio cerca al mismo rodal, donde se hizo la medición respectiva y posterior corte de cada una de las tres secciones de la guadua: cepa (1,5m), basa (4,5m) y sobre-basa (3,0 m) (Anexo 1, figuras 28 y 29).

4.5 ELABORACIÓN DE PROBETAS

De todas las secciones de los rodales se extrajo un tolete de 50 cm de largo, el cual debía tener una buena apariencia, sin ataques de hongos o insectos, que no existiera un deterioro por la humedad y que no tuviera daños físicos (rajaduras o perforaciones), teniendo en cuenta igualmente que hubiera presencia de un nudo en la mitad del tolete (figura 30 Anexo 2), de donde se pudiera extraer la probeta. Se realizó la marcación del tolete con los caracteres del grupo al que corresponde y fueron transportadas hacia el casco urbano del municipio de Pitalito, al taller de carpintería del señor Jaime Núñez Losada, donde se almacenaron todos los toletes (Anexo 2, figura 31).

Con una sierra de disco y con la ayuda del señor Jaime Núñez, como se observa en la figura 32 del Anexo 2, se realizó el corte de todos los toletes, las cuales se fraccionaron en las latas de guadua (mínimo 8) de 2.0 cm de ancho, de las cuales se escogieron 4 latas de cada tolete y fueron marcadas con sus respectivos caracteres (figura 33, Anexo 2): estudio (tensión), el rodal, el número de la guadua, la sección de la guadua y una letra que identificara cada lata (a, b, c y d); las latas se trasladaron hacia la ciudad de Neiva.

En la ciudad de Neiva se seleccionaron dos latas de las cuatro disponibles de cada tolete, a las cuales se le hicieron el trazado de las probetas mediante una plantilla que tiene la forma y las dimensiones deseadas para la probeta, luego de

este proceso se efectuó el corte de las probetas con sierra sin fin (figura 34, Anexo 2), en el taller de carpintería Don Luis Córdoba, ubicado en la carrera 6 N° 10-23 Neiva Huila, donde se procuró efectuar las probetas lo más preciso posible y sin eventuales fallas. Utilizando la misma metodología de marcación efectuada para las latas, se marcaron las probetas, como lo muestra la figura 35 del Anexo 2.

Para la prueba de densidad se sacaron dos probetas de cada culmo, las cuales tenían dimensiones aproximadas de 2 cm de ancho por 4 cm de largo (Anexo 2, figura 36), estas se extrajeron de los dos extremos de las probetas utilizadas para la prueba de tensión paralela a la fibra, una de la parte inferior y otra de la parte superior, teniendo en cuenta el sentido de las fibras, las cuales se marcaron con la misma nomenclatura utilizada para las latas, adicionándole la letra “t” si es del extremo superior o “b” si es del extremo inferior; en total para este ensayo se obtuvieron 480 probetas.

Para la prueba de esfuerzo máximo de tensión paralela a la fibra se realizaron 240 probetas, las cuales se transportaron hacia el edificio SINDU, en la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, y fueron sumergidas en agua durante dos semanas para evitar su fisuramiento por pérdida de humedad (figura 37, Anexo 2), en la que se contó con la ayuda y la asesoría de la Ingeniera Patricia Luna Tamayo.

A las probetas de tensión paralela a la fibra se le realizó la medición de las dimensiones para el cálculo del área de falla y el esfuerzo máximo o de falla. Se tomó tres medidas de ancho y espesor en la zona de falla, una en cercanía al nudo, y las dos restantes en cada extremo de la zona falla, por medio de un micrómetro digital con una división de escala como mínimo de 0.01 mm.

4.6 ENSAYOS PARA DETERMINAR EL ESFUERZO MÁXIMO DE TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA, MÓDULOS DE ELASTICIDAD, CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD BÁSICA

Los ensayos para determinar el esfuerzo máximo paralela a la fibra, el módulo de elasticidad, la humedad y densidad básica de la *Guadua angustifolia*, se efectuaron en su totalidad en el edificio SINDU de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, con la asesoría de las profesoras Patricia Luna Tamayo y Caori Patricia Takeuchi Tam.

Para el ensayo de esfuerzo máximo a la tensión paralela a la fibra se siguió los procedimientos de la NTC 5525 “Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua Angustifolia* Kunth”. El ensayo fue realizado en la carpintería del edificio SINDU, con el equipo de tensión marca VERSA TESTER (figura 38, Anexo 3) con capacidad de carga de 30 Toneladas, del total de las probetas realizadas, se fallaron 178 (Anexo 3, figura 39), de las

cuales fueron descartadas 58 por presentar una falla diferente a la esperada ya fuera por corte, por punzonamiento o por daños producidos por las mordazas, como se muestra en la figura 40 el Anexo 3, o por presentar un valor de resistencia última totalmente atípico; la población final de probetas utilizadas en el análisis de los resultados fue de 120 datos, las cuales tiene una buena falla (figura 41, Anexo 3). Para el estudio de módulo de elasticidad se utilizó un total de 13 probetas, la cuales se fallaron en el equipo de tensión marca COMPUTER SERVO CONTROL MATERIAL TESTING MACHINE, con deformímetros eléctricos uniaxiales, (Anexo 3, figura 42 y 43).

La prueba del contenido de humedad se hizo con las mismas probetas falladas en los ensayos de esfuerzo máximo a la tensión paralela a la fibra y módulo de elasticidad, esto con el fin de conocer con la mayor exactitud posible el contenido de humedad de las probetas falladas; una vez finalizado el ensayo y de las probetas que fallaron adecuadamente, se tomó un tramo de la misma, las cuales se guardaron en bolsas ziploc, como lo muestra la figura 44 del Anexo 3, esto para evitar pérdida o ganancia de humedad de las probetas, para finalmente ser llevadas al Laboratorio de maderas y guadua SINDU, donde se le realizó un pesaje inicial a cada una de las probetas (Anexo 3, figuras 45), para luego ser introducidas al horno de secado a una temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, como lo establece la Norma Técnica Colombiana NTC 5525 (Anexo 3, figuras 46).

Finalizadas los ensayos de esfuerzo máximo a la tensión, contenido de humedad y módulo de elasticidad se efectuó la prueba de densidad anhidra (DA) mediante la prueba de inmersión, en la cual se utilizó una probeta de 100 ml que fue llenada con agua, en la que luego se sumergió la probeta de guadua, y mediante el desplazamiento del agua se halló la DA, para esta prueba se siguió la NTC 5525 (Anexo 3, figura 47).

Para la ejecución de los anteriores ensayos se dispuso de los siguientes equipos y herramientas:

1. Equipo de tensión marca VERSA TESTER, con capacidad de carga de 30 Ton.
2. Equipo de tensión marca COMPUTER SERVO CONTROL MATERIAL TESTING MACHINE.
3. Equipo de medición para la deformación marca KYOWA.
4. Balanza digital PGL 3002, con exactitud de 0,01g.
5. Horno eléctrico marca THELCO (Thermoscientific).
6. Deformímetros eléctricos uniaxiales marca KYOWA. Precisión $\epsilon \times 10^{-6}$
7. Probeta de 100ml.
8. Pie de Rey.
9. Termo-igrometro electrónico.

4.7 ANÁLISIS DE DATOS

4.7.1 Análisis de datos multifactorial

En el análisis de varianza multifactorial se evaluaron 120 probetas, las 12 probetas de los ensayos de módulo de elasticidad con deformímetro eléctrico se descartaron del análisis por motivos de las diferencias de equipos y procedimientos (secado al aire, pulir y delimitación en el sitio de colocación del deformímetro); el análisis estadístico fue desarrollado por medio del software STATGRAPHICS CENTURION con la asesoría del PhD Nelson Gutiérrez docente de la Universidad Surcolombiana sede Neiva.

4.7.2 Variable dependiente, factores, niveles de factor

La variable dependiente para el diseño ANOVA multifactorial es el esfuerzo a la tensión paralela a la fibra y los factores que pueden afectarla son: la procedencia de la guadua y sección del culmo. Se mencionan a continuación, en la tabla 17 la variable dependiente, los factores y niveles del factor.

Tabla 17. Factores y niveles de factor, cuyos efectos sobre el Esfuerzo a la tensión serán evaluados

FACTOR	NIVELES DE FACTOR	VARIABLE DEPENDIENTE
1.Rodal	1.La Esperanza 2. Villa María 3. La Dalia 4. Yamboro	Esfuerzo a la Tensión paralela a la fibra (Mpa)
2. Sección	1. Inferior 2. Medio 3. Superior	

4.7.3 Organización de los datos

La ordenación de los datos por factores y niveles de factor previo a la realización de ANOVA multifactorial se presenta en la tabla 18.

Tabla 18. Clasificación de los datos según el factor y sus niveles correspondientes

SECCIÓN	FINCA			
	A	B	C	D
INFERIOR	59,89	66,90	60,29	66,17
	50,64	57,58	53,28	62,12
	59,78	52,86	50,47	55,82
	65,99	54,71	92,62*	57,88
	67,67	56,18	75,00	61,42
	57,68	57,85	66,54	68,95
	54,26	66,55	61,95	61,27
	64,05	57,64	58,90	62,36
	67,47	61,61	74,10	59,81
	94,14*	55,96	53,39	63,83
MEDIO	54,33	54,24	62,39	59,72
	54,06	58,18	51,15	55,38
	53,28	57,87	48,71	60,63
	82,22*	51,64	57,73	65,82
	74,16	54,68	61,06	62,89
	60,88	56,41	73,69	60,83
	65,10	51,63	55,60	74,00
	49,81	61,54	64,17	58,35
	94,01*	51,56	63,64	70,16
	75,15	52,06	66,89	51,18
SUPERIOR	66,98	54,62	68,91	72,77
	64,34	56,40	58,13	54,79
	66,44	58,57	63,49	68,32
	71,34	63,98	60,94	62,13
	83,69*	53,75	63,66	57,81
	70,83	59,87	60,15	65,31
	66,29	65,28	62,55	64,46
	69,66	67,01	58,98	59,26
	60,91	62,40	66,15	65,89
	59,63	59,19	58,14	60,11

*valores atípicos.

5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Con los 6 datos correspondientes del ancho y espesor de la probeta, se encontró el ancho promedio y espesor promedio de la probeta, permitiendo calcular el área en donde se presenta la falla, luego de los ensayos a carga última, se realizó el respectivo ajuste de calibración de la máquina, para obtener con exactitud el verdadero valor de carga última de falla del ensayo, con el valor de carga de falla y área de la sección transversal de probeta se calculó el esfuerzo último de falla.

Se obtuvieron además valores de densidad anhidra y contenido de humedad con la masa de la probeta rápidamente después de ejecutar el ensayo, los valores de esfuerzo admisible se calcularon luego del análisis estadístico de los resultados.

5.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS CULMOS

Los valores obtenidos de la caracterización física de los culmos se muestran en las tablas del anexo 6, los datos de diámetros y espesores de pared de cada una de las secciones de la guadua (cepa, basa y sobrebasa), se presenta de la tabla 36 a la 39, además el número de entrenudos con su respectiva medida de longitud, se encuentra igualmente señalados las partes de corte de los toletes con un símbolo de asterisco (*) (tabla 40 a la 43). Se detallan en anexo 4 para tener una mayor lucidez de la parte de corte de los toletes en su respectiva sección del culmo.

5.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS PROBETAS

Los resultados de las medidas geométricas de las probetas se presentan en las tablas del anexo 7. Se muestra en detalle en la figura del anexo 5 las mediciones realizadas para cada probeta, en la tabla 19 se muestran algunos valores de dichas mediciones, junto con las áreas de secciones transversales calculadas; la probeta CT4Mb de la sección media del culmo 4 procedente de la zona c, se emplea como referencia para la muestras de cálculos y tablas que en adelante se mostrarán.

Área de la sección transversal de la probeta.

$$Area = b_{prom} \times e_{prom}$$

Dónde:

b_{prom} : Es el valor promedio de diámetro.

e_{prom} : Es el valor promedio de espesor.

Muestra de cálculo:

$$Area = 5,24 \times 12,68 = 0,665 \text{ cm}^2$$

Tabla 19. Área de la sección transversal y dimensiones promedios de probetas extraídas de la parte media de los culmos procedentes de la zona C.

Muestra	b _{AP} (cm)	e _{AP} (cm)	b _{BP} (cm)	e _{BP} (cm)	b _{CP} (cm)	e _{CP} (cm)	Área (cm ²)
CT1Mb	6,74	11,19	6,16	17,03	7,00	10,73	0,86
CT2Mb	6,79	12,83	5,83	17,22	7,64	13,30	0,98
CT3Mb	7,50	12,06	4,92	16,92	6,25	11,86	0,85
CT4Mb	3,91	11,04	4,82	15,56	6,99	11,45	0,66
CT5Ma	7,59	12,21	6,98	15,98	6,00	11,69	0,91
CT6Ma	6,38	12,86	5,62	18,79	6,37	11,93	0,89
CT6Mb	6,62	11,20	6,21	16,82	6,76	10,91	0,85
CT8Mb	6,98	11,62	5,58	15,56	5,84	11,65	0,79
CT10Mb	6,75	10,63	7,15	15,10	7,25	11,17	0,87
CT12Ma	7,61	11,13	5,93	15,60	6,62	10,30	0,83

5.3 RESISTENCIA A LA TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA, CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD ANHIDRA.

Los valores obtenidos de esfuerzo último a tensión, contenido de humedad y densidad anhidra, correspondiente a cada probeta se encuentran en la tabla 44 hasta la 47 del anexo 8. La tabla 20 contiene una muestra de los valores obtenidos para probetas de la sección media del culmo de la zona C.

- Esfuerzo último a tensión

El esfuerzo último a tensión se determina como:

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

Dónde:

F_{ult} : carga máxima a la cual falla la probeta, en N
A : Área de la sección transversal de la probeta, en mm

Muestra de cálculo:

La carga máxima soportada por la probeta CT4Mb fue de 345,384 kgf que equivalen a 3384,7632 N, en un área de 0,665 cm² o 66,50 mm²; con estos datos el esfuerzo último para la probeta es:

$$\sigma_{ult} = \frac{3384,7632}{66,50} \frac{N}{mm^2} = 51,96 \text{ Mpa}$$

- Contenido de humedad.

El contenido de humedad de una muestra se calcula con la siguiente ecuación (Capítulo 6.- NTC-5525):

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

Dónde:

m : Masa de la probeta antes del secado, en gr

m_o : Masa de la probeta después del secado, en gr

Muestra de cálculo:

La probeta CT4Mb tenía una masa inicial 13,81gr y luego del secado al horno una masa final 7,15 gr, el contenido de humedad para dicha probeta fue de:

$$CH = \frac{13,81 - 7,15}{7,15} \times 100 = 93,15 \%$$

- Densidad anhidrida

Para el cálculo de la Densidad Anhidrida se utiliza la siguiente ecuación (Capítulo 7.- NTC-5525):

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

Dónde:

DA : Densidad anhidrida, en Kg/ m³

m : Masa de la probeta seca al horno, en gr

v : Volumen de la probeta, en cm³

Muestra de cálculo

Los volúmenes de las muestras extraídas de la probeta CT4Mbt y CT4Mbb fueron de 5,0 cm³ para las dos muestras y la masa seca al horno de 3,37gr y 3,16gr. La densidad básica resultante fueron de:

$$DA = \left(\frac{3,37gr}{5,0cm^3} \right) = 674 \text{ kg/m}^3 \text{ CT4Mbt}$$

$$DA = \left(\frac{3,16gr}{5,0cm^3} \right) = 632 \frac{kg}{m^3} \text{ CT4Mbb}$$

$$DA = \left(\frac{674 + 632}{2} \right) = 653 \text{ kg/m}^3$$

Tabla 20. Esfuerzo ultimo a tensión, contenido de humedad y densidad anhídrida De las probetas de la sección media de la zona C.

Probeta	Fult (Kgf)	σ_{ult} (Mpa)	% CH	DA (Kg/cm ³)
CT1Mb	537,26	62,39	116,07	734,17
CT2Mb	498,89	51,15	91,36	720,38
CT3Mb	412,54	48,71	116,67	664,,24
CT4Mb	383,76	57,73	93,15	653,00
CT5Ma	556,45	61,06	99,58	640,00
CT6Ma	623,61	73,69	85,92	665,00
CT6Mb	566,05	66,89	104,11	695,00
CT8Mb	441,32	55,60	89,17	661,50
CT10Mb	556,45	64,17	79,09	652,44
CT12Ma	527,67	63,64	88,55	698, 39

5.4 GRÁFICAS ESFUERZO VS DEFORMACIÓN

A continuación, se presentan una muestra de las tablas y gráficas de la totalidad de la información obtenida, donde se representan las deformaciones unitarias alcanzadas por probetas de guadua producida por la acción de una carga y el esfuerzo a tensión producido. Los módulos de elasticidad obtenidos a partir de los gráficos esfuerzo vs deformación del anexo 9, se tabulan en la tabla 34, para probetas ensayadas con deformímetros eléctricos. El resultado para la probeta BT12Mb, se utiliza para presentar la deformación evaluada con deformímetros eléctricos uniaxiales. 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

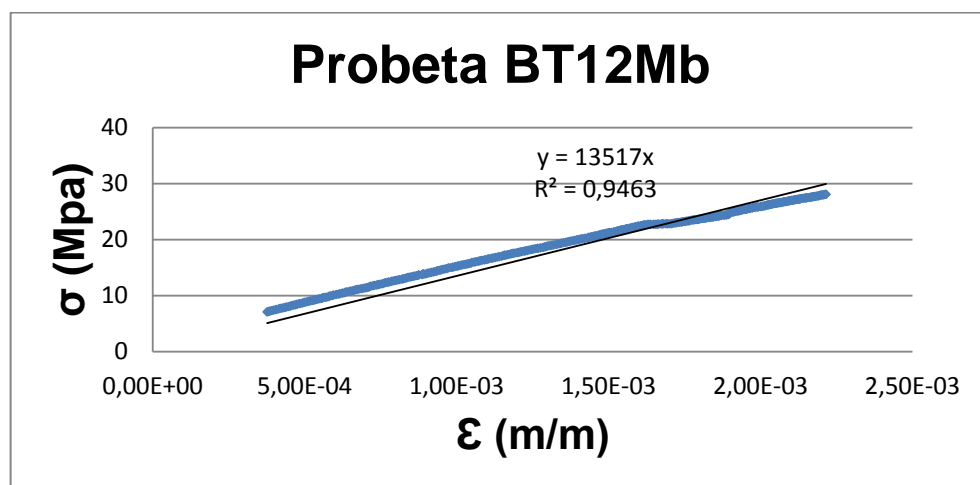
ecuación general es $\sigma = E \times \varepsilon$; donde (E) es el módulo de elasticidad y (ε) la deformación unitaria.

La medición de deformación se realizó mediante deformímetros eléctricos uniaxial, el cual se ubicó en el centro de la probeta, sobre el nudo donde se presenta la deformación de la misma; los deformímetros se conectaron al equipo KYOWA el cual registra datos de deformación cada décima de segundo y en el que se almacena directamente en el programa, para su posterior procesamiento. Para hallar la fuerza aplicada sobre la probeta se toma el desplazamiento del equipo el cual igualmente queda almacenado en el programa, registrando datos cada décima de segundo.

Tabla 21. Valores iniciales de deformación unitaria de la probeta BT12Mb, medidas con deformímetros eléctricos

Tiempo KYOWA	Deformación ($\mu\text{m}/\text{m}$)	Deformación (m/m)	Tiempo UTM	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm^2)	Esfuerzo (Mpa)
35	54.60	5.46E-05	0.30	3.65	3.49	0.33
36	56.56	5.66E-05	0.40	3.83	3.49	0.35
37	60.59	6.06E-05	0.50	3.83	3.49	0.35
38	59.56	5.96E-05	0.60	3.83	3.49	0.35
39	62.71	6.27E-05	0.70	3.83	3.49	0.35
40	66.94	6.69E-05	0.80	3.83	3.49	0.35
41	71.39	7.14E-05	0.90	3.83	3.49	0.35
42	73.97	7.40E-05	1.00	4.12	3.75	0.37
43	75.95	7.60E-05	1.10	4.30	3.91	0.39
44	81.63	8.16E-05	1.20	4.45	4.04	0.40
45	82.20	8.22E-05	1.30	4.68	4.25	0.43

Figura 22. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria longitudinal probeta BT12Mb.



5.5 ESFUERZOS ADMISIBLES Y VALORES CARACTERISTICOS.

Los datos de esfuerzos admisibles y valores característicos, se presentan en las tablas 22 a la 26 y fueron obtenidos mediante el estudio estadístico de las probetas de ensayo, se utiliza como referencia para las respectivas muestras de cálculos probetas procedentes de culmos de la zona D.

- Valor característico

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

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

Dónde:

$F_{0,05i}$: Valor correspondiente al percentil 5 de los datos (Mpa)

m : Valor promedio de los datos (Mpa)

S : Valor promedio de los datos

N : Numero de ensayos

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

$$F_{t0,05} = \bar{F}_t (1 - 1,645 COV_c)$$

Dónde:

\bar{F}_t : Esfuerzo básico promedio (Mpa)

Cov_c : Coeficiente de variación de esfuerzo

- Muestra de cálculo:

La resistencia a la tensión paralela a la fibra promedio fue de 62,31 Mpa, el coeficiente de variación de los datos 8,45% y la desviación estándar 5,26 para 30 probetas, con estos valores se calcula el valor de percentil 5 de los datos.

$$F_{t0,05} = 62,31(1 - 1,645 \times 0,0845) = 53,56 \text{ Mpa}$$

$$f_{kt} = 53,56 \left[1 - \frac{2,7 \frac{5,26}{62,317}}{\sqrt{30}} \right] = 51,42 \text{ Mpa}$$

- Esfuerzo admisibles

Para el cálculo de esfuerzo admisible se toma el valor característico obtenido y se utiliza la siguiente ecuación (G.12,7.2-NSR-10):

$$F_t = \frac{FC}{F_s \times FDC} f_{kt}$$

Dónde:

f_{kt} : Valor característico al esfuerzo a tensión (Mpa)

F_C : Factor de reducción por diferencia entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de la aplicación de las cargas en las estructuras (0,5 Según NRS-10)

F_s : Factor de seguridad (2 Según NRS-10)

FDC : Factor de duración de carga (1,5 Según NRS-10)

- Muestra de cálculo:

Según lo establecido por la NRS-10; el factor de reducción FC para esfuerzos solicitados a tensión es 0,5, el factor de seguridad F_s 2, y factor de duración de carga FDC 1,5. Se obtiene el esfuerzo admisible.

$$F_t = \frac{0,5}{2 \times 1,5} \times 51,42 = 8,57 \text{ Mpa}$$

Tabla 22. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para el rodal A.

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total
Numero de datos (N)	9,00	8,00	9,00	26,00
Promedio (Mpa)	60,83	60,84	66,26	62,71
Desviación estándar (s)	5,98	9,76	4,10	7,10
Coefficiente de variación (%)	9,84	16,04	6,20	11,33
Percentil 5 (Mpa)	50,98	44,83	59,50	51,02

Tabla 22. (Continuación).

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total
Valor característico (Mpa)	46,47	37,96	56,19	47,96
Esfuerzo admisible (Mpa)	7,74	6,33	9,36	7,99

Tabla 23. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para el rodal B.

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total
Numero de datos (N)	10,00	10,00	10,00	30,00
Promedio (Mpa)	58,78	54,94	60,10	57,95
Desviación estándar (s)	4,76	3,44	4,49	4,67
Coefficiente de variación (%)	8,10	6,26	7,48	8,07
Percentil 5 (Mpa)	50,95	49,32	52,70	50,26
Valor característico (Mpa)	47,43	46,69	49,34	48,26
Esfuerzo admisible (Mpa)	7,90	7,78	8,22	8,04

Tabla 24. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para el rodal C.

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total
Numero de datos (N)	9,00	10,00	10,00	29,00
Promedio (Mpa)	61,54	60,15	62,11	61,25
Desviación estándar (s)	8,87	6,81	3,55	6,49
Coefficiente de variación (%)	14,41	11,32	5,72	10,60
Percentil 5 (Mpa)	46,95	48,94	56,27	50,57
Valor característico (Mpa)	40,86	44,21	53,52	47,88
Esfuerzo admisible (Mpa)	6,81	7,37	8,92	7,98

Tabla 25. Valores característicos y esfuerzos admisibles por secciones para el rodal D.

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total
Numero de datos (N)	10,00	10,00	10,00	30,00
Promedio (Mpa)	61,96	61,89	63,08	62,31
Desviación estándar (s)	3,80	6,73	5,34	5,26
Coefficiente de variación (%)	6,13	10,88	8,46	8,45
Percentil 5 (Mpa)	55,71	50,81	54,30	53,65
Valor característico (Mpa)	52,79	46,09	50,38	51,42
Esfuerzo admisible (Mpa)	8,80	7,68	8,40	8,57

Tabla 26. Valores característicos y esfuerzos admisibles para los 4 rodales.

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total
Numero de datos (N)	38,00	38,00	39,00	115,00
Promedio (Mpa)	60,75	59,39	62,80	61,00
Desviación estándar (s)	5,95	7,13	4,79	6,13
Coficiente de variación (%)	9,79	12,00	7,63	10,05
Percentil 5 (Mpa)	50,97	47,67	54,94	50,98
Valor característico (Mpa)	48,78	45,16	53,11	49,69
Esfuerzo admisible (Mpa)	8,13	7,53	8,85	8,28

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los datos de resistencia a la tensión paralela, diámetro de culmo, espesor de pared de culmo, densidad anhídrida y contenido de humedad de probetas, fueron analizados independientemente y de manera exploratoria en su totalidad, para establecer si los datos correspondían a una distribución normal, la normalidad se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Los datos atípicos encontrados en el análisis fueron descartados.

El análisis descriptivo y el análisis de varianza multifactorial para tensión paralela se muestran a continuación.

6.1 ELIMINACIÓN DE DATOS ATÍPICOS

Las probetas AT111a y CT41a con valores altos de resistencia a tensión de 94,14 Mpa y 92,62 Mpa fueron eliminadas por tratarse de valores atípicos, producto de posibles errores durante las medidas del ancho y espesor de las probetas o durante la ejecución del ensayo, en el que se pudo incurrir en una posible toma de valores erróneos, sin descartar la posibilidad de que dichos valores puedan corresponder a una resistencia inesperada de tensión paralela a la fibra del culmo. Los datos atípicos eliminados para las demás variables se encuentran señalados en las tablas del anexo 7.

6.2 ANALISIS DESCRIPTIVO

El análisis descriptivo para cada una de las variables contiene datos provenientes de una distribución normal, el resumen para diámetros, espesor de pared, densidad anhídrida y contenido de humedad para las secciones de culmo inferior, media y superior se presenta a continuación en la tablas 27 y 28.

Tabla 27. Análisis descriptivo para diámetros para las 4 zonas

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total
Recuento	48,00	48,00	48,00	144,00
Promedio (cm)	10,82	9,89	8,25	9,65
Mediana (cm)	10,92	10,09	8,70	9,72
Desviación estándar (cm)	1,26	1,21	1,55	1,71
Coefficiente de variación (%)	11,68	12,25	18,84	17,75
Mínimo (cm)	8,39	7,48	4,93	4,93
Recuento	48,00	48,00	48,00	144,00
Promedio (cm)	10,82	9,89	8,25	9,65

Se encontró que el diámetro presentaba una disminución de la sección inferior a la superior, comportamiento normal en el desarrollo de la guadua; se encontraron menores diámetros para culmos procedentes de la zona A con promedios de 9,68 cm, 8,44 cm y 6,22 cm, correspondientes a la sección inferior, media y superior, la zonas B y C presentaron los valores más altos en diámetros para culmo con promedios de: 11,76 cm y 11,28 cm, para sección inferior, 10,53 cm y 10,49 cm, para sección media, y 8,84 cm y 9,24 cm para sección superior.

Tabla 28. Análisis descriptivo para espesor de pared para las 4 zonas

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total
Recuento	48,00	48,00	48,00	144,00
Promedio (cm)	1,69	1,34	1,02	1,35
Mediana (cm)	1,69	1,30	1,00	1,31
Desviación estándar (cm)	0,22	0,21	0,20	0,35
Coeficiente de variación (%)	13,21	15,91	19,65	25,75
Mínimo (cm)	1,19	0,89	0,63	0,63
máximo (cm)	2,1	1,82	1,59	2,1
Rango (cm)	0,91	0,93	0,96	1,47

El espesor muestra un comportamiento de mayor a menor a medida que aumenta la altura de la guadua; el espesor de pared correspondiente a la sección inferior de la zona A fue el más bajo con promedio de 1,55 cm, el promedio más alto fue de 1,83 cm para la zona B. En la sección media se encontraron valores bajos para la zona A, con promedio de 1,20 cm; la zona D presentó el promedio más alto de 1,44 cm; la sección inferior mantuvo la misma inclinación con promedios de 0,81 cm, para la zona A y 1,16 cm, en la zona D.

Tabla 29. Análisis descriptivo para densidad anhidrida para las 4 zonas

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total
Recuento	38,00	36,00	36,00	110,00
Promedio (Kg/cm ³)	658,92	686,18	717,69	687,08
Mediana (Kg/cm ³)	659,24	673,37	717,75	690,19
Desviación estándar (Kg/cm ³)	60,40	39,93	42,07	53,90
Coeficiente de variación (%)	9,17	5,82	5,86	7,84
Mínimo (Kg/cm ³)	516,67	600,00	640,00	516,17
máximo (Kg/cm ³)	766,0	762,72	809,05	809,05
Rango (Kg/cm ³)	249,33	164,72	169,05	292,38

La densidad anhidrida se incrementa notablemente desde la sección inferior hasta la superior; la densidad anhidrida en las tres secciones con valores más bajos se presentaron en las probetas correspondientes a la zona B y C, contraste los valores más altos se encontraron en la zona A y D.

Tabla 30. Análisis descriptivo para contenido de humedad para las 4 zonas

Datos estadísticos	Inferior	Media	Superior	Total
Recuento	34,00	38,00	39,00	111,00
Promedio (%)	106,91	102,49	95,12	101,257
Mediana (%)	104,12	102,72	94,07	102,42
Desviación estándar (%)	9,88	12,98	9,64	11,91
Coefficiente de variación (%)	9,24	12,67	10,13	11,76
Mínimo (%)	88,16	74,18	79,62	74,18
Máximo (%)	125,34	128,54	113,12	128,54
Rango (%)	37,18	54,26	33,5	54,36

El contenido de humedad de las probetas en su mayoría presentó un valor promedio de más del 100%, esto producto del proceso de saturación a las que fueron sometidas la probetas antes del ensayo.

6.3 ANÁLISIS DE VARIANZA MULTIFACTORIAL

El análisis de varianza multifactorial (ANOVA) se encontró la variabilidad de la resistencia a través de los factores y sus posibles combinaciones, se utilizó la medida de variabilidad suma de cuadrados tipo III; Se encontró que los factores sección y zona presentaron un efecto estadísticamente significativo entre los efectos principales y las interacciones de segundo orden, con valor- p inferior a 0,05 y un nivel de confianza del 95%, se presenta a continuación en la tabla 31.

Tabla 31. Análisis de varianza multifactorial para resistencia a la compresión paralela a la fibra.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:SECCION	229,07	2,00	114,54	3,33	0,04
B:ZONA	401,96	3,00	133,99	3,90	0,01
INTERACCIONES					
AB	122,80	6,00	20,467	0,60	0,73
RESIDUOS	3539,90	103,00	34,37		
TOTAL (CORREGIDO)	4292,59	114,00			

6.4 PRUEBAS DE MULTIPLES RANGOS PARA LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN

Se empleó el método de menor diferencia significativa (LSD) de Fisher para determinar la posible homogeneidad entre los niveles del factor o determinar si los valores que se comparan presentan diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95%; a continuación se presentan en las tablas 32 y 33 la comparación múltiple correspondiente a la zona y sección.

Tabla 32. Prueba de múltiple rango para la resistencia a la tensión por Zona

Datos Estadísticos	zonas				Total
	A	B	C	D	
Casos	26,00	30,00	29,00	30,00	115,00
Media (Mpa)	62,64 ^Q	57,95 ^P	61,26 ^Q	62,31 ^Q	61,00
Desviación Estándar (Mpa)	7,10	4,67	6,49	5,26	6,13
Coeficiente de variación (%)	11,33	8,07	10,60	8,45	10,05
Mínimo (Mpa)	49,81	51,56	48,71	51,18	48,71
Máximo (Mpa)	75,15	67,01	75,00	74,00	75,15
Límite Inferior	60,36	55,83	59,10	60,19	55,83
Límite Superior	64,93	60,08	63,43	64,43	64,93

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

Q no existe diferencias significativas entre ellos.

La zona como factor tuvo un efecto estadístico significativo, Las probetas de la zona B presentaron una resistencia promedio significativamente menor a las demás zonas; se podría considerar que una de las posibles causas del valor de resistencia encontrado en la zona B tiene relación con los valores bajos de densidad anhidra para dicha zona, según como lo explican Uribe y Durán (2002). La importancia de la resistencia de la guadua está directamente relacionada a la proporción de las fibras que hay en el culmo, ya que a mayor densidad de fibra menor densidad de tejido parenquimático y por ende mayor densidad en la guadua.

Tabla 33. Prueba de múltiple rango para la resistencia a la tensión por Sección

Datos Estadísticos	Sección			Total
	Inferior	Media	Superior	
Casos	38,00	38,00	39,00	115,00
Media (Mpa)	60,77 ^Q	59,46 ^Q	62,89 ^P	61,00
Desviación Estándar (Mpa)	5,95	7,13	4,79	6,13
Coefficiente de variación (%)	9,79	12,00	7,63	10,05
Mínimo (Mpa)	50,47	48,71	53,75	48,71
Máximo (Mpa)	75,00	75,15	72,77	75,15
Límite Inferior	58,89	57,57	61,03	55,83
Limite Superior	62,66	61,36	64,75	64,93

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

Q no existe diferencias significativas entre ellos.

La sección de culmo como factor presentó un efecto significativo, donde el promedio de mayor resistencia alcanzada y de forma significativa correspondió a la sección superior del culmo; confirmando lo indicado por investigadores como Gutiérrez (2011), López & Correal (2009), Pacheco (2006), Uribe & Durán (2002), entre otros; que han descrito que la resistencia de los culmos a tensión es mayor en la sección superior disminuyendo hacia la sección inferior.

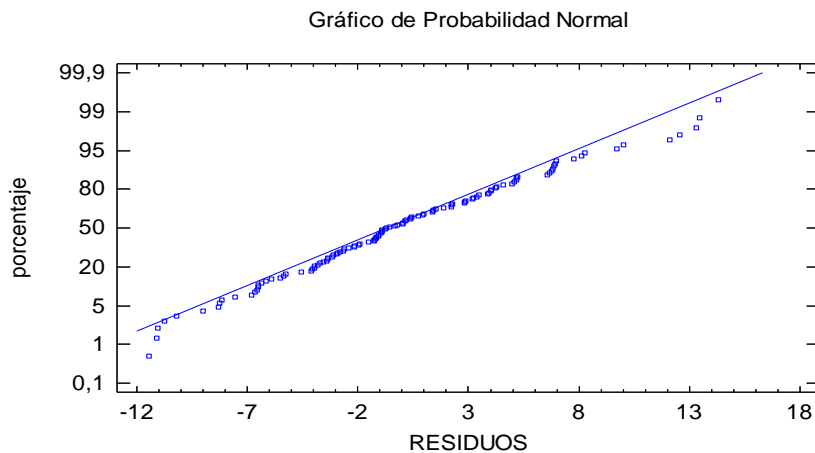
Otros estudios de algunos autores, han encontrado diferentes valores para referirse a la resistencia última a tensión en probetas de guadua. Por ejemplo, Gutiérrez (2011) encontró un valor promedio de esfuerzo último de 86.96 MPa. Lozano et al. (2010) hallaron un valor de esfuerzo último promedio de 61.40 MPa. Ciro, Osorio & Vélez (2005) encontraron que el valor promedio de esfuerzo último promedio fue de 190.70 MPa. Por otra parte Castrillón & Malaver (2004) de los ensayos realizados obtuvieron un esfuerzo último promedio de 91.87 MPa. Del mismo modo Janssen (2002) presenta un valor promedio de 148.40 MPa. Siguiendo las normas del INBAR López y Trujillo (2002) hallaron un valor de esfuerzo último promedio de 53.5 MPa. Se encuentra que en todos los datos hallados por los diferentes investigadores hay una gran variación en cuanto al valor de esfuerzo último promedio, esto se debe a las diferencias en cuanto a la metodología utilizada por cada autor para los ensayos, por esto es importante tener en claro si los ensayos fueron realizados a probetas con nudo o sin nudo, qué zona en altura del culmo fue utilizada para la realización de los ensayos, la edad del culmo, las condiciones de crecimiento, el tamaño de las muestras, entre otros aspectos relevantes para este tipo de ensayo. Se debe resaltar que la guadua por ser un material natural, puede variar tanto estructuralmente como anatómicamente dependiendo de muchos factores de desarrollo como la región, las condiciones climáticas, el suelo, entre otras, las cuales pueden afectar las propiedades físicas o mecánicas de la guadua.

6.5 COMPROBACIÓN DE HIPOTESIS

6.5.1 Normalidad de los residuos

Para comprobar si verdaderamente los datos provienen de una distribución normal se presenta el gráfico de probabilidad normal de los residuos Figura 23. En donde se analiza que los datos se distribuyen a lo largo de la línea de referencia que pasa a través de la mediana con una pendiente determinada por el rango intercuartílico, presentando normalidad de los datos.

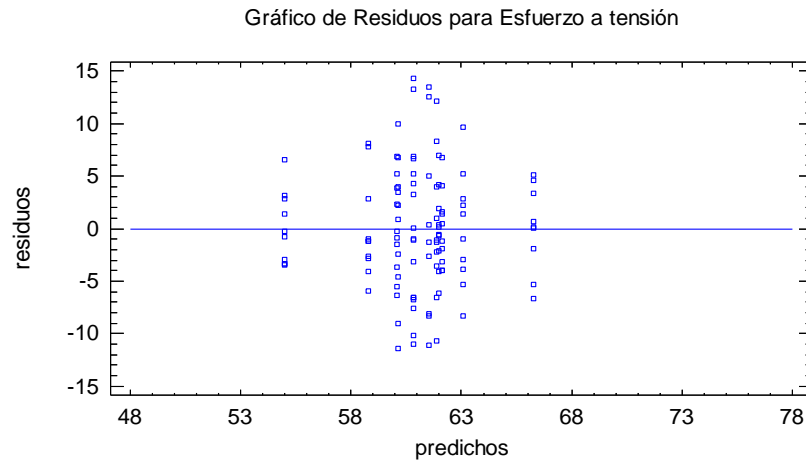
Figura 23. Gráfico de probabilidad normal para residuos.



6.5.2 Prueba de homocedasticidad

Se comprobó mediante el gráfico de residuos frente a valores predichos de resistencia Figura 24. La homocedasticidad, en el gráfico se percibe que no existe un modelo casual en forma de embudo formado por los puntos por lo cual no existe heterocedasticidad.

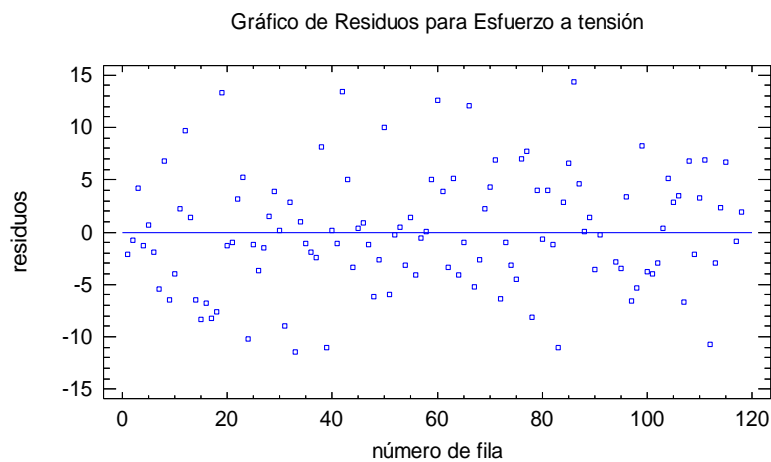
Figura 24. Gráfico de residuos frente a predichos para esfuerzo a la tensión en Mpa.



6.5.3 Independencia de los residuos

Al realizar el trabajo de clasificación de las muestras para la realización del ensayo se cumplió con el criterio de aleatoriedad, donde se puede comprobar mediante el gráfico Residuos frente número de filas, figura 25. En él se observa la dispersión aleatoria de los datos, se cumple con el supuesto de independencia de los residuos

Figura 25. Gráfico de residuos frente a predichos para esfuerzo a la tensión en Mpa.



6.6 ANÁLISIS DESCRIPTIVO MÓDULO DE ELASTICIDAD.

Para el cálculo de módulo de elasticidad se efectuaron un total de 13 pruebas, cuyos resultados se presentan en la tabla 34; del total de los ensayos se excluyó el dato de la probeta BT1Sb, por presentar un dato atípico y no muy coherente con los datos de las demás probetas, así mismo porque el coeficiente de correlación (R^2) es muy bajo, lo que daría un dato no muy confiable de módulo de elasticidad; de igual manera se descartó el dato de la probeta DT2Ma por no tener la totalidad de datos requeridos para el cálculo de módulo de elasticidad.

Tabla 34. Módulos de elasticidad para probetas con deformímetros eléctricos.

Probeta	Tensión máxima (Kgf)	Resistencia última (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	R^2
AT3Ib	332,98	37,84	8277,70	0.98
AT12Ib	456,93	38,08	8621,20	0.97
AT4Ma	255,32	27,16	15970,00	0.99
AT4Sb	408,74	46,98	14975,00	0.99
BT10Ib	280,16	19,06	23378,00	0.98
BT12Mb	308,89	28,08	12700,00	0.99
BT1Sb*	1200,70	1200,07	177577,00	0.58
CT10Ib	462,54	41,30	13724,00	0.94
CT2Ma	380,86	44,29	20305,00	0.99
CT11Sb	179,57	30,44	18292,00	0.99
DT3Ib	358,53	32,59	12098,00	0.99
DT2Ma **	----	----	----	----
DT2Sb	346,00	32,64	15705,00	0.98

*Dato excluido.

** Falta de datos.

Tabla 35. Análisis descriptivo para módulo de elasticidad de probetas, con deformímetros eléctricos.

Datos estadísticos	TOTAL
Número de datos	11,00
$E_{0,5}$ = Promedio (Mpa)	14913,30
Desviación Estándar (Mpa)	4601,58
Coefficiente de Variación (%)	30,85
$E_{0,05}$ = percentil 5 (Mpa)	8277,70
EMínimo (Mpa)	8277,70
EMáximo (Mpa)	23378,00
Rango	15100,30

El módulo de elasticidad más alto para las probetas dio 23378,00 Mpa y el más bajo fue de 8277,70 Mpa. Según la norma NSR-10 los valores 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 de módulo de elasticidad encontrado en el estudio fue de 14913,30 Mpa presentado en la anterior tabla, el cual es superior al presentado en la norma, igualmente sucede con los módulos percentil 5 y mínimo, que son superiores a los de la norma; se debe tener en cuenta que para el estudio el número de ensayos fue bajo y por tal razón los datos no son muy representativos para las zonas y las secciones tenidas en cuenta para el estudio.

6.7 ANALISIS ESFUERZO ADMISIBLES A TENSIÓN

En la NSR-10 (G,12,7,3), el valor de esfuerzo admisible para elementos solicitados a tensión es de 18 Mpa para un contenido de humedad del 12% el cual se encuentra superior al promedio encontrado obtenido para las 4 zonas correspondiente a 8,28 Mpa, aún si se modifica la condición real de carga (F_c) de 0,5 a 1,0, en el valor total de las 4 zonas se aumenta a 16,56 Mpa pero continua siendo inferior a lo establecido en la NSR-10.

Igualmente se encontraron diferencias con otros estudios, López y Trujillo (2002), hallaron un valor de esfuerzo admisible de 26,40 Mpa, Lozano et al (2010), obtuvieron un valor de esfuerzo admisible de 13,62 Mpa, producto de la desigualdad en los factores de reducción trabajados en sus respectivos estudios, López y Trujillo (2002) (condición real de carga de 1,0 el factor de seguridad de 1,2 y el factor de reducción por duración de la carga de 1,11), Lozano et al (2010) (0,5 para la condición real de carga, 2,25 y 1,0 para factores de seguridad y de reducción de carga).

7. CONCLUSIONES

Los diámetros de la sección transversal en los culmos disminuyen con la altura. El promedio para las cuatro zonas en la sección superior, media e inferior fueron de 10,82cm, 9,89cm y 8,25cm respectivamente. En cuanto a promedio por zonas se encontró que los mayores diámetros en culmos están en la Zona B y C, y los de menor diámetros en la zona A y D.

El espesor de pared en los culmos disminuye con la altura. El promedio para las cuatro zonas en la sección superior fue de 1,02cm, para la sección media 1,34cm y para la sección inferior 1,69cm. El promedio de espesor de pared por zona fue mayor en la zona B en la sección superior inferior y media. Los valores más bajos de espesor de pared para las tres secciones corresponden a los de la zona A.

La resistencia a la tensión paralela a la fibra de probetas de guadua varía de la misma manera como varia la densidad anhidrida. Se encontró que los valores promedios de densidad anhidrida son mayores en la sección superior con un promedio de 717,69 Kg/cm³, seguida por la sección media con 686,18 Kg/cm³ y por último la sección inferior con un valor de 658,92 Kg/cm³. La densidad anhidrida promedio para 120 probetas de las cuatro zonas y las tres secciones fue de 690,19 Kg/cm³, con valores máximos y mínimos de 809,05 Kg/cm³ y 516,64 Kg/cm³ respectivamente, con una desviación estándar de 53,90 Kg/cm³.

El valor promedio de contenido de humedad para las cuatro zonas fue de 101,257%, con una desviación estándar de 11,91%, con valores mínimos y máximos de 74,18% y 128,54% respectivamente.

Entre niveles de factor, el factor zona tuvo un efecto significativo para la resistencia a la tensión, se encontró para la zona B diferencias mínimas significativas en comparación con los demás zonas según la prueba LSD de Fisher.

La variación de resistencia a la tensión depende de la sección del culmo, se encontraron diferencias significativas entre valores de resistencia promedio de las secciones inferiores y media, comparado con el valor promedio de la sección superior. Para las cuatro zonas se encontraron valores promedio de 60,77 Mpa y 59,46 Mpa para la sección inferior y media respectivamente; valores que se encuentran por debajo de la resistencia a la tensión paralela a la fibra obtenida para la sección superior 62, 89 Mpa.

El valor característico para las cuatro zonas fue de 49,69 Mpa, valor superior al encontrado por Lozano et al (2010) para tres departamentos Cundinamarca, Quindío y Valle del cauca, utilizando igual metodología de trabajo; Malaver (2007) obtuvo un valor característico de 107.90 Mpa, resultado muy superior a consecuencia de las diferencias en los contenidos de humedad en las probetas.

Para las cuatro zonas el esfuerzo admisible promedio obtenido fue de 8,28 Mpa resultado inferior según lo establecido por la NSR-10 DE 18 Mpa, aún si se modifica la condición real de carga (F_c) de 0,5 a 1,0, el valor obtenido es de 16,56 Mpa.

El módulo de elasticidad promedio $E_{0.5}$ para la totalidad de las probetas fue de 14913,30 Mpa, el percentil 5 8277,70 Mpa, siendo superiores a los presentado por la norma NSR-10

8. RECOMENDACIONES

Para todos los guaduales se recomienda realizar las prácticas silviculturales, las cuales consisten entre otras actividades en realizar el proceso de sócola, entresaca, distribución de residuos vegetales, eliminación de malezas y extracción de guaduas dañadas, con el fin de tener un rodal limpio que permite un mejor desempeño y menor riesgo para los operarios dentro del rodal.

Para la selección y corte de la guadua se debe tener en cuenta las normas establecidas para este fin, así mismo es recomendable realizar estos procesos con personal capacitado; de igual manera el avinagrado es un proceso que se recomienda realizar para todos los culmos cortados, ya que mediante éste se reduce el ataque de insectos y se garantiza una duración mayor de la guadua.

Para la elaboración de probetas con buen terminado y que permitan un desarrollo óptimo en la prueba se hace necesario la utilización de una sierra sin fin, la cual debe estar en buen estado y sin fallas en la cuchilla, previniendo afectaciones a las probetas y en consecuencia a la prueba de tensión paralela a la fibra.

En el proceso de caracterización física y medición de los culmos y las probetas, es necesaria la utilización de equipos y herramientas con una buena precisión, que permitan datos lo más exacto posible.

Para la prueba de tensión paralela a la fibra en la máquina VERSA TESTER, se recomienda la utilización de unas mordazas con una buena área de agarre, porque de esto depende el buen desarrollo de la prueba, con mejores resultados en la fuerza aplicada a la probeta.

Es recomendable realizar la prueba de tensión paralela a la fibra en equipos con controladores digitales, ya que de esta manera se obtendrán datos y resultados más precisos; en los equipos donde se realiza la prueba de tensión paralela a la fibra y existen controladores manuales, y además las lecturas obtenidas son de observación personal, se recomienda tomar los datos lo más preciso posible ya que de la precisión en estas lecturas hace que se obtenga un mejor resultado.

En el momento de la ejecución de los ensayos en los equipos, se hace necesaria la asesoría de personal capacitado y con experiencia en el manejo de los mismos, ya que de esto depende el buen desarrollo de la prueba y la toma de datos más precisos.

Para garantizar una buena toma de datos en la deformación, es necesario contar con la ayuda y la asesoría de personal con experiencia en el momento de colocación de los deformímetros eléctricos, debido a que esta etapa depende una buena toma de datos.

Se recomienda que para las pruebas de tensión paralela a la fibra, módulo de elasticidad y densidad anhidrida, la cantidad de probetas sea mayor, ya que de la cantidad de probetas ensayadas depende que el análisis estadístico sea más completo y preciso.

Se recomienda seguir realizando pruebas a flexión, cortante y torsión de la *Guadua angustifolia* del departamento del Huila, con el fin complementar los estudio de la guadua de este departamento, y así observar el comportamiento de la misma en las diferentes construcciones, debido a las distintas fuerzas a las que puede ser sometido el material.

9. BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, AIS. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Titulo G “Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá D.C, 2010.

CAPERA, Andrés y ERAZO, Wilson. Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la Guadua Angustifolia del municipio de Pitalito – Huila. Trabajo de grado Ingeniería agrícola. Neiva, Colombia: Universidad Surcolombiana. 2012. 145p.

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. Citado por: CAPERA, Andrés y ERAZO, Wilson. Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la Guadua Angustifolia del municipio de Pitalito – Huila. Trabajo de grado Ingeniería agrícola. Neiva, Colombia: Universidad Surcolombiana. 2012. 145p.

CASTRILLÓN, Brigitte y MALAVER, Diego. Procedimientos de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la guadua. Tesis de grado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2004. 94 p.

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.

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

JANSEN, Julius: Bamboo in Building Structures. Thesis to obtain the degree of Doctor of Technical Sciences at the Eindhoven University, Nijmegen Netherlands. 235 p. Citado por: GONZÁLEZ, B.; MONTOYA, Jorge y BEDOYA, José. Esfuerzo de tensión y la influencia de la humedad relativa del ambiente y la altura a lo largo del tramo en la especie de bambú Guadua Angustifolia Kunth. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. 2006. Scientia et Technica no 32 ISSN 0122-1701.

GIRALDO, Edgar, SABOGAL, Aureliano. “LA Guadua angustifolia KUNTH EN COLOMBIA”. Corporación Autónoma Regional del Quindío. Subdirección de Recursos Naturales y educación ambiental. Centro Nacional para el Estudio del Bambú-Guadua, 1999.

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: 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.

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

GONZÁLEZ, B.; MONTOYA, Jorge y BEDOYA, José. Esfuerzo de tensión y la influencia de la humedad relativa del ambiente y la altura a lo largo del tramo en la especie de bambú *Guadua Angustifolia* Kunth. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. 2006. Scientia et Technica no 32 ISSN 0122-1701.

GONZÁLEZ, Héctor y MONTOYA, Jorge. Metodología de preparación de muestras experimentales en procesos investigativos con *Guadua Angustifolia*.

GUTIERREZ, Mateo. Factor de corrección por contenido de humedad para la resistencia a tensión paralela a la fibra de la *Guadua Angustifolia* Kunth. Tesis de maestría. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2011.149 p.

HIDALGO, Oscar. Bambú: su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía. Universidad de Texas. Estudios Técnicos Colombianos, 1974. 318 p.

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.

Instituto Tecnológico Superior de Champoton (INTESCAM). Gobierno de México. (n.d.). Disponible en: <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r68071.PDF>. Consultado en Enero de 2013.

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

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. Citado por: GUTIERREZ, Mateo. Factor de corrección por contenido de humedad para la resistencia a tensión paralela a la fibra de la *Guadua Angustifolia* Kunth. Tesis de maestría. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2011. 149 p.

LOPEZ, Luis y TRUJILLO, David. Diseño de uniones y elementos en estructuras de guadua. Seminario – Taller Avances en la investigación sobre guadua. Pereira: 2002.

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.

MCCLURE, F.A. The bamboo: A fresh perspective. Harvard University, Cambridge. 1966. Citado por: URIBE, Maritza y DURÁN, Alejandro. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guadas. Tesis de grado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil. 2002. 125 p.

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.

OSORIO, S., Jairo A., VÉLEZ, R., Juan y CIRO. V, Héctor. Determinación de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de la *Guadua Angustifolia* Kunth. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. Colombia: 2005. V.58, No 1. p. 2709-2715.

PACHECO, Cari. Resistencia a la tracción perpendicular a la fibra de la *Guadua angustifolia*. Trabajo de grado. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. 2006. 132 p.

PANTOJA, Nelson y ACUÑA, Diego. Resistencia al corte paralelo a la fibra de la *Guadua angustifolia*. Tesis de grado. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. 2005. 94 p.

PINEDA, Luisa. Diseño de experimentos en el área de ingeniería electrónica. Trabajo de grado ingeniería electrónica. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander 2009. 78 p.

PRIETO, Edwin y SANCHES, Jorge. Comportamiento de la guadua angustifolia sometida a flexión. Tesis de grado. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. 2002. 139 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.

ROBLEDO, Jorge. Un Siglo de Bahareque en el antiguo Caldas. En: CONGRESO MUNDIAL DE BAMBU/GUADUA. (1º: 1992: Pereira). Memorias I Congreso Mundial de Bambú / Guadua. Pereira: 1992. P. 129 p.

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

SERRANO GALLEGO, Roque. Introducción al análisis de datos experimentales: Tratamientos de datos en bioensayos Roque Serrano Gallego. - Castello de la plata: Publicacions de la Universitat Jaume, I, D.L. 2003. ISBN 84-8021-4295.

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

UNSAM. Los hombres, enseñando, aprenden Séneca (I a.c.). Editorial S. Gil Ed. 2002. 380 p.

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

VILLEGAS, Marcelo. Guadua: Arquitectura y Diseño. Editorial Villegas Ed. 2003. 206 p.

WALPOLE, Ronald. Probabilidad y estadística para ingenieros. Sexta edición. Prentice – Hall HispanoAmericana, S.A. México, 1999. 752 p. ISBN 970-17-0264-6.

WALTER, Liese. The anatomy of bamboo culms. Technical Report. International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), 1998. 35 p. ISBN 81-86247-26-2.

ANEXOS

ANEXO 1. Corte y trozado de la guadua.

Figura 26. Selección y corte con machete de la guadua, predio SENA Yamboro, Pitalito Huila.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 27. Corte sobre el canuto, para evitar el daño físico del rizoma.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 28. Medición y marcación de las secciones del culmo, predio La Esperanza Pitalito Huila.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 29. Trozado de culmos en secciones, predio La Esperanza Pitalito Huila.



Fuente: Fotografía de los autores

ANEXO 2. Caracterización física de culmos y extracción de probetas

Figura 30. Selección del tolete, predio La Esperanza Pitalito Huila.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 31. Almacenamiento de los toletes, Taller de carpintería Jaime Núñez, Pitalito-Huila.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 32. Extracción de latas a partir de los toletes, con sierra de disco, Taller de carpintería Jaime Núñez, Pitalito-Huila.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 33. Latas extraídas de los toletes de guadua.



Fuente: Fotografía de los autores.

Figura 34. Elaboración de probetas en el Taller de carpintería Don Luis Córdoba, ubicado en la carrera 6 N° 10-23 Neiva (Huila).



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 35. Probetas para la prueba de tensión paralela a la fibra.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 36. Probetas para la prueba de densidad.



Fuente: Fotografía de los autores

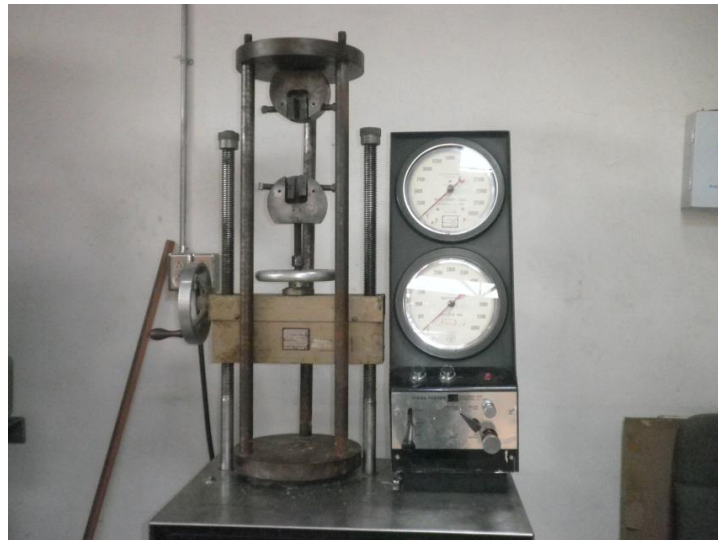
Figura 37. Inmersión en agua de las probetas, edificio SINDU Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.



Fuente: Fotografía de los autores

Anexo 3. Ensayos físicos y mecánicos para las probetas de *Guadua angustifolia*.

Figura 38. Equipo para el ensayo de tensión paralela a la fibra, Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.



Fuente: Fotografía de los Autores.

Figura 39. Probeta fallada a tensión paralela a la fibra



Fuente: Fotografía de los Autores.

Figura 40. Falla Producida por las mordazas



Fuente: Fotografía de los Autores.

Figura 41. Falla típica de tensión paralela a la fibra



Fuente: Fotografía de los Autores.

Figura 42. Equipo para el ensayo de módulo de elasticidad, Laboratorio de maderas y guadua SINDU, Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 43. Deformímetro eléctrico Uniaxial



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 44. Probetas ensayadas a tensión y guardadas en bolsa resellable, para posteriormente determinar su contenido de humedad.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 45. Balanza para el peso de probetas Laboratorio de maderas y guadua Universidad Nacional Sede Bogotá.



Fuente: Fotografía de los autores

Figura 46. Horno para el secado de las probetas de guadua, Laboratorio de maderas y guadua. Universidad Nacional Sede Bogotá.



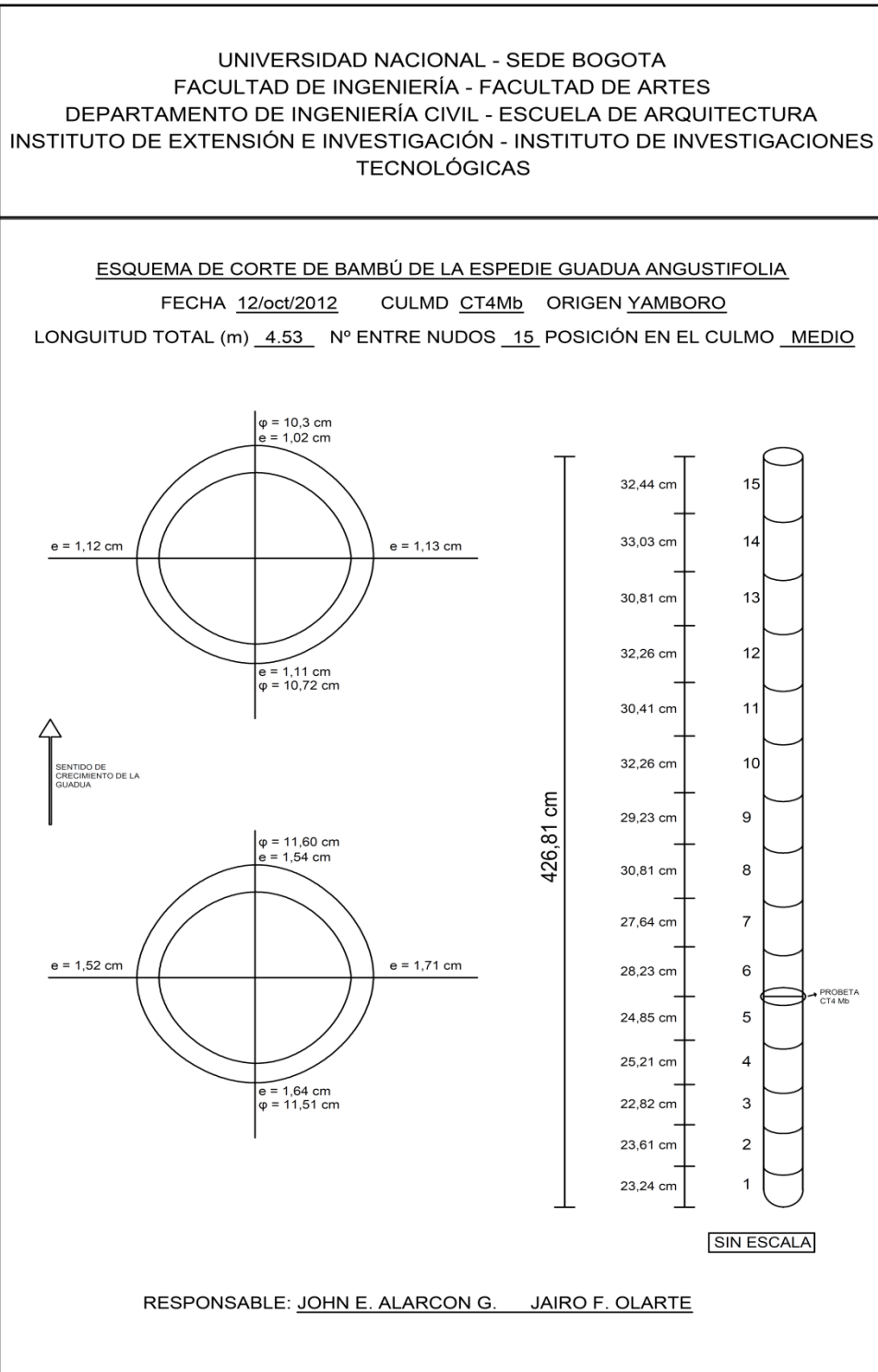
Fuente: Fotografía de los autores.

Figura 47. Determinación por inmersión del volumen de la probeta de densidad, Universidad Nacional Sede Bogotá



Fuente: Fotografía de los autores

ANEXO 4. Caracterización física de la sección Media (Basa) y lugar de corte de la probeta CT4Mb.

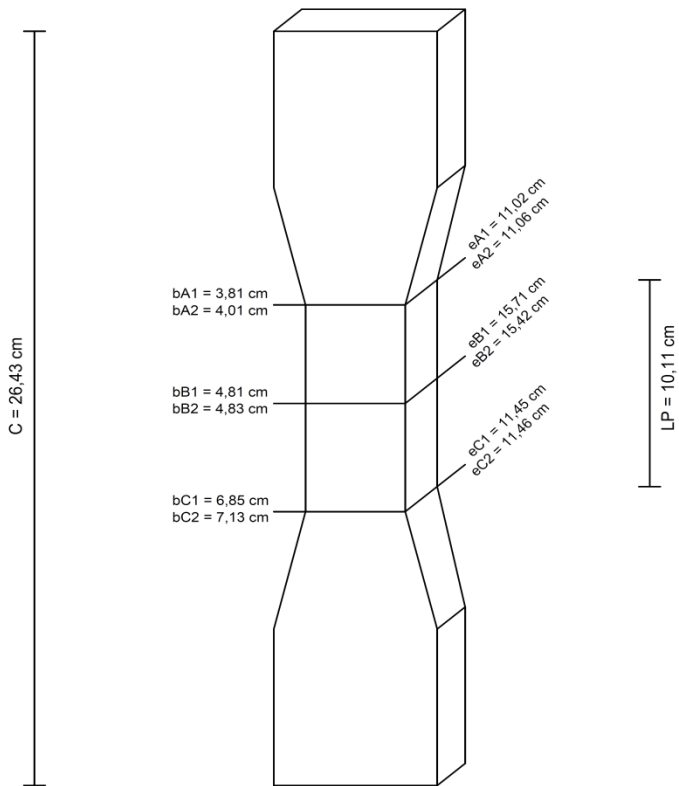


ANEXO 5. Caracterización física de la probeta CT4Mb

UNIVERSIDAD NACIONAL - SEDE BOGOTA
 FACULTAD DE INGENIERÍA - FACULTAD DE ARTES
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL - ESCUELA DE ARQUITECTURA
 INSTITUTO DE EXTENSIÓN E INVESTIGACIÓN - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
 TECNOLÓGICAS

ENSAYO DE TENSIÓN DE BAMBÚ DE LA ESPEDIE GUADUA ANGUSTIFOLIA

FECHA 127/Nov/2012 MUESTRA CT4Mb LONGITUD (mm) 264,30



CARGA UTL (Kg)	MAQUINA
	360

ESFUERZO ULTIMO	
(Kg/cm ²)	MPa
577,31	57,73

CONTENIDO DE HUMEDAD (%) 93,15
 FOTOS FIGURA 35 Y 36

TEMPERATURA AMBIENTE (°C) 13,16 - 24,6
 HUEMDAD AMBIENTE (%) 38 - 83

RESPONSABLE: JOHN E. ALARCON G. JAIRO F. OLARTE SIN ESCALA

ANEXO 6. Caracterización física de culmos de *Guadua angustifolia*.

Tabla 36. Caracterización física de culmos del Rodal A. Diámetros y espesores de cada una de las tres secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).

sección culmo	Inferior				Media				Superior			
	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior
A1	10,01	8,78	1,90	1,32	8,92	7,13	1,12	1,73	7,21	4,42	0,84	0,78
			1,31	1,21			1,92	1,75			0,67	0,60
	10,21	8,92	1,80	1,10	9,10	7,32	1,11	1,86	7,09	4,70	0,72	0,71
			1,42	1,02			1,05	1,72			0,72	0,71
A2	10,61	10,42	1,73	1,23	10,46	7,72	1,41	0,81	7,54	5,92	0,71	1,01
			1,32	1,45			1,22	0,83			0,94	1,12
	10,92	10,24	1,93	1,51	10,33	7,53	1,21	0,78	7,63	6,02	0,83	1,2
			1,56	1,32			1,52	0,91			0,92	1,11
A3	11,04	10,11	2,01	1,31	10,01	7,12	2,08	0,92	7,12	4,91	0,91	0,82
			1,93	1,43			2,12	0,93			1,03	0,81
	10,81	11,83	1,95	1,51	10,12	7,23	1,83	1,02	7,23	5,01	0,91	0,76
			1,87	1,51			1,83	1,01			0,93	0,78
A4	11,12	10,81	1,81	2,32	11,11	8,81	1,81	1,03	8,80	6,14	1,21	0,83
			1,53	1,94			1,90	1,01			1,01	0,91
	11,01	11,00	1,82	2,25	11,25	8,93	2,11	1,23	9,72	6,22	1,14	0,82
			1,81	2,03			2,32	1,18			1,23	0,85

Tabla 36. (Continuación).

sección culmo	Inferior				Media				Superior			
	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior
A5	9,43	9,12	1,41	1,01	9,34	7,54	1,23	0,78	7,42	4,62	0,82	0,63
			1,44	1,23			1,41	0,85			0,74	0,62
	9,61	9,33	1,19	1,12	9,21	7,31	1,01	0,79	7,21	4,23	0,81	0,71
			1,32	1,25			1,38	0,92			0,71	0,74
A6	10,63	9,73	2,21	1,62	9,95	7,41	1,61	0,91	7,40	4,72	0,98	0,77
			1,92	1,55			1,56	1,02			1,02	0,76
	10,52	9,91	2,31	1,47	9,82	7,36	1,42	0,93	7,31	4,81	0,97	0,77
			2,11	1,51			1,44	1,01			1,01	0,81
A7	8,84	8,62	2,21	1,34	8,74	6,64	1,16	0,63	6,57	3,54	0,63	0,60
			2,08	1,42			1,28	0,76			0,84	0,51
	9,31	8,57	1,87	1,36	8,61	6,53	1,32	0,83	6,48	3,14	0,84	0,51
			2,13	1,28			1,34	0,82			0,62	0,60
A8	9,76	9,23	1,78	1,43	9,80	7,25	1,93	0,92	7,23	3,42	0,80	0,73
			2,42	1,33			1,83	0,84			0,80	0,61
	9,64	9,45	2,38	1,27	9,32	7,13	1,91	0,72	7,32	3,13	1,02	0,52
			2,14	1,34			1,82	0,83			0,94	0,63
A9	9,16	8,44	1,62	0,92	8,40	6,43	1,12	0,63	6,40	4,01	0,61	0,70
			1,26	1,13			1,23	0,64			0,62	0,53
	8,92	8,29	1,42	1,08	8,31	6,78	0,93	0,74	6,70	3,78	0,73	0,61
			1,63	0,93			1,08	0,73			0,72	0,61

Tabla 36. (Continuacion).

sección culmo	Inferior				Media				Superior			
	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior
A10	9,12	9,53	1,52	1,42	10,00	7,11	1,45	0,78	7,00	5,25	0,62	0,52
			1,63	1,21			1,23	0,83			0,61	0,53
	9,41	9,91	1,32	1,50	9,72	7,24	1,31	0,83	7,02	5,11	0,73	0,70
			1,41	1,34			1,31	0,81			0,74	0,61
A11	9,23	8,93	1,72	1,33	8,82	8,12	1,13	0,91	8,90	8,01	1,10	0,91
			1,48	1,11			1,24	0,91			1,22	0,90
	9,25	9,00	1,81	1,40	8,93	8,25	1,32	0,83	8,80	8,23	1,31	0,82
			1,49	1,13			1,11	0,82			1,10	0,81
A12	9,24	8,95	1,64	1,02	9,01	7,11	1,23	1,03	7,00	5,54	1,01	0,83
			1,58	1,23			1,13	0,95			1,00	0,68
	9,01	8,81	1,24	1,46	8,72	7,21	1,18	1,01	7,14	5,48	1,01	0,71
			1,63	1,21			1,40	1,00			0,97	0,82

Tabla 37. Caracterización física de culmos del Rodal B. Diámetros y espesores de cada una de las tres secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).

sección culmo	Inferior				Media				Superior			
	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior
B1	12,63	11,65	2,03	1,65	11,72	10,14	1,80	1,30	10,10	8,21	1,32	1,30
			2,23	1,74			1,81	1,26			1,31	1,30
	12,82	11,43	2,24	1,83	11,83	9,91	1,64	1,33	10,02	8,31	1,26	1,21
			2,05	1,89			1,82	1,31			1,28	1,20
B2	12,75	12,13	2,12	2,10	12,21	10,54	2,20	1,33	10,80	9,02	1,32	1,13
			1,91	2,04			2,31	1,30			1,52	1,10
	12,78	12,30	1,88	2,08	12,10	10,72	2,11	1,26	10,71	8,87	1,31	0,96
			2,06	2,13			2,25	1,32			1,42	1,00
B3	12,62	12,03	2,41	1,47	12,51	10,11	1,61	1,10	10,10	8,51	1,02	1,02
			2,30	1,48			1,62	1,12			1,00	1,01
	12,75	12,15	2,03	1,55	12,21	9,93	1,43	1,11	10,21	8,70	1,01	0,94
			2,11	1,63			1,52	1,03			1,02	0,93
B4	12,63	11,42	1,82	1,44	11,22	9,41	1,51	1,14	9,42	7,81	1,10	1,02
			1,91	1,62			1,33	1,10			1,02	0,95
	12,44	11,32	2,01	1,61	11,34	9,33	1,50	1,11	9,55	7,91	1,02	0,93
			2,02	1,45			1,60	1,10			1,11	1,00
B5	13,01	12,42	1,92	1,91	12,61	10,92	1,90	1,32	11,00	9,60	1,40	1,10
			2,10	2,01			1,84	1,41			1,61	1,03
	13,24	12,51	2,23	1,90	12,52	11,10	2,00	1,51	11,10	9,43	1,40	1,13
			2,03	1,93			1,82	1,44			1,41	1,01

Tabla 37. (Continuación).

sección culmo	Inferior				Media				Superior			
	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior
B6	11,02	10,60	2,05	1,34	10,61	9,05	1,41	1,01	9,21	8,23	1,23	1,51
			2,04	1,51			1,32	1,13			1,02	1,60
	11,21	10,71	1,83	1,35	10,70	8,94	1,33	1,02	9,01	8,32	1,1	1,41
			1,82	1,50			1,50	1,14			1,11	1,50
B7	12,42	11,51	1,85	1,73	11,51	9,60	1,42	1,02	9,61	7,81	1,00	0,9
			2,02	1,64			1,43	1,01			1,12	1,00
	12,57	11,64	1,93	1,81	12,61	9,51	1,50	1,12	9,73	7,73	1,03	0,96
			2,01	1,73			1,51	1,11			1,02	0,94
B8	11,92	10,51	1,81	1,52	10,73	7,63	1,46	0,92	7,61	5,13	0,96	0,74
			1,96	1,45			1,32	1,02			0,94	0,83
	11,82	10,61	2,03	1,37	10,52	7,61	1,50	1,01	7,72	5,41	1,02	0,81
			1,94	1,44			1,50	0,93			1,01	0,82
B9	14,11	13,25	2,30	1,93	12,10	9,75	1,94	1,23	9,83	7,63	1,30	1,01
			2,16	1,91			2,05	1,31			1,32	0,92
	14,23	13,18	2,13	2,04	12,03	9,90	1,82	1,33	9,90	7,64	1,26	0,9
			2,24	2,11			2,03	1,30			1,23	1,02
B10	12,50	12,31	2,03	1,75	12,01	11,10	1,83	1,16	11,2	9,01	1,25	1,10
			2,28	1,84			1,82	1,23			1,32	1,11
	12,73	12,20	2,26	1,93	12,23	11,14	1,91	1,30	11,15	8,92	1,30	1,02
			2,31	2,01			1,90	1,31			1,31	1,13

Tabla 37. (Continuacion).

sección culmo	Inferior				Media				Superior			
	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior
B11	10,41	10,43	1,60	1,40	10,22	10,10	1,32	1,30	9,90	8,12	1,2	1,02
			1,71	1,42			1,40	1,32			1,31	1,01
	10,62	10,5	1,60	1,62	10,31	9,95	1,43	1,24	9,83	8,04	1,31	0,94
			1,72	1,52			1,42	1,25			1,21	0,93
B12	8,70	8,42	1,67	1,13	8,63	8,10	1,32	1,04	8,23	5,93	1,03	0,83
			1,65	1,20			1,35	0,95			1,15	0,74
	8,82	8,50	1,72	1,23	8,71	8,03	1,52	0,93	8,13	6,02	0,94	0,84
			1,74	1,15			1,34	1,05			1,13	0,73

Tabla 38. Caracterización física de culmos del Rodal C. Diámetros y espesores de cada una de las tres secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).

sección culmo	Inferior				Media				Superior			
	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior
C1	11,75	11,53	1,54	1,53	11,50	10,00	1,65	1,03	10,01	8,32	1,03	0,85
			1,66	1,71			1,62	1,04			1,02	0,93
	11,73	11,60	1,72	1,72	11,42	10,13	1,54	1,00	10,20	8,20	1,00	0,90
			1,72	1,70			1,61	0,94			0,94	0,82
C2	12,10	11,73	1,71	1,70	11,7	10,42	1,53	1,04	10,41	9,35	1,01	0,96
			1,54	1,51			1,54	1,03			1,02	0,95
	12,24	11,82	1,55	1,52	11,71	10,41	1,46	1,12	10,35	9,41	1,11	1,01
			1,52	1,50			1,65	1,14			1,03	1,00
C3	10,95	11,03	1,91	1,43	11,15	9,94	1,45	1,21	9,81	8,64	1,04	0,94
			1,64	1,46			1,63	1,15			1,13	0,95
	11,13	11,12	1,63	1,44	11,23	10,05	1,65	1,16	9,90	8,52	1,14	0,93
			1,82	1,51			1,62	1,13			1,02	1,00
C4	12,15	11,46	1,86	1,53	11,60	10,93	1,64	1,13	10,82	9,94	1,21	1,05
			1,94	1,42			1,71	1,12			1,20	1,03
	12,06	11,52	2,04	1,41	11,51	10,72	1,54	1,02	10,8	9,67	1,24	1,01
			2,03	1,50			1,52	1,11			1,04	0,96
C5	11,73	11,04	1,90	1,60	11,03	9,36	1,66	1,04	9,54	8,60	1,02	1,11
			1,67	1,83			1,65	0,95			0,93	1,02
	11,61	11,03	1,83	1,75	11,12	9,51	1,63	0,92	9,42	8,61	0,91	1,00
			1,85	1,62			1,54	0,91			1,01	1,01

Tabla 38. (Continuación).

sección culmo	Inferior				Media				Superior			
	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior
C6	10,04	10,62	1,70	1,72	10,51	9,04	1,65	0,96	9,11	7,90	1,04	0,84
			1,64	1,65			1,63	1,03			0,92	0,82
	10,43	10,51	1,43	1,56	10,63	9,25	1,72	1,05	9,13	8,03	0,94	0,81
			1,44	1,33			1,74	1,03			1,01	0,90
C7	11,74	11,54	2,03	1,44	11,52	10,02	1,55	0,95	9,93	8,63	0,82	1,12
			1,85	1,43			1,52	0,93			0,91	1,03
	11,95	11,52	1,83	1,35	11,41	10,04	1,45	0,95	10,01	8,61	0,93	1,01
			1,94	1,51			1,51	0,94			1,02	1,03
C8	11,61	11,30	2,03	1,66	11,30	9,91	1,74	1,03	9,61	8,80	1,01	0,91
			2,05	1,65			1,52	1,01			1,03	1,02
	11,32	11,40	1,81	1,54	11,41	9,90	1,51	1,00	9,80	8,90	1,13	0,93
			1,80	1,52			1,45	1,12			1,05	1,05
C9	11,54	11,03	1,93	1,34	10,92	10,25	1,42	1,03	10,12	9,21	1,05	1,02
			2,32	1,32			1,53	1,12			1,06	1,10
	11,71	11,15	2,35	1,30	11,01	10,03	1,42	1,11	10,03	9,01	1,07	1,11
			2,16	1,25			1,56	1,12			1,12	1,10
C10	12,13	11,03	2,01	1,43	11,01	9,74	1,62	1,71	9,70	8,31	1,10	1,01
			2,21	1,50			1,52	1,70			1,20	1,10
	12,36	11,11	2,50	1,60	11,10	9,61	1,46	1,53	9,71	8,20	1,05	0,94
			2,41	1,60			1,60	1,61			1,20	1,00

Tabla 38. (Continuacion).

sección culmo	Inferior				Media				Superior			
	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior
C11	10,62	10,53	1,82	1,48	10,63	9,45	1,43	0,95	9,51	8,52	1,02	0,91
			1,93	1,45			1,32	0,93			0,95	0,92
	10,53	10,62	2,01	1,33	10,50	9,51	1,42	1,02	9,50	8,63	0,94	1,00
			1,94	1,32			1,31	1,03			0,95	0,90
C12	10,51	10,32	2,21	1,32	10,33	9,42	1,33	0,96	9,11	8,01	0,90	0,90
			2,20	1,30			1,35	0,94			0,92	0,91
	10,62	10,52	1,90	1,25	10,51	9,35	1,25	0,95	9,20	7,91	0,92	0,90
			1,92	1,42			1,32	1,00			1,00	1,00

Tabla 39. Caracterización física de culmos del Rodal D. Diámetros y espesores de cada una de las tres secciones en sus extremos superiores e inferiores (cm).

sección culmo	Inferior				Media				Superior			
	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior
D1	12,53	12,24	2,25	1,80	12,63	10,45	1,72	1,45	10,61	8,53	1,43	1,13
			2,24	1,76			1,82	1,44			1,35	1,12
	12,43	12,11	2,43	1,73	12,42	10,52	1,73	1,43	10,51	8,62	1,35	1,23
			2,42	1,75			1,80	1,5			1,45	1,12
D2	11,91	11,43	2,11	1,82	11,51	11,22	1,83	1,42	11,42	11,23	1,82	1,43
			2,23	1,84			1,82	1,37			1,72	1,42
	11,82	11,21	2,21	1,72	11,32	11,16	1,71	1,43	11,31	11,12	1,83	1,44
			2,02	1,73			1,71	1,42			1,74	1,35
D3	11,42	11,63	1,83	1,82	11,62	11,45	1,81	1,83	10,41	8,31	1,23	0,93
			1,92	1,71			1,74	1,85			1,43	0,93
	11,33	11,75	1,82	1,83	11,71	11,62	1,81	1,84	10,53	8,42	1,45	1,01
			1,92	1,72			1,79	1,92			1,43	1,03
D4	10,32	11,05	1,92	1,82	11,23	10,14	1,73	1,32	10,23	8,63	1,52	1,04
			1,84	1,92			1,73	1,34			1,43	1,05
	10,51	11,23	1,83	2,01	11,34	10,03	1,84	1,44	10,11	8,67	1,54	0,95
			1,94	2,03			1,82	1,32			1,55	0,92
D5	10,23	10,32	1,63	1,63	10,24	8,43	1,33	0,93	8,43	7,52	1,03	0,82
			1,76	1,68			1,34	1,04			0,94	0,91
	10,11	10,23	1,74	1,64	10,23	8,42	1,58	0,94	8,54	7,32	0,92	0,82
			1,73	1,53			1,63	1,02			0,94	0,95

Tabla 39. (Continuación).

sección culmo	Inferior				Media				Superior			
	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior
D6	11,82	12,13	1,93	1,93	11,92	10,23	1,63	1,43	10,32	8,09	1,35	1,03
			2,05	2,03			1,82	1,32			1,32	1,05
	12,35	12,34	2,04	2,05	12,04	10,11	1,85	1,45	10,45	8,25	1,36	1,94
			1,93	2,06			1,80	1,42			1,41	2,05
D7	9,73	9,93	1,73	1,63	9,63	9,32	1,53	1,12	9,12	7,72	1,12	0,93
			1,72	1,74			1,72	1,14			1,13	1,03
	9,82	9,93	1,75	1,62	9,82	9,25	1,73	1,23	9,23	7,63	1,25	0,92
			1,82	1,81			1,64	1,12			1,14	1,03
D8	10,32	10,13	1,32	1,23	10,31	8,92	1,12	1,04	8,91	6,81	1,03	0,72
			1,04	1,12			1,04	0,93			0,94	0,81
	10,54	10,23	1,45	0,92	10,24	9,01	1,23	0,95	9,04	6,93	0,93	0,72
			1,35	1,11			1,06	1,03			0,92	0,82
D9	10,07	10,03	1,52	1,45	9,92	9,01	1,32	1,23	9,12	7,84	1,03	0,94
			1,74	1,63			1,53	1,13			1,13	1,13
	10,12	10,45	1,72	1,53	9,94	9,14	1,55	1,02	9,04	7,64	1,15	1,06
			1,63	1,53			1,45	1,16			1,11	1,03
D10	10,12	10,61	1,63	1,62	10,62	10,14	1,61	1,63	9,61	8,51	1,33	1,12
			1,72	1,82			1,82	1,61			1,31	1,24
	10,23	10,63	1,62	1,61	10,61	10,23	1,61	1,61	9,71	8,61	1,31	1,32
			1,61	1,61			1,65	1,72			1,25	1,33

Tabla 39. (Continuacion).

sección culmo	Inferior				Media				Superior			
	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior	Diámetro inferior	Diámetro superior	Espesor inferior	Espesor superior
D11	8,81	8,82	1,62	1,31	8,92	7,72	1,34	0,91	7,72	5,51	1,02	0,72
			1,61	1,42			1,41	1,03			1,03	0,73
	8,82	8,94	1,62	1,43	9,01	7,61	1,32	1,20	7,71	5,42	1,02	0,81
			1,53	1,45			1,43	1,05			1,01	0,81
D12	8,51	8,23	1,51	1,36	8,21	8,02	1,32	1,31	8,01	5,91	1,12	1,01
			1,62	1,32			1,33	1,32			1,13	1,12
	8,52	8,31	1,61	1,43	8,31	8,12	1,21	1,32	7,91	6,01	1,12	1,14
			1,62	1,41			1,21	1,21			1,14	1,13

Tabla 40. Caracterización física de culmos del rodal A. Longitud de entrenudos (cm)

culmo	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Entrenudo												
1	16,31	20,71	12,42	12,63	14,92	15,34	14,74	12,23	16,21	16,42	13,91	14,62
2	16,72	19,43	13,02	15,13	14,81	13,81	15,73	14,91	16,62	17,82	13,94	15,72
3	18,23	20,41	13,31	15,92	16,23	19,72	16,92	15,33	17,92	18,51	15,53	15,61
4	18,33	19,32	13,63	17,81	17,52	20,61	17,41	15,51	18,23	18,89	15,52	16,13
5	17,11	20,31	15,82	16,04	20,63	22,83	17,92	16,52	19.71*	19.02*	16,21	16,11
6	17.81*	19.11*	17,52	16,11	20.81*	22.31*	18,71	16,42	19.54*	20.11*	16,52	19.43*
7	20.51*	19.12*	18,22	14.52*	23.31*	25.68*	19.32*	17,32	20,92	19,82	17.82*	20.02*
8	20,04	18,81	19.61*	17.21*	21,91	25,02	19.21*	17.68*	20,25	19,94	18.11*	22,51
9	20,13	19,53	20.23*	17,22	21,82	26,52	19,24	18.53*	21,91	18,72	21,03	24,72
10	19,87	18,09	20,51	18,53	22,03	26,01	19,52	17,74	21,03	19,71	20,11	25,61
11	18,23	20,31	19,82	21,52	21,32	27,33	20,13	18,92	22,91	18,52	20,41	26,03
12	18,41	20,51	22,23	21,23	22,03	27,51	20,22	19,23	22,23	19,82	22,51	27,34
13	19,22	23,53	23,01	22,68	21,83	28,21	21,05	19,62	24,41	18,71	24,54	28,23
14	21,91	23,71	24,62	24,52	23,02	28,02	20,91	20,22	24,12	21,83	26,12	30,11
15	22,73	26,41	23,01	25,72	21,91	27,91	21,42	21,03	26,11	22,42	27,82	31,13
16	24,51	26,11	26,04	28,23	21,72	27.78*	20,33	21,52	25,41	25,11	29,23	31.63*
17	25.57*	27,81	26,72	30.04*	22,01	28.31*	20,38	21,82	27.71*	24,51	30.21*	32.82*
18	28.56*	25.22*	27.23*	29.45*	25.52*	26,53	20,85	22,73	26.92*	27.02*	30.81*	33,67
19	27,81	25.71*	25.11*	30,15	25.46*	26,75	21,13	23,91	28,82	24.71*	31,13	33,91
20	29,02	23,51	21,54	28,52	26,92	28,43	20.73*	25.11*	28,11	25,51	30,43	33,51
21	30,13	21,52	15,43	28,44	26,81	29,91	21.32*	25.53*	29,63	25,03	29,71	35,02

Tabla 40. (Continuación).

culmo	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Entrenudo												
22	30,52	20,71	14,52	28,81	30,02	29,83	22,91	26,12	28,22	26,01	24,23	35,23
23	30,92	24,63	11,82	30,56	29,92	31,51	25,62	26,32	30,51	23,91	28,82	35,3
24	31,82	27,71	16,52	26,43	30,91	31,23	26,02	26,16	30,21	22,31	29,94	26,23
25	30,42	28,62	19,73	31,22	29,34	32,23	27,81	26,07	31,32	22,04	31,03	25,71*
26	30,92	29,32	18,22	30,73	29,91	32,12	26,74	24,91	31,23	22,81	29,51	26,03*
27	32,61	32,41	23,12	32,51	31,13	31,45	28,01	24,61	31,93	21,72	28,93	25,68
28	31,52*	32,64	30,03	31,58	31,01	31,36*	27,62	24,91	30,83*	23,32	34,33	25,72
29	30,23*	32,01	30,77	31,92*	30,81	30,61*	28,31	22,91	31,43*	25,72	34,62*	25,46
30	30,51	30,23*	31,64	31,62*	31,63*	29,14	27,93	22,03	32,05	25,03	33,04*	24,91
31	32,81	35,81*	33,61	31,83	31,34*	28,33	27,62	23,14	32,13	35,41	30,72	
32	32,23	25,83	32,41	29,73	32,23	25,51	27,11*	23,05	30,42	27,53*	32,23	
33	31,71	29,42	32,72*	30,61	31,43	22,34	27,43*	25,13	29,71	28,32*	34,25	
34	29,52	32,04	33,24*	32,23	31,88		25,71	25,54	27,14	28,72	34,91	
35	30,02	34,51	32,12	31,52	32,62		26,51	25,82		28,32		
36		35,01	29,21				26,31	24,02*		28,61		
37			32,21				27,24	23,45*		27,71		
38			34,03				26,52	20,81		27,62		
39							27,01	19,23				
40								20,53				
41								20,43				
42								17,12				
43								17,43				

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

* Lugar de corte de los toletes

Tabla 41. Caracterización física de culmos del rodal B. Longitud de entrenudos (cm).

culmo Entrenudo	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
	1	18,82	15,23	16,01	16,05	18,62	17,42	17,55	14,65	16,22	19,47	19,67
2	17,93	16,11	14,83	15,62	18,41	18,62	16,63	14,41	16,43	20,05	22,42	17,42
3	18,63	16,35	16,21	16,23	18,66	19,41	17,41	15,42	18,43	21,64	21,63	17,41
4	17,81*	17,42	15,42	16,18*	19,63*	19,63	17,62*	14,86	17,81	22,61	21,83*	18,25
5	20,02*	18,24*	16,21*	16,29*	20,03*	21,23	20,08*	16,44*	18,43*	23,25*	22,41*	18,48*
6	19,93	19,12*	16,66*	17,34	21,25	21,02*	19,21	16,61*	17,42*	24,03*	24,84	20,61*
7	21,22	19,14	19,62	18,23	22,43	22,61*	21,24	18,22	19,62	24,23	23,65	21,21
8	20,04	21,83	18,46	19,43	23,42	22,82	20,43	18,03	19,23	25,64	27,23	21,43
9	19,56	23,64	22,34	20,63	25,62	25,43	24,01	21,22	21,21	27,02	29,01	23,81
10	18,21	25,07	25,83	21,23	27,81	26,01	24,13	21,61	21,41	27,65	30,21	23,42
11	18,42	27,22	23,01	23,61	29,84	28,43	27,23	23,62	24,63	29,21	31,62	25,61
12	19,23	28,03	23,43	25,03	30,62	28,46	28,21	23,64	24,82	29,43	34,02	29,23
13	21,91	30,81	27,21	25,61	30,43	30,01	29,61	25,21	27,84	31,42	35,63*	28,23
14	22,73	31,03	26,61	27,03	32,01	30,22	28,04	24,61	26,23	32,41	36,62*	33,41*
15	24,51	31,45	29,01	27,61	32,63	31,83	30,24	27,21*	29,81	33,61*	36,61	34,82*
16	25,54*	32,22	27,63*	29,23	33,23*	31,43*	30,25	25,82*	27,24*	33,66*	36,01	36,63
17	28,51*	32,81	31,22*	29,81	35,04*	32,81*	32,02*	28,43	30,21*	35,22	36,21	36,41
18	27,82	30,23	28,82	31,03*	35,43	32,82	30,84*	27,01	29,02	33,81	36,83	37,03

Tabla 41. (Continuación).

culmo	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
Entrenudo												
19	29,11	32.43*	32,03	31.04*	36,82	33,63	32,43	29,04	32,01	34,83	36,85	36,21
20	30,02	32.61*	31,01	30,62	37,03	33,01	29,81	28,04	29,45	34,61	37,12	36,25
21	30,51	32,64	34,03	29,81	37,42	33,21	32,45	29,05	32,04	35,21	37,23	35,61
22	30,94	32,66	32,61	29,62	37,43	34,01	31,01	27,43	29,81	34,61	37,61	35,62
23	31,83	32,81	33,63	29,23	38,03	35,43	32,02	27,81	32,03	34,82	37,02	35,41
24	30,42	32,22	32,04	29,41	37,02	36,43	34,42	28,83	30,01	34,21	37,82	35,43
25	32,24	32,23	32,23	28,85	36,81	38,21	33,23	33,63	32,43	35,23	38.01*	35,62
26	32,67	34,24	31,43	28,01	36,03	38,43	35,43	29,32	29,81	34.21*	39.21*	34.81*
27	33,44	34,03	34,03	27,41	34.82*	38.62*	34,21	30,62	33,01	36.06*	39,02	34.83*
28	29,81	34.41*	31.23*	28,43	35.61*	38.72*	36.41*	30,82	30,42	34,61		35,42
29	34,22	34.61*	34.23*	29,41	36,23	40,21	35.02*	33,21	33,83	35,25		35,81
30	35,43	36,03	31,41	32.21*		40,81	36,43	32,61	32.05*			35,85
31	34.61*	36,61	35,82	33.63*				36.02*	35.02*			
32	32.71*		35,21	35,21				34.63*	34,02			
33	30,63		37,01	37,62				37,63	36,83			
34								36,21				
35												
36												
37												
38												
39												

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

* Lugar de corte de los toletes

Tabla 42. Caracterización física de culmos del rodal C. Longitud de entrenudos (cm).

culmo Entrenudo	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	1	18,62	20,04	17,02	17,82	16,63	18,02	17,83	17,41	14,23	13,81	16,01
2	18,64	20,24	17,83	18,83	16,65	18,42	17,84	19,42	15,62	14,23	16,83	16,61
3	19,04	21,25	18,04	18,84	17,43	18,83	19,05*	19,03	16,02	14,83	17,02	17,83
4	19,83	20,82	20,43*	21,05*	19,81	20,03*	19,42*	19,23	17,41*	15,65	18,03*	17,45
5	20,64*	22,61*	19,62*	20,41*	21,24*	20,23*	21,23	19,61*	18,63*	15,42	18,62+	18,03*
6	21,23*	22,01*	21,23	22,63	20,61*	20,81	20,43	21,63*	18,63	16,22*	19,21	19,32*
7	22,45	24,21	23,02	23,24	20,72	20,63	22,21	21,61	20,03	17,01*	20,01	17,83
8	22,71	25,83	25,03	23,61	21,67	23,62	22,03	22,41	20,62	16,42	20,83	18,84
9	23,41	26,42	24,21	22,82	22,42	23,24	24,81	22,03	20,82	16,61	20,84	20,83
10	24,81	30,01	28,02	25,21	24,41	23,64	29,42	24,43	20,63	18,02	23,21	19,43
11	27,01	30,04	24,03	24,85	23,42	24,61	27,63	24,61	21,65	17,63	23,84	21,43
12	29,02	31,21	31,83	28,23*	26,03	26,82	27,41	27,81	22,81	18,82	25,03	21,24
13	30,21	30,63	31,42	27,64*	25,82	28,02	30,82*	28,02	23,45	18,63	25,83	24,32
14	30,43	31,64*	32,82*	30,81	28,83	29,21*	30,21*	31,02*	25,01*	19,83	27,43	23,41
15	31,24	30,81*	32,23*	29,23	28,81*	29,03*	32,61	30,82*	27,23*	19,84	27,84	25,81
16	31,12*	32,23	34,21	32,22	30,43*	29,43	31,65	33,21	29,03	21,03	29,21	24,83
17	31,25*	31,83	34,03	30,41	28,83	29,61	34,23	33,42	30,23	21,82	29,23*	26,42*
18	31,45	32,03	34,81	32,26	30,22	30,03	32,22	35,23	31,23	22,84*	30,42*	25,73*
19	31,23	31,63	33,23	30,81	29,23	29,41	31,67	34,61	31,81	23,45*	30,61	27,61

Tabla 42. (Continuación).

culmo Entrenudo	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	20	32,81	33,41	33,62	33,03	29,34	29,62	34,24	35,82	33,02	24,61	31,43
21	32,83	33,52	33,01	32,44	27,01	30,22	32,41	35,93	32,81	25,23	33,21	28,81
22	32,63	34,83	33,13	32,43	27,82	30,44	34,83	35,65	34,63	26,83	34,83	27,83
23	33,03	33,23	33,82	32,84	26,63	32,35	33,62	35,82	34,82	27,02	34,62	29,64
24	33,12	33,84	34,43	35,63	29,24	32,81	36,03	37,44	35,21	27,63	34,81	28,63
25	33,22	32,84*	32,81	34,82	29,83	34,01	37,23	37,02	35,25	28,21	35,42*	29,14
26	32,24	35,03*	34,84*	37,22	32,43	33,62	35,68	38,43*	35,43	28,83	36,22*	29,63
27	32,81*	36,41	35,12*	34,81	33,01*	33,21*	36,22	37,21*	35,62	29,85	36,67	31,82
28	32,25*	36,23	36,21	36,45*	34,67*	33,25*	35,21	38,41	36,24*	30,13	36,82	31,03*
29	32,84	31,04	34,23	35,83*	34,43	33,67	35,02*	36,48	35,82*	30,23	37,32	33,21*
30	33,23			36,41	36,21	33,42	33,21*		35,43	31,02		32,82
31	31,82				36,22	33,61	39,23		36,81	31,42		34,63
32					37,45		33,01			32,63*		34,03
33										32,81*		36,05
34										32,83		
35										33,42		
36										35,04		
37												
38												
39												

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

* Lugar de corte de los toletes

Tabla 43. Caracterización física de culmos del rodal D. Longitud de entrenudos (cm).

culmo Entrenudo	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12
1	20,64	20,54	20,08	14,65	19,65	21,43	21,62	17,83	25,02	21,43	19,83	19,82
2	22,03	21,63	20,13	18,83	19,62	21,84	23,22	17,82	26,05	23,81	19,03	19,04
3	23,62	22.83*	22.82*	19,43	19.42*	22.21*	22,65	19,23	27,41	23.42*	20.23*	20.23*
4	22.61*	23.42*	22.63*	19.61*	20.02*	23.25*	24.02*	19,41	27.43*	24.65*	20.64*	20.63*
5	25.62*	24,81	23,22	19.44*	20,81	24,26	23.43*	22.04*	27.03*	25,22	22,21	22,23
6	22,43	27,24	24,01	20,62	22,23	24,83	26,01	20.21*	27,61	25,61	22,65	22,63
7	23,42	29,04	24,63	20,82	22,04	21,84	27,34	20,63	28,61	27,53	23,45	25,43
8	23,82	29,43	24,61	22,62	23,41	24,23	27,55	23,51	27,64	28,84	23,42	29,85
9	27,65	30,61	25,44	21,23	25,23	27,25	28,82	22,81	29,63	28,83	23,41	31,04
10	26,43	31,21	27,21	24,85	25,21	28,83	29,23	25,63	30,01	31,23	25,63	32,43
11	27,21	34,01	27,82	25,63	26,83	31,85	31,43	23,02	30,81	31,02	26,41	33,21
12	27,44	34,04	29,21	26,81	27,25	33,02	32,22	27,23	32,45	35.63*	26,02	35,62
13	30,01	36.67*	28,03	26,82	29.41*	33.81*	34.01*	27.81*	33,81	35.21*	29,01	36.01*
14	30.87*	37.82*	30.01*	29,21	30.23*	32.82*	35.22*	30.43*	34,83	36,03	31,62	38.43*
15	31.23*	38,81	36.63*	30.23*	32,05	36,03	35,43	30,83	36.45*	36,43	32.22*	38,61
16	31,62	39,45	33,23	32.84*	32,03	36,81	35,68	32,01	35.63*	38,22	34.01*	39,21
17	32,61	40,21	32,04	33,67	32,41	36,05	36,02	32,64	36,21	38,45	36,42	39,33
18	33,41	39,83	36,01	35,61	32,43	34,61	35,22	33,83	37,04	38,01	38,43	38,22

Tabla 43. (Continuación).

culmo	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12
Entrenudo												
19	32,85	29,34	35,41	34,61	33,21	35,42	36,03	35,01	37,03	38,21	36,81	38,41
20	32,01	30,65	39,25	36,82	31,05	35,21	35,62	35,67	36,62	39,23	37,21	37,23
21	32,65	31,65	38,03	36,61	32,26	32,82	37,61	37,01	37,01	39,21	35,43	36,83
22	31,43	32,62	38,83	36,55	31,43	33,21	37,22	36,61	37,43	43,22	34,21	36,21
23	33,03	31,63	35,83	37,62	31,41	30,83	37,83	36,42	37,41	43,01*	33,01	35,03
24	32,81	32,81*	35,43	37,61*	31,22	34,62	37,44*	34,83	37,01*	43,01*	32,83	34,23
25	35,44	33,44*	35,61*	37,43*	31,23*	34,83	38,41*	33,01	37,65*	42,22	31,65*	34,03
26	35,21	34,82	34,22*	38,03	30,81*	35,41*	37,63	27,81	37,64	45,21	29,65*	31,65*
27	35,63*	37,21	34,21	37,42	32,04	34,43*	37,81	22,43	38,62		27,01	30,01*
28	35,43*		32,28	37,05	32,22	35,01		21,61*			26,63	38,43
29	36,05		33,41	37,43	33,81			26,03*			26,63	29,04
30					34,01			26,03				
31								30,21				
32								26,83				
33												
34												
35												
36												
37												
38												
39												

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

* Lugar de corte de los toletes

ANEXO 7. Caracterización física de probetas de *Guadua angustifolia*.

Probeta	Sección A-A				Sección B-B				Sección C-C				área
	b _{A1} (cm)	b _{A2} (cm)	e _{A1} (cm)	e _{A2} (cm)	b _{B1} (cm)	b _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	b _{C1} (cm)	b _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	
AT11a	7,99	8,29	11,27	11,35	7,91	8,21	16,12	15,07	9,71	9,88	11,19	11,22	1,10
AT11b	7,43	7,64	8,59	8,66	6,59	6,61	13,16	13,44	7,43	8,33	9,48	9,54	0,77
AT21a	6,82	7,26	14,86	14,89	7,04	7,71	18,21	18,46	7,77	8,27	14,63	14,71	1,19
AT21b	6,91	7,07	10,86	10,98	6,98	7,21	13,53	14,92	8,17	8,15	12,16	12,24	0,92
AT31a	7,49	7,53	15,51	15,53	6,82	7,18	18,67	18,63	8,32	8,73	14,11	14,12	1,24
AT31b	8,91	8,96	13,35	13,44	6,33	6,27	15,86	15,93	6,73	6,82	12,48	12,53	1,02
AT41a	8,82	8,89	16,16	16,26	7,53	7,44	18,21	18,28	9,88	9,84	15,39	15,58	1,45
AT41b	7,46	7,52	14,18	14,47	7,64	7,87	19,55	19,75	8,82	8,79	14,41	14,53	1,29
AT51a	8,22	8,63	10,29	10,33	8,18	8,53	13,58	13,69	7,78	7,88	10,33	10,38	0,94
AT51b	8,45	8,55	10,01	10,03	6,55	6,61	14,63	14,54	6,87	6,78	10,36	10,33	0,85
AT61a	7,94	8,24	14,31	14,28	9,44	9,83	19,39	19,28	8,59	8,71	13,96	14,09	1,40
AT61b	7,71	8,26	16,28	16,25	8,52	9,05	19,13	20,43	8,62	8,55	15,88	15,94	1,46
AT71a	8,28	8,21	10,55	10,76	7,99	8,12	19,38	18,97	8,96	9,04	11,01	11,1	1,15
AT71b	7,95	8,08	13,61	13,66	7,77	8,34	19,79	19,81	6,34	6,63	12,95	13,02	1,16
AT81a	7,69	8,41	15,61	15,65	6,71	7,29	17,63	17,99	7,43	7,96	14,63	14,51	1,21
AT81b	7,33	7,42	11,35	11,24	8,39	8,68	14,93	15,02	7,29	7,32	11,98	12,04	0,99
AT91a	8,76	8,85	12,22	12,31	8,21	8,43	17,25	17,14	8,38	8,49	11,93	12,19	1,18
AT91b	9,33	9,38	10,03	9,98	8,29	9,92	13,72	13,61	10,53	11,15	10,61	10,68	1,12
AT101a	7,93	8,37	14,26	14,32	7,66	8,61	18,38	18,44	9,06	9,34	14,97	15,04	1,35
T101b	8,59	8,77	14,24	14,12	6,48	6,88	18,87	18,77	6,62	6,99	14,62	14,72	1,17
AT111a	8,04	8,14	10,76	10,81	6,58	6,67	14,61	14,69	6,08	6,11	11,61	11,57	0,86
AT111b	7,86	7,92	9,62	9,73	7,75	7,77	13,37	13,85	9,16	8,89	9,75	9,81	0,91

Probeta	Sección A-A				Sección B-B				Sección C-C				Área
	b _{A1} (cm)	b _{A2} (cm)	e _{A1} (cm)	e _{A2} (cm)	b _{B1} (cm)	b _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	b _{C1} (cm)	b _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	
AT12Ia	7,51	7,92	14,12	14,25	7,98	8,21	21,04	22,02	8,55	8,73	14,23	14,21	1,36
AT12Ib	8,52	8,77	12,98	13,02	8,35	8,53	18,16	18,23	8,61	8,92	12,91	13,05	1,27
AT1Ma	7,62	7,74	9,06	9,12	6,95	7,76	14,55	13,98	7,18	7,21	9,45	9,61	0,81
AT1Mb	7,26	7,32	8,86	8,98	6,65	6,68	13,02	12,82	8,06	8,97	8,95	8,94	0,77
AT2Ma	6,82	7,26	14,86	14,89	7,04	7,71	18,21	18,46	7,77	8,27	14,63	14,71	1,19
AT2Mb	6,91	7,07	10,86	10,98	6,98	7,21	13,53	14,92	8,17	8,15	12,16	12,24	0,92
AT3Ma	9,78	9,92	11,93	11,87	8,46	9,04	16,22	16,28	5,54	5,48	11,58	11,62	1,06
AT3Mb	8,91	8,96	13,35	13,44	6,33	6,27	15,86	15,93	6,73	6,82	12,48	12,53	1,02
AT4Ma	8,82	8,89	16,16	16,26	7,53	7,44	18,21	18,28	9,88	9,84	15,39	15,58	1,45
AT4Mb	8,68	9,31	12,91	13,04	7,78	8,64	18,79	17,93	8,97	9,13	11,81	11,94	1,26
AT5Ma	6,28	6,56	7,94	7,78	6,86	6,75	14,13	13,18	6,22	6,15	7,35	7,24	0,62
AT5Mb	8,28	8,56	7,94	7,98	6,86	6,75	14,13	14,18	6,22	6,15	8,35	8,24	0,72
AT6Ma	6,67	6,98	10,49	10,55	7,41	7,73	15,49	15,58	8,14	7,96	11,84	11,79	0,94
AT6Mb	7,32	7,16	11,62	11,65	7,82	7,84	17,66	18,49	7,19	7,25	11,64	11,53	1,02
AT7Ma	7,18	6,99	8,49	8,52	6,79	6,81	13,28	13,43	7,96	8,21	8,99	9,03	0,75
AT7Mb	8,18	8,42	8,97	8,82	7,28	8,19	15,42	15,16	7,42	7,83	8,28	8,35	0,85
AT8Ma	7,18	7,23	9,77	9,93	6,81	6,77	12,59	12,55	7,41	7,46	10,65	10,69	0,79
AT8Mb	6,78	6,72	9,39	9,53	6,94	7,07	14,98	15,32	7,19	7,24	9,91	9,99	0,81
AT9Ma	7,92	7,99	8,25	8,26	7,53	7,69	13,13	11,91	6,81	6,84	8,82	8,87	0,74
AT9Mb	9,06	9,36	8,97	9,02	7,36	7,46	12,35	12,45	7,89	7,81	8,99	9,01	0,83
AT10Ma	8,65	9,06	12,92	12,87	8,65	8,56	22,66	21,82	8,24	8,45	12,36	12,52	1,36
AT10Mb	8,05	7,95	10,85	10,89	9,16	9,18	21,31	22,83	8,37	8,98	10,64	10,68	1,25
AT11Ma	7,36	6,89	9,13	9,18	7,62	7,52	13,62	13,53	7,61	7,74	9,68	9,73	0,81
AT11Mb	7,18	6,67	7,99	8,11	7,55	7,54	13,56	13,18	7,34	7,67	9,73	9,58	0,76
AT12Ma	7,16	7,25	10,72	10,82	8,66	8,52	15,39	15,45	7,84	7,64	10,36	10,49	0,96

Probeta	Sección A-A				Sección B-B				Sección C-C				Área
	b _{A1} (cm)	b _{A2} (cm)	e _{A1} (cm)	e _{A2} (cm)	b _{B1} (cm)	b _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	b _{C1} (cm)	b _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	
AT12Mb	9,99	10,11	11,69	11,74	9,81	10,84	15,12	15,44	8,95	9,11	11,15	11,19	1,25
AT1Sa	6,83	6,95	7,55	7,52	8,02	7,79	12,14	11,48	8,91	9,04	7,21	7,29	0,70
AT1Sb	7,71	7,75	7,31	7,28	6,86	7,06	10,39	10,35	8,98	9,21	6,71	6,74	0,64
AT2Sa	8,41	8,28	8,99	9,02	7,85	8,14	13,22	12,95	8,09	8,37	8,24	8,27	0,83
AT2Sb	6,24	6,18	8,43	8,53	7,87	7,89	15,15	15,04	6,86	6,62	8,39	8,42	0,74
AT3Sa	6,91	6,98	9,91	9,95	7,24	7,26	15,92	15,75	6,83	6,78	9,41	9,36	0,82
AT3Sb	9,21	9,46	8,06	8,18	7,68	9,01	14,06	14,12	7,54	7,67	8,51	8,56	0,86
AT4Sa	7,53	7,73	11,04	11,01	8,27	9,36	15,83	15,77	9,62	9,72	10,51	10,49	1,08
AT4Sb	9,89	9,95	11,43	11,49	8,93	9,01	18,07	18,78	7,21	7,28	11,11	11,13	1,19
AT5Sa	8,02	8,06	8,22	8,24	7,15	7,06	13,84	12,95	7,33	7,69	7,85	7,87	0,74
AT5Sb	6,44	6,68	7,79	7,82	7,45	7,53	13,22	13,08	9,17	9,26	7,71	7,61	0,74
AT6Sa	7,51	7,84	8,08	8,15	7,54	7,49	12,68	12,47	8,36	8,59	8,64	8,71	0,77
AT6Sb	6,35	6,48	7,93	8,05	6,55	6,61	12,67	12,86	7,32	7,26	8,45	8,51	0,66
AT7Sa	7,42	7,51	6,14	6,17	6,59	6,75	9,14	10,73	7,44	7,33	6,02	5,91	0,53
AT7Sb	7,09	7,16	7,11	7,08	7,09	6,91	12,21	12,73	7,55	7,4	6,95	7,03	0,64
AT8Sa	7,29	7,18	6,64	6,58	8,82	9,31	13,14	13,02	8,31	8,43	6,97	7,05	0,73
AT8Sb	8,53	8,51	7,49	7,52	7,48	7,54	12,18	12,28	8,13	8,08	7,53	7,55	0,73
AT9Sa	7,78	7,66	6,21	6,23	6,52	6,58	12,24	12,76	7,78	7,82	6,29	6,41	0,61
AT9Sb	7,68	7,59	7,04	7,29	7,49	7,68	11,79	12,18	7,72	7,49	7,08	7,12	0,67
AT10Sa	7,09	6,95	7,65	7,71	7,65	7,59	12,09	11,99	7,11	7,04	7,65	7,71	0,66
AT10Sb	9,46	9,61	7,35	7,31	8,19	8,37	11,58	11,68	9,63	9,44	8,04	7,97	0,82
AT11Sa	8,56	8,68	8,93	8,89	7,58	7,49	14,72	14,81	7,18	7,24	9,71	9,68	0,87
AT11Sb	6,77	6,81	7,55	7,64	7,39	7,34	15,45	16,87	7,15	7,19	8,84	8,89	0,77
AT12Sa	6,24	6,18	8,43	8,53	7,87	7,89	15,15	15,04	6,86	6,62	8,39	8,42	0,74
AT12Sb	8,68	7,97	9,65	9,49	7,78	7,98	13,63	13,66	8,36	8,42	9,15	9,18	0,88

Probeta	Sección A-A				Sección B-B				Sección C-C				Área
	b _{A1} (cm)	b _{A2} (cm)	e _{A1} (cm)	e _{A2} (cm)	b _{B1} (cm)	b _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	b _{C1} (cm)	b _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	
BT11a	8,14	8,37	15,13	14,93	7,95	8,93	28,98	30,14	7,55	7,66	13,87	13,87	1,58
BT11b	6,76	6,71	12,32	12,34	6,67	6,84	24,61	25,27	6,58	6,51	13,42	13,49	1,13
BT21a	7,32	7,45	14,45	14,48	7,85	7,81	25,27	27,19	7,93	7,82	15,15	15,26	1,43
BT21b	7,04	6,99	15,19	15,08	6,88	6,92	21,73	22,14	7,11	7,14	15,57	15,71	1,23
BT31a	8,03	8,17	18,03	17,51	7,07	7,82	31,44	31,26	6,03	6,24	17,27	17,3	1,60
BT31b	7,41	7,32	17,25	17,19	9,69	9,98	32,67	32,83	7,71	7,58	17,09	17,12	1,85
BT41a	9,15	10,19	15,74	15,39	7,47	8,62	31,56	30,13	8,67	9,01	15,18	15,02	1,81
BT41b	9,05	9,11	14,05	14,15	7,27	7,13	28,59	28,12	9,38	9,42	13,83	13,86	1,61
BT51a	8,01	7,89	20,32	20,84	9,53	10,55	30,51	29,98	8,76	10,55	19,76	20,16	2,17
BT51b	9,89	9,97	17,71	18,12	10,82	11,14	33,14	33,34	9,65	9,63	17,71	17,63	2,34
BT61a	7,02	7,15	12,99	13,04	7,31	7,35	22,66	22,63	6,62	6,44	12,72	12,83	1,13
BT61b	5,26	5,13	11,25	11,32	7,45	7,51	23,51	24,79	7,92	8,04	12,14	12,06	1,09
BT71a	7,74	7,89	14,72	14,69	8,41	8,81	29,94	29,77	7,51	7,76	13,77	13,73	1,56
BT71b	8,38	8,27	14,36	14,39	5,21	5,12	25,69	27,34	6,65	6,71	14,06	14,08	1,23
BT81a	6,47	6,75	16,69	16,92	7,62	7,76	26,51	25,77	7,43	7,51	17,62	18,08	1,47
BT81b	7,98	9,85	16,67	16,31	10,63	11,88	24,23	25,33	9,44	9,63	15,38	15,69	1,87
BT91a	7,09	7,35	19,06	18,96	6,33	6,26	33,54	34,24	7,41	7,26	19,26	19,53	1,67
BT91b	6,71	6,78	17,52	17,29	6,13	6,55	33,59	33,46	8,48	7,82	17,49	17,51	1,61
BT101a	7,21	7,24	19,27	19,21	6,96	6,81	29,65	28,74	7,99	8,02	18,13	18,09	1,64
BT101b	7,42	7,46	18,42	18,37	7,75	8,23	27,62	28,36	7,87	8,26	18,65	18,77	1,70
BT111a	7,97	8,06	14,22	14,28	7,99	7,96	26,76	27,11	7,49	7,52	14,66	14,62	1,46
BT111b	7,08	7,44	14,09	13,89	8,97	9,62	25,44	22,82	8,89	10,65	14,38	14,44	1,54
BT121a	8,73	9,06	10,69	10,71	8,84	8,79	23,52	23,15	8,23	8,29	10,63	10,59	1,29

Probeta	Sección A-A				Sección B-B				Sección C-C				Área
	b _{A1} (cm)	b _{A2} (cm)	e _{A1} (cm)	e _{A2} (cm)	b _{B1} (cm)	b _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	b _{C1} (cm)	b _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	
BT12Ib	5,83	6,37	11,71	11,73	7,45	7,91	22,06	21,48	7,74	8,01	11,68	11,69	1,09
BT1Ma	8,43	8,66	14,41	14,44	8,73	9,18	27,83	28,92	6,91	7,42	15,45	15,38	1,60
BT1Mb	7,24	7,11	16,14	16,35	8,77	9,28	32,08	31,55	8,38	8,81	18,89	17,76	1,83
BT2Ma	7,34	7,34	12,38	12,27	7,09	8,17	30,85	28,09	7,59	8,34	12,34	12,36	1,38
BT2Mb	8,11	8,21	12,17	12,36	8,56	9,04	21,27	21,38	8,02	8,35	13,38	13,49	1,31
BT3Ma	10,25	9,63	13,04	12,95	9,98	11,29	27,31	27,06	9,65	9,46	13,49	13,36	1,79
BT3Mb	8,39	8,43	12,64	12,63	8,82	10,04	25,74	25,12	8,21	8,69	13,25	12,23	1,48
BT4Ma	7,62	7,77	11,68	11,71	6,26	6,24	26,23	27,01	6,31	6,65	11,34	11,38	1,13
BT4Mb	7,88	8,12	12,76	12,71	7,43	7,79	30,42	27,8	6,41	6,38	13,17	13,21	1,35
BT5Ma	7,75	8,29	16,14	16,25	9,16	9,28	28,26	30,66	8,42	8,53	16,11	16,13	1,77
BT5Mb	7,75	8,29	16,14	16,25	9,16	9,28	28,26	30,66	8,42	8,53	16,11	16,13	1,77
BT6Ma	7,08	7,46	10,92	10,79	7,65	8,37	23,57	23,92	7,46	7,48	10,48	10,55	1,14
BT6Mb	7,59	7,67	10,39	10,38	7,03	7,32	25,29	24,63	7,86	7,72	12,11	11,78	1,19
BT7Ma	6,71	6,63	11,95	11,97	6,38	6,31	25,61	26,86	7,48	8,38	12,23	12,21	1,17
BT7Mb	7,65	7,62	12,38	12,73	8,85	8,98	30,58	30,12	6,59	6,74	11,62	11,67	1,41
BT8Ma	7,42	7,71	10,77	10,76	7,33	7,73	25,73	26,22	8,18	8,16	11,58	11,59	1,25
BT8Mb	7,52	7,46	10,97	11,02	7,17	7,26	27,29	25,48	6,73	6,72	10,44	10,51	1,14
BT9Ma	9,77	9,79	13,71	13,71	8,81	9,73	26,39	29,21	9,09	8,79	15,36	15,14	1,77
BT9Mb	8,91	8,86	13,09	13,02	6,35	6,71	25,91	26,03	6,44	6,52	13,16	13,25	1,27
BT10Ma	7,38	7,67	15,83	15,86	8,06	8,45	31,08	32,06	7,84	8,48	16,44	16,33	1,70
BT10Mb	8,23	8,32	14,72	14,61	6,49	6,51	21,75	21,69	7,94	7,99	15,48	15,41	1,31
BT11Ma	7,89	8,08	12,72	12,81	9,34	9,91	26,49	26,89	7,17	7,27	13,13	13,18	1,45
BT11Mb	7,42	7,63	12,21	12,62	9,43	9,52	24,56	25,08	7,58	7,53	11,65	11,68	1,33
BT12Ma	7,01	7,14	9,31	9,39	6,41	6,43	20,58	20,65	6,14	6,23	8,78	8,82	0,85
BT12Mb	6,22	6,46	9,43	9,54	6,42	6,35	19,97	19,68	6,88	6,81	9,65	9,62	0,85

Probeta	Sección A-A				Sección B-B				Sección C-C				Área
	b _{A1} (cm)	b _{A2} (cm)	e _{A1} (cm)	e _{A2} (cm)	b _{B1} (cm)	b _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	b _{C1} (cm)	b _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	
BT1Sa	6,61	6,91	11,03	11,11	8,49	9,12	25,15	24,56	7,08	7,28	12,19	12,16	1,22
BT1Sb	7,73	7,83	11,99	11,85	6,79	6,84	24,22	23,64	6,61	6,48	13,25	13,14	1,15
BT2Sa	8,69	8,44	10,47	10,39	10,39	11,03	18,25	20,09	7,46	7,29	10,03	10,07	1,17
BT2Sb	8,55	8,63	10,29	10,26	8,51	9,65	26,86	26,99	6,52	6,51	11,07	11,27	1,30
BT3Sa	7,87	7,94	9,73	9,78	8,61	8,46	24,03	24,25	6,28	6,23	10,25	10,32	1,11
BT3Sb	7,63	7,95	9,43	9,49	8,61	9,33	24,74	24,12	6,61	6,63	10,02	9,95	1,14
BT4Sa	7,45	7,31	9,96	9,91	6,81	6,93	23,38	22,62	6,98	6,58	9,92	9,96	1,00
BT4Sb	7,62	7,59	9,77	9,75	6,27	6,59	21,52	20,75	6,89	7,16	9,68	9,73	0,95
BT5Sa	7,09	6,69	11,12	11,06	7,41	8,28	26,77	26,07	6,16	6,07	11,05	11,02	1,12
BT5Sb	6,86	6,79	11,72	11,82	9,39	9,45	24,22	24,19	8,86	8,92	11,59	11,62	1,33
BT6Sa	6,27	6,23	10,92	10,93	7,71	7,96	19,93	19,96	7,56	7,62	10,66	10,61	1,00
BT6Sb	6,35	7,31	9,08	9,11	7,86	8,61	21,16	21,52	7,15	7,63	10,05	10,23	1,01
BT7Sa	7,98	8,07	11,01	10,95	7,13	7,12	21,68	21,47	6,65	6,42	10,51	10,53	1,04
BT7Sb	6,62	6,69	10,14	10,18	6,92	6,98	21,07	21,35	8,67	8,53	10,17	10,23	1,03
BT8Sa	6,52	6,75	9,15	9,19	6,71	6,79	16,69	16,84	9,19	9,34	8,72	8,76	0,87
BT8Sb	7,08	7,02	8,31	8,28	6,06	5,99	17,48	17,66	6,41	6,44	8,77	8,69	0,75
BT9Sa	6,45	6,49	11,87	11,91	6,57	6,69	22,37	22,87	6,68	6,71	11,67	11,74	1,02
BT9Sb	7,95	7,94	10,39	10,66	7,41	8,03	24,42	24,37	6,17	6,55	11,17	11,24	1,13
BT10Sa	7,79	7,69	10,91	11,18	8,47	8,87	24,89	25,39	7,48	7,61	11,02	11,08	1,26
BT10Sb	6,56	6,14	11,37	11,34	5,98	6,05	24,66	24,25	6,36	6,19	10,94	10,97	0,97
BT11Sa	8,01	8,29	10,73	10,69	7,44	7,75	22,11	20,86	5,59	5,44	10,39	10,37	1,01
BT11Sb	7,13	6,99	11,14	11,21	7,98	8,04	24,24	24,35	7,96	7,73	11,91	11,85	1,21
BT12Sa	6,19	6,23	8,45	8,43	6,75	6,77	17,82	18,52	6,88	6,74	8,66	8,65	0,78

Probeta	Sección A-A				Sección B-B				Sección C-C				Área
	b _{A1} (cm)	b _{A2} (cm)	e _{A1} (cm)	e _{A2} (cm)	b _{B1} (cm)	b _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	b _{C1} (cm)	b _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	
BT12Sb	6,59	6,67	8,69	8,57	6,55	6,59	16,76	16,84	4,83	4,85	8,46	8,51	0,68
CT11a	6,84	7,45	14,44	14,38	5,83	5,84	18,99	17,45	5,12	5,42	12,62	12,65	0,92
CT11b	8,33	8,55	16,16	16,21	5,26	5,28	19,69	18,49	6,41	6,52	15,86	15,81	1,15
CT21a	6,53	6,85	15,73	15,68	4,71	4,48	19,75	21,19	5,63	5,49	16,72	16,73	0,99
CT21b	6,14	6,29	13,69	13,59	6,34	6,69	17,71	17,72	7,66	7,82	14,58	14,55	1,04
CT31a	7,63	7,29	15,42	15,39	4,75	4,99	21,33	20,35	5,09	5,02	15,21	15,25	0,99
CT31b	6,61	6,87	13,88	13,96	5,55	5,93	19,39	19,33	7,18	8,02	14,19	14,68	1,06
CT41a	6,91	7,29	13,87	13,71	6,53	6,67	17,81	18,15	6,81	6,97	13,45	13,56	1,04
CT41b	7,79	8,69	15,78	15,75	7,13	7,72	21,12	20,95	7,89	9,45	16,18	16,12	1,43
CT51a	8,24	8,67	14,02	14,03	6,67	6,99	19,39	19,32	6,65	7,01	14,51	14,52	1,18
CT51b	7,39	8,45	13,71	13,72	6,42	6,92	19,64	19,68	6,12	6,17	13,98	14,13	1,09
CT61a	7,95	8,59	12,28	12,26	5,04	5,06	17,49	17,28	6,45	6,36	13,05	13,16	0,94
CT61b	5,69	6,02	13,93	13,96	5,95	6,21	19,54	17,82	5,92	5,94	14,66	14,79	0,94
CT71a	6,21	6,49	15,68	15,72	5,71	5,83	19,05	18,32	7,18	7,04	14,18	14,09	1,04
CT71b	5,86	6,49	13,06	13,01	6,43	6,56	17,59	17,62	7,37	7,86	12,66	12,64	0,98
CT81a	7,85	8,59	17,26	17,32	6,65	6,88	23,39	23,76	6,71	7,06	16,54	16,66	1,40
CT81b	7,45	7,43	15,33	15,32	7,19	7,21	19,82	20,53	7,35	7,11	14,01	14,07	1,20
CT91a	7,77	7,76	14,26	14,31	6,31	6,42	19,08	19,19	7,85	7,89	14,52	14,59	1,17
CT91b	7,47	7,32	15,95	15,69	6,19	6,43	21,24	21,23	7,52	8,82	15,33	15,36	1,27
CT101a	6,86	7,94	15,77	15,76	6,21	7,01	20,63	19,67	7,56	8,52	14,77	14,86	1,24
CT101b	6,94	7,93	17,55	17,31	6,76	6,82	20,54	19,67	6,82	7,17	15,99	15,97	1,26
CT111a	7,83	7,87	15,18	15,21	6,43	6,54	19,67	19,73	7,61	7,67	14,64	14,72	1,21
CT111b	8,19	8,36	12,67	12,71	6,51	6,63	15,98	16,51	5,27	5,39	13,61	13,75	0,96
CT121a	9,25	9,76	11,59	11,55	6,98	7,19	17,39	15,77	7,69	7,83	11,03	11,05	1,06
CT121b	6,09	6,17	12,58	12,59	5,58	5,23	17,71	17,21	6,34	6,66	12,63	12,75	0,86

Probeta	Sección A-A				Sección B-B				Sección C-C				Área
	b _{A1} (cm)	b _{A2} (cm)	e _{A1} (cm)	e _{A2} (cm)	b _{B1} (cm)	b _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	b _{C1} (cm)	b _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	
CT1Ma	6,46	6,88	12,57	12,51	6,01	6,29	17,19	16,99	6,61	6,77	12,02	12,05	0,90
CT1Mb	6,76	6,71	11,23	11,14	6,18	6,14	17,22	16,83	6,96	7,05	10,78	10,69	0,86
CT2Ma	7,52	7,59	13,22	13,34	6,09	6,19	18,78	18,85	6,04	6,05	13,03	12,99	0,99
CT2Mb	6,49	7,09	12,83	12,82	5,81	5,84	17,11	17,33	7,65	7,62	13,28	13,32	0,98
CT3Ma	6,68	6,35	11,16	11,19	4,77	4,76	15,95	15,44	6,03	6,19	10,59	10,56	0,72
CT3Mb	7,47	7,52	12,01	12,11	4,88	4,97	16,31	17,52	6,38	6,13	11,83	11,86	0,85
CT4Ma	6,52	6,58	11,66	11,72	6,11	6,29	16,65	14,28	6,34	6,39	11,07	11,11	0,81
CT4Mb	3,81	4,01	11,02	11,06	4,81	4,83	15,71	15,42	6,85	7,13	11,46	11,45	0,66
CT5Ma	7,69	7,49	12,18	12,23	6,92	7,03	16,42	15,53	5,82	6,19	11,71	11,68	0,91
CT5Mb	8,15	8,57	10,79	10,93	8,82	9,08	16,86	17,03	7,28	8,09	11,09	11,11	1,08
CT6Ma	6,49	6,71	11,10	11,26	6,13	6,29	16,77	16,88	6,74	6,79	10,87	10,94	0,85
CT6Mb	6,51	6,72	11,11	11,28	6,13	6,28	16,77	16,87	6,73	6,78	10,86	10,93	0,85
CT7Ma	7,17	6,87	11,52	11,54	6,65	6,72	18,17	18,15	6,31	6,51	11,01	11,03	0,91
CT7Mb	6,63	7,53	11,21	11,32	5,77	6,02	16,71	16,82	6,41	5,82	11,97	12,01	0,85
CT8Ma	7,31	8,02	13,51	13,35	6,96	7,24	19,33	16,29	8,01	7,66	12,62	12,59	1,10
CT8Mb	6,81	7,15	11,61	11,62	5,59	5,57	16,05	15,07	6,04	5,64	11,57	11,73	0,79
CT9Ma	7,24	7,77	10,85	10,88	8,59	8,63	16,62	16,71	6,88	7,09	11,12	11,17	0,99
CT9Mb	6,73	6,98	11,71	11,63	7,49	7,68	16,72	16,71	7,66	7,58	11,74	11,75	0,98
CT10Ma	6,29	6,33	11,11	11,13	7,26	7,69	16,35	14,66	6,78	7,02	10,48	10,52	0,85
CT10Mb	6,71	6,78	10,64	10,61	7,13	7,17	15,02	15,19	7,24	7,27	11,15	11,19	0,87
CT11Ma	7,05	7,26	11,66	11,71	6,86	7,08	15,92	15,82	6,91	6,94	12,11	12,02	0,93
CT11Mb	8,11	8,38	10,52	10,55	7,07	7,43	15,91	15,69	7,14	7,21	10,84	10,91	0,94
CT12Ma	7,51	7,71	11,11	11,14	5,86	5,99	16,92	14,28	6,53	6,71	10,31	10,29	0,83

Probeta	Sección A-A				Sección B-B				Sección C-C				Área
	b _{A1} (cm)	b _{A2} (cm)	e _{A1} (cm)	e _{A2} (cm)	b _{B1} (cm)	b _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	b _{C1} (cm)	b _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	
CT12Mb	5,56	5,59	9,22	9,19	7,15	7,36	16,21	15,62	6,86	6,89	10,73	10,79	0,79
CT1Sa	7,66	8,51	9,96	9,98	6,96	7,08	15,93	16,44	6,85	6,87	9,06	8,98	0,86
CT1Sb	6,02	6,08	9,69	9,75	5,78	5,81	13,99	14,69	5,51	5,55	9,83	9,84	0,65
CT2Sa	6,49	6,93	10,22	10,21	5,48	5,28	16,95	16,38	6,15	6,29	10,17	10,19	0,75
CT2Sb	7,61	7,58	10,23	10,22	6,17	6,31	15,93	15,74	6,42	6,85	10,21	10,23	0,83
CT3Sa	6,55	6,75	9,44	9,46	6,46	6,51	14,61	14,78	6,75	6,89	9,31	9,38	0,74
CT3Sb	5,95	6,19	9,64	9,65	4,81	4,88	15,33	13,32	5,01	5,18	9,14	9,18	0,59
CT4Sa	7,96	8,12	9,77	9,72	7,68	8,03	15,69	14,29	6,94	7,25	9,63	9,74	0,88
CT4Sb	7,11	7,06	10,03	9,97	5,53	5,58	13,43	13,41	5,03	5,08	10,23	10,19	0,66
CT5Sa	8,45	9,02	8,74	8,67	7,72	6,97	14,87	14,47	7,58	7,92	8,49	8,71	0,85
CT5Sb	7,81	8,26	8,71	8,97	7,43	8,28	15,12	15,29	7,23	7,42	8,97	8,88	0,85
CT6Sa	9,54	9,72	8,67	8,52	6,38	6,41	14,11	15,02	9,77	9,97	8,47	8,36	0,91
CT6Sb	7,36	7,64	9,74	9,78	5,89	5,99	15,69	15,97	4,87	5,18	9,13	9,08	0,71
CT7Sa	7,35	7,41	10,05	10,04	4,97	5,06	15,99	16,14	6,04	6,01	9,23	9,24	0,72
CT7Sb	5,93	5,91	8,51	8,56	6,11	6,16	14,13	14,02	7,22	7,24	8,14	8,18	0,66
CT8Sa	6,45	7,07	10,03	9,92	7,02	7,45	15,49	14,71	6,18	6,25	9,41	9,43	0,77
CT8Sb	6,01	6,03	8,83	8,87	5,97	6,11	15,62	15,41	6,72	6,76	8,69	8,66	0,69
CT9Sa	7,51	7,49	9,46	9,58	8,77	8,88	15,21	15,08	6,39	6,42	9,75	9,71	0,87
CT9Sb	6,13	5,52	10,09	10,11	5,91	5,93	15,41	13,49	6,67	6,82	8,82	8,85	0,69
CT10Sa	7,41	7,45	8,71	8,72	6,27	6,43	15,96	15,95	6,51	6,76	9,04	9,11	0,77
CT10Sb	8,25	8,63	10,17	10,23	5,95	6,11	17,11	16,91	6,13	6,37	9,46	9,41	0,84
CT11Sa	5,93	6,12	9,64	9,67	4,96	5,12	14,35	13,36	5,89	6,06	9,14	9,13	0,62
CT11Sb	8,81	9,22	10,16	10,03	7,02	7,38	18,34	18,18	6,34	6,39	9,81	9,78	0,96
CT12Sa	5,87	5,85	8,63	8,62	4,52	4,53	14,53	14,54	6,28	6,32	8,14	8,13	0,58
CT12Sb	7,07	6,98	8,13	8,12	6,69	6,82	13,28	13,45	7,01	7,06	8,27	8,28	0,69

Probeta	Sección A-A				Sección B-B				Sección C-C				Área
	b _{A1} (cm)	b _{A2} (cm)	e _{A1} (cm)	e _{A2} (cm)	b _{B1} (cm)	b _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	b _{C1} (cm)	b _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	
DT11a	8,06	7,39	17,16	17,52	6,78	6,68	22,67	22,13	5,53	5,74	18,08	18,26	1,29
DT11b	8,73	8,77	16,07	16,01	8,18	8,03	21,46	20,87	7,64	7,21	17,04	16,91	1,46
DT21a	8,36	7,81	17,69	17,75	6,11	5,87	24,76	24,95	6,55	6,22	19,31	19,53	1,41
DT21b	7,49	7,42	19,04	19,09	5,65	5,83	21,76	23,45	6,66	6,07	18,74	18,3	1,31
DT31a	8,91	8,68	18,17	18,28	7,77	7,71	22,85	22,93	7,68	8,17	18,51	18,55	1,62
DT31b	5,91	5,93	17,3	17,68	6,61	6,34	22,37	21,43	6,66	6,38	18,53	19,11	1,22
DT41a	9,31	8,98	16,11	16,51	8,53	8,81	20,81	20,66	9,94	9,71	17,26	17,27	1,67
DT41b	9,18	10,06	16,96	17,11	7,48	7,55	19,27	20,6	9,76	8,89	17,25	17,29	1,59
DT51a	10,17	10,01	14,51	14,48	10,69	10,95	18,73	16,78	11,08	11,43	15,11	15,45	1,70
DT51b	8,03	7,85	12,11	12,18	7,17	7,24	15,27	16,15	7,82	7,84	13,75	13,76	1,06
DT61a	7,87	7,13	15,67	15,66	7,66	7,51	21,25	21,38	9,14	8,33	16,72	16,81	1,42
DT61b	9,55	9,23	17,22	17,44	4,53	4,14	22,61	23,61	3,94	4,54	17,95	17,81	1,16
DT71a	8,67	8,29	12,62	12,71	8,43	8,55	18,14	18,75	9,21	8,23	13,61	13,87	1,28
DT71b	7,25	6,71	15,25	15,37	8,26	8,07	21,95	22,19	8,32	8,4	14,97	15,06	1,37
DT81a	8,48	8,15	9,01	9,21	7,09	7,3	16,85	17,26	6,28	6,36	10,33	10,45	0,89
DT81b	7,05	6,91	10,36	10,62	7,09	7,15	16,66	17,27	8,73	8,78	10,96	11,07	0,98
DT91a	6,84	6,52	14,87	14,87	6,23	5,83	17,74	19,21	6,2	6,62	14,42	14,44	1,01
DT91b	7,50	7,52	13,82	13,95	7,16	7,09	20,14	18,86	7,26	6,98	14,11	14,04	1,15
DT101a	6,56	6,18	13,85	14,09	7,39	7,89	20,33	19,44	7,56	6,75	14,98	14,88	1,15
DT101b	7,97	8,12	14,2	14,29	7,87	7,95	22,41	21,78	6,77	6,82	14,44	14,41	1,28
DT111a	8,75	8,35	12,41	12,69	9,47	9,49	17,41	17,8	8,42	7,97	13,61	13,68	1,28
DT111b	8,92	8,4	13,72	13,87	9,58	9,72	18,75	18,68	8,81	8,79	13,83	13,98	1,40
DT121a	7,37	6,74	13,42	13,37	7,64	7,86	18,93	18,88	7,11	7,09	13,45	13,64	1,12

Probeta	Sección A-A				Sección B-B				Sección C-C				Área
	b _{A1} (cm)	b _{A2} (cm)	e _{A1} (cm)	e _{A2} (cm)	b _{B1} (cm)	b _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	b _{C1} (cm)	b _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	
DT12Ib	8,36	8,04	13,37	13,47	5,02	5,69	18,71	20,41	5,08	5,53	12,79	13,11	0,96
DT1Ma	8,41	7,88	13,71	13,5	8,19	9,03	20,22	20,14	7,96	7,83	14,39	14,09	1,32
DT1Mb	9,37	9,08	13,93	14,16	9,81	9,69	19,56	18,71	7,57	8,02	13,77	13,61	1,39
DT2Ma	9,56	8,92	15,67	15,69	8,65	8,44	19,56	18,26	7,91	7,67	15,66	15,71	1,43
DT2Mb	9,27	8,84	12,52	12,72	9,43	9,37	21,3	20,94	9,33	8,84	11,06	11,01	1,37
DT3Ma	8,29	7,6	14,2	14,63	6,03	5,71	20,44	19,58	6,43	5,63	15,53	15,25	1,10
DT3Mb	7,38	7,69	15,94	15,91	8,22	8,51	21,78	20,26	6,74	6,78	14,79	14,53	1,30
DT4Ma	7,68	6,99	12,03	12,15	7,27	7,41	14,85	16,28	7,46	7,2	11,62	11,76	0,96
DT4Mb	9,48	9,15	11,68	11,75	9,65	9,77	18,22	17,61	8,81	8,53	12,91	12,94	1,31
DT5Ma	9,12	8,56	11,04	10,85	7,46	7,52	16,1	15,14	9,24	7,98	10,42	10,33	1,02
DT5Mb	9,09	9,05	12,08	12,16	9,02	9,11	18,22	15,19	6,71	6,82	11,79	11,87	1,12
DT6Ma	8,39	8,03	13,12	13,17	8,91	9,04	16,81	17,16	8,49	7,36	13,16	13,31	1,21
DT6Mb	7,78	7,07	13,98	13,75	8,48	8,79	19,37	19,72	7,52	7,13	13,37	13,16	1,21
DT7Ma	7,91	8,35	12,51	12,71	6,39	6,9	17,56	17,28	6,91	6,63	12,79	12,65	1,02
DT7Mb	7,75	8,28	13,36	13,78	7,82	7,78	17,83	18,15	6,06	6,35	13,43	13,53	1,10
DT8Ma	8,36	8,58	10,51	10,63	9,22	9,39	13,82	14,04	6,82	7,94	10,73	10,87	0,99
DT8Mb	7,21	7,47	9,28	9,37	8,45	8,4	13,66	13,63	8,59	8,4	10,37	10,54	0,90
DT9Ma	7,54	7,79	12,52	12,73	6,83	6,81	18,93	18,73	8,2	7,81	12,74	12,81	1,11
DT9Mb	8,02	7,45	12,56	12,74	8,73	8,37	17,86	16,1	8,19	8,02	13,34	12,37	1,15
DT10Ma	7,02	6,78	13,1	13,18	5,75	5,82	21,41	20,82	6,08	5,87	13,91	13,81	1,00
DT10Mb	7,97	8,41	12,96	13,04	8,27	8,16	19,15	18,51	6,02	5,88	12,63	12,97	1,11
DT11Ma	7,18	6,5	11,93	11,02	6,22	6,41	17,41	17,46	6,69	6,96	11,29	11,39	0,89
DT11Mb	9,41	9,55	11,04	10,92	6,11	6,51	20,26	20,68	5,82	6,33	10,63	10,58	1,02
DT12Ma	6,64	6,38	15,03	15,08	6,03	6,18	22,19	22,16	7,31	6,69	16,16	16,24	1,16
DT12Mb	8,17	7,25	11,88	11,91	7,48	7,52	18,19	18,22	7,06	6,84	11,51	11,59	1,03

Probeta	Sección A-A				Sección B-B				Sección C-C				Área
	b _{A1} (cm)	b _{A2} (cm)	e _{A1} (cm)	e _{A2} (cm)	b _{B1} (cm)	b _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	e _{B1} (cm)	b _{C1} (cm)	b _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	e _{C1} (cm)	
DT1Sa	7,25	6,82	12,42	12,36	7,54	7,39	19,46	19,56	6,19	6,24	13,58	13,25	1,04
DT1Sb	7,03	7,22	12,02	11,93	7,93	8,03	20,91	19,06	7,77	8,03	12,68	12,81	1,14
DT2Sa	9,66	8,94	12,52	12,9	9,05	9,24	19,37	19,33	7,75	7,36	12,99	13,01	1,30
DT2Sb	8,75	8,47	12,86	12,85	8,11	7,92	17,44	17,29	7,95	7,97	12,38	12,52	1,17
DT3Sa	9,51	8,15	11,23	11,13	7,11	7,61	17,92	18,16	6,41	6,47	11,11	11,39	1,02
DT3Sb	8,52	9,34	11,91	11,89	7,75	7,95	19,48	19,21	7,2	6,31	11,12	11,22	1,11
DT4Sa	8,41	7,74	10,6	10,68	8,56	8,48	15,25	16,19	7,51	7,33	10,27	10,4	0,98
DT4Sb	8,28	8,51	9,52	9,43	8,19	8,06	14,88	13,95	8,65	8,24	10,22	10,24	0,95
DT5Sa	8,24	8,09	8,83	8,71	6,84	6,82	14,25	17,16	7,13	7,02	9,11	8,93	0,82
DT5Sb	7,54	7,32	9,14	9,02	8,14	7,91	15,26	14,71	7,42	7,53	9,16	9,31	0,85
DT6Sa	8,84	9,22	12,26	12,75	7,81	7,72	17,14	17,62	6,31	6,06	12,47	12,62	1,08
DT6Sb	7,06	7,28	13,31	13,17	8,21	8,52	18,49	18,83	7,09	7,36	13,26	12,95	1,14
DT7Sa	9,05	8,94	10,49	10,43	8,61	7,59	15,31	16,94	7,07	7,24	9,91	9,96	0,98
DT7Sb	7,94	7,54	10,84	10,87	5,67	5,05	16,81	15,46	4,96	5,03	10,98	11,11	0,76
DT8Sa	7,25	7,32	8,36	8,46	8,59	8,41	16,01	15,41	6,31	6,27	7,87	7,92	0,79
DT8Sb	8,63	8,65	9,21	9,14	7,81	7,68	15,06	14,25	5,84	5,7	9,06	9,13	0,81
DT9Sa	6,39	6,27	10,57	10,49	6,28	6,44	21,51	23,11	6,71	6,26	11,03	11,21	0,94
DT9Sb	8,19	8,08	10,75	10,84	9,61	9,47	19,27	19,81	7,69	7,21	10,49	10,88	1,15
DT10Sa	6,95	6,71	10,87	10,94	5,33	5,81	23,16	24,78	6,22	5,91	11,67	11,66	0,95
DT10Sb	8,35	8,51	10,76	10,69	6,77	6,78	15,45	15,02	6,91	6,81	11,21	11,26	0,91
DT11Sa	7,82	7,63	8,69	8,76	9,69	9,77	13,91	13,27	8,23	8,54	8,75	8,88	0,89
DT11Sb	9,62	8,47	9,59	9,5	8,71	8,42	14,51	14,85	8,43	7,52	9,27	9,18	0,95
DT12Sa	6,64	6,2	9,06	9,01	7,24	7,19	19,76	17,06	7,62	7,05	8,98	9,03	0,85
DT12Sb	7,49	7,87	9,24	9,23	6,27	6,72	15,88	14,78	8,19	8,21	9,22	9,61	0,84

ANEXO 8. Carga máxima, esfuerzo último a compresión, contenido de humedad y anhídrida.

Tabla 44. Resultados experimentales para el ensayo de Tensión paralela a la fibra, Zona A

Sección inferior				
Probeta	F_{Ult} (carga)	σ_{Ult} (MPa)	CH (%)	DA (Kg/m3)
AT1Ib	460,51	59,89	106,78	716,67
AT2Ia	604,42	50,64	133,16*	624,00
AT3Ia	738,74	59,78	125,34	744,00
AT4Ia	959,40	65,99	103,43	719,03
AT5Ib	575,64	67,67	91,00	719,21
AT6Ib	844,27	57,68	99,18	735,71
AT7Ia	623,61	54,26	102,95	659,50
AT8Ia	777,11	64,05	116,72	766,00
AT10Ia	911,43	67,47	111,77	677,37
AT11Ia*	805,90	94,14	88,93	785,50
Sección Media				
AT1Ma	441,32	54,33	105,02	647,50
AT3Ma	575,64	54,06	126,34	670,50
AT4Mb	671,58	53,28	95,83	817,50*
AT5Mb*	594,83	82,22	88,03	858,00
AT6Ma	700,36	74,16	93,40	764,72
AT8Ma	479,70	60,88	128,54	707,50
AT9Ma	479,70	65,10	84,64	843,33*
AT10Mb	623,61	49,81	119,53	764,17
AT11Ma*	757,93	94,01	92,18	664,00
AT12Ma	719,55	75,15	97,84	717,50
Sección Superior				
AT1Sb	431,73	66,98	87,69	781,67

Tabla 44. (Continuación).

Sección Superior				
Probeta	F_{Ult} (carga)	σ_{Ult} (MPa)	CH (%)	DA (Kg/m3)
AT3Sa	527,67	64,34	92,17	675,00
AT4Sa	719,55	66,44	92,14	800,00
AT5Sb	527,67	71,34	87,30	866,00*
AT7Sa*	441,32	83,69	82,14	940,00
AT8Sb	518,08	70,83	103,81	710,00
AT9Sb	441,32	66,29	81,31	803,33
AT10Sa	460,51	69,66	102,42	733,33
AT11Sa	527,67	60,91	84,48	732,50
AT12Sb	527,67	59,63	87,37	672,00

* Valores atípicos

Tabla 45. Resultados experimentales para el ensayo de Tensión paralela a la fibra, Zona B.

Sección inferior				
Probeta	F_{Ult} (carga)	σ_{Ult} (MPa)	CH (%)	DA (Kg/m3)
BT2Ia	959,40	66,90	102,31	592,50
BT3Ia	921,02	57,58	103,35	648,04
BT4Ia	959,40	52,86	113,31	708,00
BT5Ia	1189,66	54,71	104,63	683,33
BT6Ia	633,20	56,18	120,83	516,67
BT5Ia	1189,66	54,71	104,63	683,33
BT6Ia	633,20	56,18	120,83	516,67

Tabla 45. (Continuación).

Probeta	F_{Ult} (carga)	σ_{Ult} (MPa)	CH (%)	DA (Kg/m3)
BT7Ia	901,84	57,85	107,34	582,86
BT8Ia	978,59	66,55	90,12	595,71
BT9Ib	930,62	57,64	122,61	673,04
BT10Ia	1007,37	61,61	112,62	644,46
BT11Ia	815,49	55,96	113,10	721,43
Sección Media				
BT2Ma	748,33	54,24	104,30	665,00
BT3Mb	863,46	58,18	99,89	703,33
BT4Ma	652,39	57,87	74,18	670,00
BT5Mb	911,43	51,64	99,24	663,50
BT6Ma	623,61	54,68	107,48	657,50
BT8Mb	642,80	56,41	107,22	709,16
BT9Ma	911,43	51,63	91,31	652,68
BT10Mb	805,90	61,54	99,83	600,00
BT11Ma	748,33	51,56	95,95	750,00
BT12Ma	441,32	52,06	104,30	619,50
Sección Superior				
BT1Sa	719,55	59,19	109,48	694,00
BT2Sb	709,96	54,62	107,98	716,50
BT3Sb	642,80	56,40	90,56	652,00
BT4Sb	556,45	58,57	94,07	692,50
BT5Sa	719,55	63,98	99,30	640,00
BT6Sa	537,26	53,75	94,77	719,00
BT7Sb	614,02	59,87	81,86	682,00
BT8Sb	489,29	65,28	79,90	870,00*
BT9Sa	681,17	67,01	83,66	706,67
BT10Sb	604,42	62,40	87,22	752,00

*Valores atípicos

Tabla 46. Resultados experimentales para el ensayo de Tensión paralela a la fibra, Zona C.

Sección inferior				
Probeta	F_{Ult} (carga)	σ_{Ult} (MPa)	CH (%)	DA (Kg/m3)
CT1Ib	690,77	60,29	100,92	570,20
CT2Ib	556,45	53,28	77,35*	624,05
CT3Ib	537,26	50,47	88,16	688,00
CT4Ia*	959,40	92,62	79,75	617,11
CT5Ia	882,65	75,00	103,62	559,00
CT6Ia	623,61	66,54	97,41	640,00
CT7Ib	604,42	61,95	58,60*	573,07
CT9Ia	690,77	58,90	114,68	605,59
CT10Ia	921,02	74,10	93,58	554,46
CT12Ia	566,05	53,39	95,29	643,04
Sección Media				
CT1Mb	537,26	62,39	116,07	734,17
CT2Mb	498,89	51,15	91,36	720,38
CT3Mb	412,54	48,71	116,67	664,24
CT4Mb	383,76	57,73	93,15	653,00
CT5Ma	556,45	61,06	99,58	640,00
CT6Ma	623,61	73,69	85,92	665,00
CT6Mb	566,05	66,89	104,11	695,00
CT8Mb	441,32	55,60	89,17	661,50
CT10Mb	556,45	64,17	79,09	652,44
CT12Ma	527,67	63,64	88,55	698,39
Sección Superior				
CT1Sb	450,92	68,91	100,44	736,43
CT2Sb	479,70	58,13	83,14	733,14
CT3Sa	431,73	58,14	98,58	758,33

Tabla 46. (Continuación).

Probeta	F_{Ult} (carga)	σ_{Ult} (MPa)	CH (%)	DA (Kg/m3)
CT3Sb	374,17	63,49	93,23	745,14
CT4Sb	402,95	60,94	79,62	674,09
CT7Sa	460,51	63,66	98,90	809,05
CT9Sb	412,54	60,15	103,57	653,33
CT10Sb	527,67	62,55	106,86	668,33
CT11Sa	364,57	58,98	100,74	722,38
CT12Sa	383,76	66,15	84,89	673,00

*Valores atípicos

Tabla 47. Resultados experimentales para el ensayo de Tensión paralela a la fibra, Zona D.

Sección inferior				
Probeta	F_{Ult} (carga)	σ_{Ult} (MPa)	CH (%)	DA (Kg/m3)
DT11b	911,43	62,36	102,80	653,75
DT21a	863,46	61,27	67,16*	658,98
DT41a	1036,15	62,12	103,27	707,14
DT51b	652,39	61,42	112,82	652,75
DT71a	882,65	68,95	118,57	681,43
DT81b	623,61	63,83	105,80	658,75
DT91a	671,58	66,17	103,33	738,81
DT101b	767,52	59,81	103,16	690,38
DT111a	738,74	57,88	122,48	703,33
DT121b	537,26	55,82	121,69	709,00

Tabla 47. (Continuación).

Sección Media				
Probeta	F_{Ult} (carga)	σ_{Ult} (MPa)	CH (%)	DA (Kg/m3)
DT1Ma	767,52	58,35	106,68	702,50
DT3Ma	690,77	62,89	102,51	720,71
DT4Ma	633,20	65,82	113,36	738,33
DT5Mb	575,64	51,18	112,49	742,14
DT6Mb	671,58	55,38	112,45	669,46
DT7Mb	815,49	74,00	93,28	680,16
DT9Mb	700,36	60,83	104,31	663,33
DT10Mb	661,99	59,72	104,18	676,25
DT11Ma	508,48	60,63	127,21	645,71
DT12Mb	719,55	70,16	121,15	717,33
Sección Superior				
DT1Sa	681,17	65,31	91,66	710,00
DT2Sb	690,77	59,26	110,09	786,00*
DT4Sb	623,61	65,89	104,74	730,00
DT5Sb	546,86	64,46	101,85	755,00
DT6Sb	623,61	54,79	107,38	715,43
DT7Sb	556,45	72,77	97,17	738,00
DT9Sb	661,99	57,81	107,69	702,08
DT10Sa	652,39	68,32	85,42	690,00
DT11Sa	537,26	60,11	93,19	730,50
DT12Sa	527,67	62,13	113,12	730,24

*Valores atípicos

ANEXO 9. Gráficas esfuerzo vs deformación.

Figura 48. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta AT3Ib.

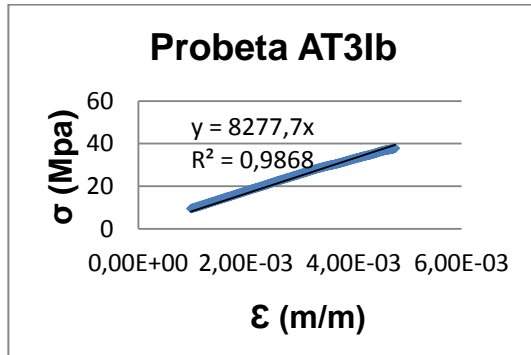


Figura 49. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta AT12Ib.

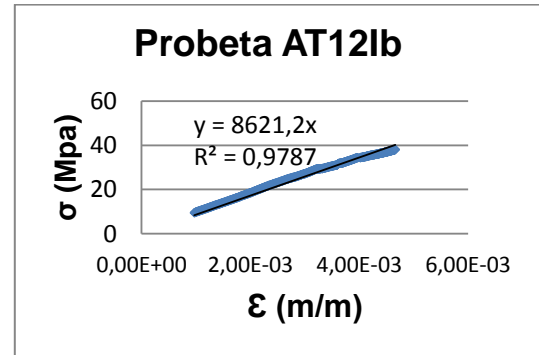


Figura 50. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta AT4Ma.

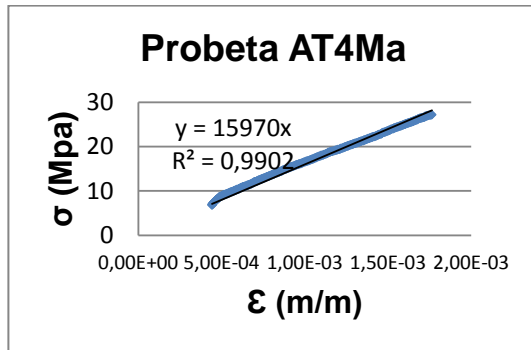


Figura 51. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta AT4Sb.

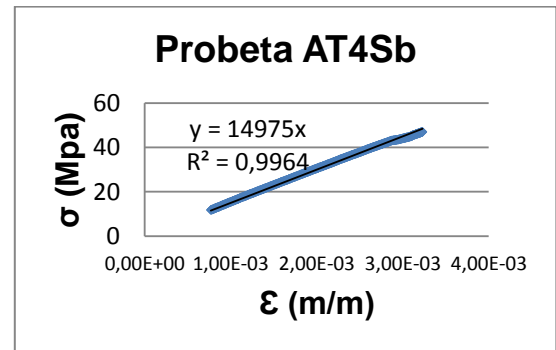


Figura 52. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta BT10Ib.

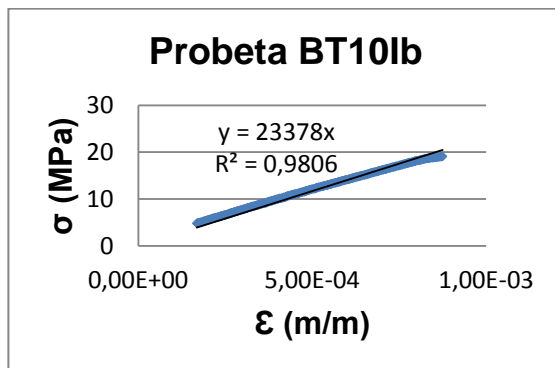


Figura 53. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta BT12Mb.

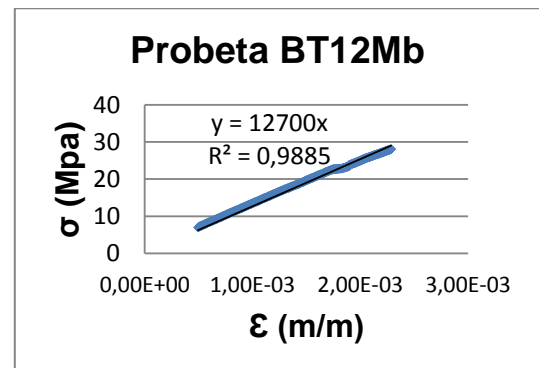


Figura 54. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta BT1Sb*.

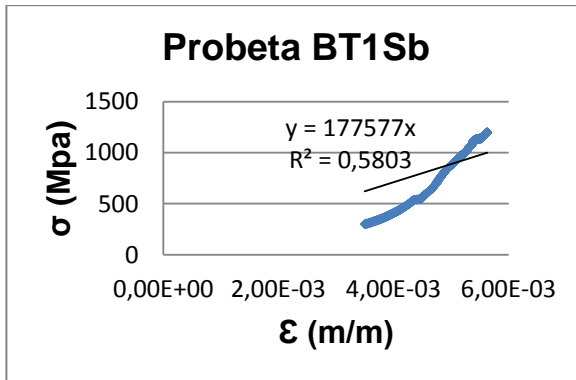


Figura 55. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta CT10Ib.

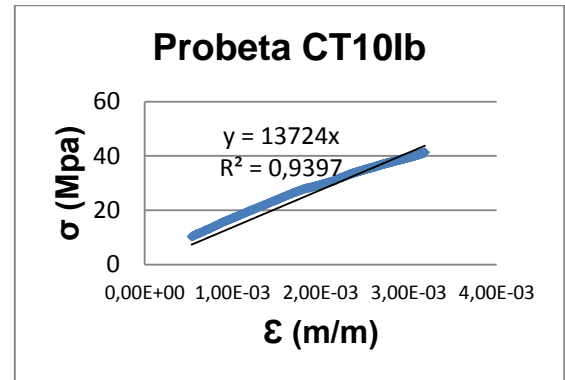


Figura 56. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta CT2Ma.

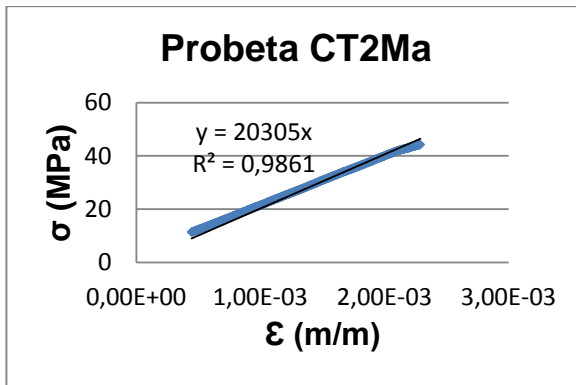


Figura 57. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta CT11Sb.

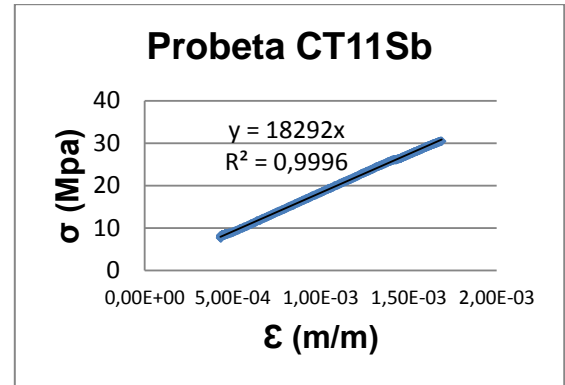


Figura 58. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta DT3Ib.

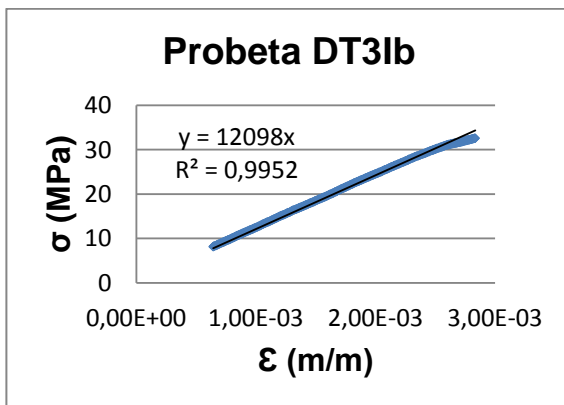


Figura 59. Gráfica esfuerzo vs deformación probeta DT2Sb.

