

“ENSAYOS PARA DETERMINAR Y COMPARAR LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA DE PACHO CUNDINAMARCA FRENTE A LA DE SILVANIA CUNDINAMARCA”

WILLIAM GONZÁLEZ AVILA



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., MARZO DE 2016**

“ENSAYOS PARA DETERMINAR Y COMPARAR LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA DE PACHO CUNDINAMARCA FRENTE A LA DE SILVANIA CUNDINAMARCA”

WILLIAM GONZÁLEZ AVILA

Código D7300916

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al
Título de Ingeniero Civil

Director:

Ing. MARIA CONSTANZA GARCIA CELIS



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., MARZO DE 2016

NOTA DE ACEPTACION

Ing. MARIA CONSTANZA GARCIA CELIS

Directora del Proyecto de Grado

Ing. Jurado

Ing. Jurado

DEDICADO A:

*A mi Madre **Rosa** por darme la vida.*

*A mi esposa **Snedý** por compartirme su vida.*

*A mi hija **Ana María** por enseñarme su vida.*

*A **Díos**, a la **Vida**.*

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Wilmer Alexander Garzón, por sus ideas.

A la ingeniera Kaori Takeuchi, por su invaluable material.

A la ingeniera María Constanza Celis, por su gran aporte.

A la Universidad Militar Nueva Granada, por todo su apoyo.

A los Laboratoristas Andrés Bernal y Fabián Pinzón, por sus conocimientos.

Al señor Jorge Pérez, por las muestras de Pacho.

Al señor Manuel Delgado, por las muestras de Silvania.

A Giovanni González, por su gran colaboración, gracias “flaco”

A toda mi familia por su ayuda incomparable.

A la Vida, por esta oportunidad.

Finalmente a mi esposa Snedy y a mi “princesa” Nana, de quienes tomé tiempo valioso de atención y cuidado difícil de reponer, y que a pesar de ello fueron siempre mi principal apoyo e inspiración.

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE GRÁFICAS	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
GLOSARIO.....	xviii
1. PROBLEMA.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. RESULTADOS ESPERADOS.....	5
5. DELIMITACIÓN.....	6
5.1. Geográfica.....	6
5.2. Cronológica.....	6
5.3. Conceptual	6
6. MARCO TEÓRICO.....	7
6.1. Normatividad.....	7

6.2. Investigaciones	8
6.3. Centros de investigación.....	10
6.4. Guadua Angustifolia.....	11
6.5. Clasificación Taxonómica De La Guadua	12
6.6. Fibras	12
6.7. Otras características de la guadua angustifolia	19
6.8. Características físico-mecánicas.....	19
6.9. La guadua como material de construcción.....	22
7. METODOLOGÍA	24
7.1. Ubicación de las zonas de origen de las muestras de guadua	25
Silvania Cundinamarca.....	25
Pacho Cundinamarca	26
7.2. Selección y corte de las muestras de guadua	27
Muestras tomadas en Silvania Cundinamarca.....	28
Muestras tomadas en Pacho Cundinamarca	31
7.3. Caracterización de las probetas para ensayos	32
7.4. Equipos y dispositivos utilizados para los ensayos	33
Trozado de culmos y probetas.....	33
Contenido de Humedad	34
Corte, compresión, tracción y flexión de la guadua	34

Dispositivos especiales.....	35
Otros dispositivos y equipos.....	37
8. ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA ZONA SILVANIA.....	38
9. ENSAYO DE CORTE PARALELO ZONA SILVANIA CON NUDO Y SIN NUDO	48
10. ENSAYO A FLEXIÓN ZONA SILVANIA.....	56
11. ENSAYO A TENSIÓN ZONA SILVANIA	64
12. ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA ZONA PACHO	73
13. ENSAYO DE CORTE PARALELO ZONA PACHO CON NUDO Y SIN NUDO	81
14. ENSAYO A FLEXIÓN ZONA PACHO.....	87
15. ENSAYO A TENSIÓN ZONA PACHO.....	94
CONCLUSIONES.....	103
Corte paralelo con nudo y sin nudo.....	103
Compresión Paralela.....	103
Tensión paralela	104
Flexión.....	104
RECOMENDACIONES	108
BIBLIOGRAFÍA	110
ANEXOS	112

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Clasificación taxonómica -----	14
TABLA 2. Partes de la guadua-----	15
TABLA 3. Características y usos de la guadua según su madurez -----	17
TABLA 4. Características y usos según su segmento longitudinal -----	18
TABLA 5. Comparativa de la guadua frente a otros materiales-----	21
TABLA 6. Información relacionada para identificar las probetas. fuente: el autor -----	32
TABLA 7. Determinación de áreas de la sección transversal a compresión -----	39
TABLA 8. Porcentaje de contenido de humedad -----	39
TABLA 9. Carga con deformación controlada ensayo de compresión paralela a la fibra-----	40
TABLA 10. Funciones y coeficientes de correlación -----	44
TABLA 11. Módulo de elasticidad-----	45
TABLA 12. Determinación de áreas de la sección transversal a corte, ensayo corte paralelo ---	49
TABLA 13. Resistencia al corte, ensayo corte paralelo con nudo -----	50
TABLA 14. Determinación de áreas de la sección transversal a corte, ensayo corte paralelo ---	51
TABLA 15. Resistencia al corte, ensayo corte paralelo sin nudo -----	52
TABLA 16. Resistencia a la flexión, ensayo de flexión. -----	57
TABLA 17. Relación carga vs deformación, esfuerzo por flexión -----	60
TABLA 18. Esfuerzo con relación a la humedad-----	61
TABLA 19. Resultados del ensayo de flexión -----	62
TABLA 20. Toma de datos probetas para ensayo a tensión -----	66
TABLA 21. Determinación de la resistencia a la tensión y módulo de elasticidad. -----	68
TABLA 22. Resumen de datos generados en los ensayos a tensión zona silvania-----	71

TABLA 23. Datos finales de ensayos en las probetas de silvania cundinamarca -----	72
TABLA 24. Determinación de áreas de la sección transversal a compresión -----	74
TABLA 25. Porcentaje de contenido de humedad-----	74
TABLA 26. Carga con deformación controlada ensayo de compresión paralela a la fibra -----	75
TABLA 27. Funciones y coeficientes de correlación -----	78
TABLA 28. Determinación de áreas de la sección transversal a corte, ensayo corte paralelo----	81
TABLA 29. Resistencia al corte con relación a la humedad, ensayo corte paralelo con nudo ---	82
TABLA 30. Determinación de áreas de la sección transversal a corte, ensayo corte paralelo ---	83
TABLA 31. Resistencia al corte con relación a la humedad, ensayo corte paralelo sin nudo ----	84
TABLA 32. Resistencia a la flexión, ensayo de flexión.-----	88
TABLA 33. Relación carga vs deformación, esfuerzo por flexión -----	90
TABLA 34. Esfuerzo con relación a la humedad -----	91
TABLA 35. Resultados del ensayo de flexión -----	92
TABLA 36. Toma de datos probetas para ensayo a tensión -----	96
TABLA 37. Determinación de la resistencia a la tensión y módulo de elasticidad. -----	98
TABLA 38. Resumen de datos generados en los ensayos a tensión zona pacho -----	101
TABLA 39. Datos finales de ensayos en las probetas de silvania cundinamarca -----	102
TABLA 40. Comparativo de los ensayos de las dos zonas -----	105

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. fibras internas de la guadua.-----	13
FIGURA 2. partes de la guadua.-----	16
FIGURA 3. construcción de vivienda en guadua. -----	23
FIGURA 4. proceso metodológico para la realización del proyecto -----	24
FIGURA 5. ubicación de silvania en el departamento de cundinamarca .-----	25
FIGURA 6. ubicación de pacho en el departamento de cundinamarca -----	26
FIGURA 7. vereda san luis alto, silvania cundinamarca,-----	28
FIGURA 8. corte de guadua en la finca “la chicamocha” silvania cundinamarca. -----	29
FIGURA 9. corte de guadua justo arriba del nudo para evitar apozamiento. -----	30
FIGURA 10. apoyo del culmo de guadua luego del corte, para evitar humedad del suelo. -----	30
FIGURA 11. muestra de guadua en la finca “chikala” pacho cundinamarca. -----	31
FIGURA 12. culmos de guadua de pacho cundinamarca. -----	31
FIGURA 13. probeta rotulada para su identificación. -----	32
FIGURA 14. acolilladora para corte de guadua con disco de tungsteno. -----	33
FIGURA 15. balanza ohaus®-----	34
FIGURA 16. horno de secado marca humboldt® -----	34
FIGURA 17. máquina de carga dirimpex [®] -----	35
FIGURA 18. control electrónico para la máquina de carga -----	35
FIGURA 19. dispositivo metálico para ensayo de corte paralelo -----	35
FIGURA 20. dispositivo con la probeta de guadua lista para ser fallada -----	35
FIGURA 21. dispositivo metálico para ensayo de flexión -----	36
FIGURA 22. dispositivo montado sobre la máquina de carga -----	36

FIGURA 23. deformimetro mecánico -----	37
FIGURA 24. deformimetro eléctrico. -----	37
FIGURA 25. calibrador digital -----	37
FIGURA 26. relación carga vs deformación ensayo de compresión paralela a la fibra -----	41
FIGURA 27. resistencia a la compresión paralela a la fibra -----	42
FIGURA 28. determinación del módulo de elasticidad ensayo de compresión paralela -----	43
FIGURA 29. determinación del módulo de elasticidad promedio en el ensayo de compresión	44
FIGURA 30. determinación del módulo de elasticidad mínimo en el ensayo de compresión --	45
FIGURA 31. falla por compresión en el ensayo de compresión paralela a la fibra-----	46
FIGURA 32. porcentaje de falla por compresión en el ensayo de compresión paralela a la fibra	47
FIGURA 33. falla por corte -----	47
FIGURA 34. falla por aplastamiento -----	47
FIGURA 35. resistencia al corte vs humedad, ensayo corte paralelo con nudo. -----	51
FIGURA 36. resistencia al corte vs humedad, ensayo corte paralelo sin nudo. -----	53
FIGURA 37. probeta sobre dispositivo de corte-----	55
FIGURA 38. probeta de guadua en ensayo de corte paralelo -----	55
FIGURA 39.A. falla típica del ensayo de corte paralelo-----	55
FIGURA 39.B. falla típica del ensayo de corte paralelo -----	55
FIGURA 40. gráfica relación, flexión-humedad-----	61
FIGURA 41. falla por corte en probeta de ensayo a flexión -----	63
FIGURA 42. esquema de ensayo de tensión en probetas de guadua. -----	64
FIGURA 43. dimensiones de la probetas de ensayos. -----	65
FIGURA 44. probetas para ensayo a tensión zona silvania.-----	65
FIGURA 45. determinación del ancho de la probeta para tensión-----	66

FIGURA 46. determinación del grosor de la probeta para tensión -----	66
FIGURA 47. pegado de las galgas extensométricas-----	67
FIGURA 48. gráfica para la determinación del módulo de elasticidad -----	69
FIGURA 49. fallas presentadas en las probetas de ensayo a tensión-----	70
FIGURA 50. relación carga vs deformación ensayo de compresión paralela a la fibra -----	76
FIGURA 51. resistencia a la compresión paralela a la fibra -----	77
FIGURA 52. determinación del módulo de elasticidad ensayo de compresión paralela -----	78
FIGURA 53. porcentaje de falla en ensayo a compresión -----	79
FIGURA 54. falla por corte -----	80
FIGURA 55. falla por aplastamiento -----	80
FIGURA 56. resistencia al corte vs humedad, ensayo corte paralelo con nudo. -----	83
FIGURA 57. resistencia al corte vs humedad, ensayo corte paralelo sin nudo. -----	85
FIGURA 58. gráfica relación, flexión-humedad-----	91
FIGURA 59. falla por corte en ensayo a flexión -----	93
FIGURA 60. la falla por corte se presentó en el centro del culmo -----	93
FIGURA 61. esquema de ensayo de tensión en probetas de guadua -----	94
FIGURA 62. dimensiones de la probetas de ensayos. -----	95
FIGURA 63. probetas para ensayo a tensión zona pacho. -----	95
FIGURA 64. determinación del ancho de la probeta para tensión-----	96
FIGURA 65. determinación del grosor de la probeta para tensión -----	96
FIGURA 66. pegado de las galgas extensométricas-----	97
FIGURA 67. gráfica para la determinación del módulo de elasticidad -----	99
FIGURA 68. fallas presentadas en las probetas de ensayo a tensión-----	100

LISTA DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. Probeta 1 zona silvania -----	129
GRÁFICA 2. Probeta 2 zona silvania -----	129
GRÁFICA 3. Probeta 3 zona silvania-----	130
GRÁFICA 4. Probeta 4 zona silvania -----	130
GRÁFICA 5. Probeta 5 zona silvania -----	131
GRÁFICA 6. Probeta 6 zona silvania-----	131
GRÁFICA 7. Probeta 7 zona silvania -----	132
GRÁFICA 8. Probeta 8 zona silvania -----	132
GRÁFICA 9. Probeta 9 zona silvania -----	133
GRÁFICA 10. Probeta 1 zona pacho -----	134
GRÁFICA 11. Probeta 2 zona pacho -----	134
GRÁFICA 12. Probeta 3 zona pacho -----	135
GRÁFICA 13. Probeta 4 zona pacho -----	135
GRÁFICA 14. Probeta 5 zona pacho -----	136
GRÁFICA 15. Probeta 6 zona pacho -----	136
GRÁFICA 16. Probeta 7 zona pacho -----	137
GRÁFICA 17. Dispositivo de ensayo para corte paralelo a la fibra. -----	138
GRÁFICA 18. Vista 3d. dispositivo de ensayo para corte paralelo a la fibra. -----	138
GRÁFICA 19. Dispositivos de carga para ensayos a flexión. -----	139
GRÁFICA 20. Dispositivos de apoyo para ensayos a flexión. -----	139
GRÁFICA 21. Vista 3d. dispositivo de apoyo y de carga.-----	139

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Caracterización de las probetas para ensayos	112
ANEXO 2. Ensayos de compresión, corte y flexión Zona Pacho	120
ANEXO 3. Ensayos de compresión, corte y flexión zona Sylvania	124
ANEXO 4. Diagramas del ensayo a tensión zonas Sylvania y Pacho	129
ANEXO 5. Planos para la fabricación de dispositivos para corte y flexión	138

RESUMEN

Gracias a la geografía y a la naturaleza existe en el país uno de los especímenes naturales más increíbles jamás descubiertos, la guadua *Angustifolia Kunth*, bautizada así por el botánico alemán *Karl Sigismund Kunth* en el siglo XIX, el cual, después de un detallado estudio, permite conocer sus características físicas y mecánicas, con el fin de direccionar su uso adecuado en trabajos estructurales y generar altos niveles de seguridad y confianza.

Este trabajo de grado determina las propiedades físicas y mecánicas de dos especímenes de guadua *angustifolia* del departamento de Cundinamarca, encontradas en los municipios de Pacho y Sylvania, escogidos por el autor de este proyecto, para analizar mediante ensayos de laboratorio su resistencia a la flexión, compresión paralela a la fibra, corte paralelo a la fibra, y tracción perpendicular de acuerdo con la normatividad existente, teniendo así un referente para futuros proyectos donde se quiera utilizar la guadua como material estructural.

Los resultados finales brindaran la información necesaria para identificar las diferencias que existen en cuanto a las propiedades físico-mecánicas de estos especímenes de acuerdo a su lugar de origen. Esta investigación servirá como referencia y se podrá comparar con estudios similares realizados en otras regiones del país, con el fin de mejorar las bases de datos y actualizar la poca información que existe en la región para investigaciones futuras, para tener en cuenta la guadua como material estructural.

PALABRAS CLAVE: Guadua *Angustifolia*, flexión, compresión paralela, corte paralelo, tracción perpendicular

ABSTRACT

"Tests to determine and compare the physico-mechanical of Guadua angustifolia (Bamboo) of Pacho Cundinamarca front of Cundinamarca Sylvania properties"

Thanks to geography and nature exists in the country one of the most incredible natural specimens ever discovered, *Guadua angustifolia* Kunth (a variety of bamboo), named by the German botanist Karl Sigismund Kunth in the nineteenth century, which, after a detailed study, allows meet their physical and mechanical characteristics, in order to address its proper use in structural work and generate high levels of security and confidence.

This paper grade determines the physical and mechanical properties of two specimens *angustifolia* bamboo Cundinamarca department, found in the municipalities of Pacho and Sylvania, chosen by the author of this project, to analyze through laboratory testing their resistance to bending, parallel to the fiber, the fiber cut parallel and perpendicular traction in accordance with existing regulations compression, thus having a benchmark for future projects where you want to use bamboo as a structural material.

The final results will provide the information necessary to identify the differences in terms of the physical-mechanical of these specimens according to their place of origin properties. This research will serve as a reference and can be compared with similar studies in other regions of the country, in order to improve the databases and update the little information that exists in the region for future research, to take account of bamboo as a material structural.

KEYWORDS: *Guadua angustifolia* (bamboo), bending, compression parallel, parallel section, perpendicular traction.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a su lugar de origen la guadua angustifolia presenta diferentes características que la hacen única en su especie, los factores de terreno y el entorno están directamente relacionados con su resistencia. Actualmente debido a una cultura de respeto hacia el medio ambiente, la guadua se constituye como un material no convencional y elemento primordial en la construcción sostenible.

La geografía del país destaca la abundancia del género “guadua” y la especie “angustifolia”, la cual se encuentra ampliamente dispersa, conformando rodales (guadales) casi puros, que cumplen el efecto protector sobre el suelo, las aguas y las rondas de los ríos, contribuyendo a su recuperación y conservación. Se encuentra fácilmente en varios departamentos de Colombia catalogados como grandes productores de guadua (Quindío, Caldas, Antioquia, Cundinamarca, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca).

Este trabajo de grado presentará la información recopilada y clasificada de las zonas donde se realizara la toma de muestras de la guadua, corte, recolección, clasificación y rotulado de las mismas, transporte y ubicación de las muestras al laboratorio, procedimiento para obtención de probetas.

Describirá la metodología empleada en la realización de los ensayos para el proyecto, basado en los parámetros establecidos en la NTC 5525 y la NSR 10 como son: el ensayo de compresión paralela a la fibra, el ensayo del corte paralelo a la fibra, la tracción perpendicular y la resistencia a la flexión. Se analizaran los resultados obtenidos, y plantearan las conclusiones y recomendaciones.

GLOSARIO

Cosecha. Proceso de aprovechamiento y mantenimiento del rodal, que se debe adelantar hasta la obtención de los culmos con características específicas para el propósito y uso que se requieran.

Culmo. Eje aéreo segmentado formado por nudos y entrenudos

Curado. Son los tratamientos naturales que buscan conservar las características y propiedades de la guadua, evitando el deterioro prematuro del material.

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

Hojas caulinares. Hoja modificada de forma triangular y pubescente por el lado abaxial (envés) constituida por vaina, lígula y lámina, que protege el culmo en los primeros seis meses de desarrollo.

Renuevo. Nuevo individuo que emerge del suelo, producto de la propagación vegetativa, y cubierto siempre de hojas caulinares

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

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

Postcosecha. Etapa posterior a la cosecha, que involucra procesos de acondicionamiento y adecuación de los culmos, previos a su utilización como materia prima.

1. PROBLEMA

A pesar de la amplia utilización de la guadua, aún no se le da la importancia que merece, debido a la falta de conocimiento de sus propiedades y características, como de sus grandes posibilidades como fuente económica en caso de consolidarse su utilización como material estructural, en especial en proyectos de mayor trascendencia en estas zonas de Cundinamarca.

La abundancia de este recurso a lo largo y ancho del departamento de Cundinamarca se debe a las condiciones climatológicas que facilitan su reproducción, crecimiento y desarrollo; razones de base para prestarle mayor atención a este recurso y potencializar su uso de manera controlada y tecnificada, evitando el deterioro de la calidad de los suelos que se han visto amenazados por la tala indiscriminada, producida por el interés de ampliar el área disponible para la siembra de otros cultivos.

Debido a la importancia de la guadua como material de la construcción, este proyecto se realizará con el fin de dar respuesta al siguiente interrogante:

“Determinar la resistencia físico-mecánica de la guadua angustifolia existente en Pacho y Sylvania en Cundinamarca, para ser utilizada como material estructural, con base en la norma NTC 5525, y NSR 10”.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar mediante ensayos de laboratorio las propiedades físico-mecánicas de la guadua *angustifolia* Kunth de los municipios de Silvania y Pacho en Cundinamarca de acuerdo a la NTC 5525, con el fin de identificar sus características y rasgos importantes generando así un referente para futuras investigaciones y usos como material estructural.

2.2. Objetivos específicos

- Recolectar la información necesaria para la investigación mediante consulta bibliográfica, visitas técnicas y entrevistas.
- Obtener y transportar los culmos de *Guadua angustifolia* del departamento de Cundinamarca hasta la ciudad de Bogotá, y realizar los diferentes cortes para la obtención de las probetas.
- De acuerdo a los diferentes ensayos, se cortaran, medirán y marcaran las probetas de acuerdo a la NTC 5525
- Fabricar los dispositivos para el montaje y adecuación de los ensayos de flexión y corte paralelo a la fibra.

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de la guadua, mediante ensayos de flexión, compresión paralela a la fibra, corte paralelo a la fibra, y tracción perpendicular de acuerdo a la normatividad existente.
- Analizar y evaluar los resultados obtenidos en los ensayos efectuados en cada una de las probetas seleccionadas.

3. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años la demanda que ha venido presentado la guadua como material de construcción, ha sido importante, en varios departamentos de Colombia catalogados como grandes productores de guadua (Quindío, Caldas, Antioquia, Cundinamarca, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca), donde se han desarrollado importantes construcciones urbanas y rurales; ha generado mayor interés en la investigación de las propiedades físico-mecánicas de ésta, debido a que es indispensable transmitir seguridad en los valores de resistencia mecánica para todos los sectores que trabajan con este material.

Este proyecto propone determinar mediante ensayos de laboratorio y apoyado en la normatividad existente, las propiedades físico-mecánicas de la guadua angustifolia, con el fin de mejorar las bases de datos existentes de la región, para investigaciones futuras por parte de actores de la sociedad civil: profesionales, campesinos, constructores, indígenas, artesanos, estudiantes, investigadores, empresarios, docentes, instructores, entre otros, y también por la acción de diversas organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, universidades, centros de investigación, empresas y fundaciones que le están apostando a la nueva cultura de la guadua, como eje fundamental para el desarrollo de la construcción sostenible en Colombia.

Investigaciones que a futuro se verán reflejadas en importantes proyectos arquitectónicos y estructurales, productos artesanales, muebles, pisos y laminados, entre otros, y que representan el comienzo de lo que se espera sea una serie de estudios consecutivos en beneficio de la misma especie, y de la población, gracias al conocimiento de sus propiedades físico-mecánicas.

4. RESULTADOS ESPERADOS

Los resultados esperados en la investigación de este proyecto son:

- Identificar las características físico-mecánicas de la guadua angustifolia de Pacho y Silvania en Cundinamarca, y de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos establecer parámetros de comparación entre las dos muestras.
- De acuerdo a la información obtenida y siguiendo los procedimientos señalados en la NTC 5525, conocer el procedimiento para desarrollar y fabricar los dispositivos de montaje y adecuación de los ensayos de flexión y corte paralelo a la fibra.
- Adquirir conocimiento en el planteamiento y desarrollo de trabajos de investigación.

5. DELIMITACIÓN

5.1. Geográfica

Los culmos del bambú *Guadua angustifolia* usados como material de ensayo para esta investigación serán seleccionados de diferentes rodales en pie ubicados en los municipios de Silvania y Pacho, en el departamento de Cundinamarca.

Los ensayos de laboratorio serán realizados en la Universidad Militar Nueva Granada, campus Cajicá Cundinamarca, y sede calle 100.

5.2. Cronológica

El tiempo estipulado para la ejecución del proyecto será de 6 meses equivalentes a 360 horas efectivas.

5.3. Conceptual

La investigación comprenderá los siguientes aspectos:

- Introducción
- Antecedentes
- Información relacionada con la *guadua angustifolia* Kunth, clasificación taxonómica, fibras, características de la *guadua*, (físico-mecánicas y su utilización según el estado de madurez y segmento longitudinal) y uso como material de construcción.
- Analizar y evaluar los resultados obtenidos en los ensayos efectuados según NTC 5525.
- Conclusiones
- Recomendaciones

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Normatividad

La mayoría de la población colombiana construye sus viviendas en zonas de riesgo sísmico alto e intermedio. Desafortunadamente han ocurrido terremotos que han devastado ciudades enteras, ocasionando la muerte de muchas personas y generando grandes pérdidas materiales. Debido a hechos como este se promovió la formulación y expedición de normas sobre construcciones antisísmicas, dando como resultado la ley 1400 de 1984 (CÓDIGO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIONES SISMORRESISTENTES), fruto de 10 años de labores de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).

A comienzos de la década de 1990 y con la participación de asociaciones gremiales y profesionales de la construcción se logró la actualización de las normas de diseño y construcción sismo resistente dando como resultado la Norma Sismo resistente de 1998 (NSR-98 Ley 400 /97 Decreto 33 / 98 Y Decreto 34 /99), ampliándose las normas desde el título G hasta el K, donde fue incluido el tema de las maderas, este último tema, basado en el MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO de la junta del acuerdo de Cartagena.

En el actual Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistente (NSR-10), se incluye el Capítulo G.12 'Estructuras de guadua'. En el año 2001 la investigación "*Comportamiento de elementos y ensambles contruidos con bahareque de madera y guadua*" sirvió como base para la redacción del MANUAL DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTE DE VIVIENDAS EN BAHAREQUE ENCEMENTADO (AIS), el cual fue incluido en el capítulo E7 de la NSR-98 (decreto 52 de 2002). El manual se presentó en Ravello (Italia) y fue recibido con mucho interés

por considerarlo una revolución, técnicamente rigurosa, de una cultura sísmica local.

En este trabajo de investigación los diferentes ensayos se desarrollaran de acuerdo con los parámetros establecidos en las Normas Técnicas Colombianas, NTC 5300, NTC 5301 y NTC 5525.

- NTC 5300 ‘Cosecha y Postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth’
- NTC 5301 ‘Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth’
- NTC 5525 ‘Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth’

6.2. Investigaciones

- En el año 2011, Gutiérrez presenta el trabajo de investigación denominado “Factor de corrección por contenido de humedad para la resistencia a tensión paralela a la fibra de la *Guadua angustifolia* Kunth”. Esta investigación se destaca por ser uno de los primeros y más completos trabajos que trata la relación entre el contenido de humedad de la guadua ante un esfuerzo determinado, en este caso, el de tracción, y muestra un factor de corrección que puede ser usado para el diseño de estructuras en guadua.
- En julio del año 2010, el grupo de investigación de Madera y Guadua, y el grupo de Análisis, Diseño y Materiales GIES de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, auspiciada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (Proyecto MADRC (2010) realizo el trabajo de investigación denominado “Validación de la *Guadua angustifolia* como material estructural para diseño, por el método de esfuerzos

admisibles”, en donde se presentan los resultados obtenidos de los valores de los esfuerzos admisibles del bambú *Guadua angustifolia* Kunth a partir de resultados obtenidos en laboratorio, de tres departamentos del país: Cundinamarca, Quindío y Valle del Cauca.

- En el año 2006, Pacheco presentó una investigación donde determina la resistencia a la tracción perpendicular a la fibra de la *Guadua angustifolia* Kunth. En este trabajo se realiza una correlación entre el contenido de humedad y la variación de la resistencia.
- En el año 2005, Osorio, Vélez y Ciro de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, investigaron sobre la estructura interna de la guadua y su incidencia en las propiedades mecánicas, y publicaron su trabajo denominado “Determinación de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de la *Guadua angustifolia* Kunth”.
- En el año 2004, Castrillón y Malaver trabajaron en los procedimientos de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la guadua. Allí se describen los pasos que se deben seguir en la realización de los ensayos a tracción paralela a la fibra y contenido de humedad.

6.3. Centros de investigación

- La Universidad Tecnológica de Pereira a través del convenio con la Agencia Alemana de Cooperación al Desarrollo (GTZ) que duró hasta el 2003, realizó numerosas investigaciones sobre la guadua-bambú respecto a la silvicultura, características físico-químicas, procesos para su tratamiento, análisis técnicos, cadenas productivas.
- La Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) creó en 1986, el Centro Nacional para el Estudio del Bambú-Guadua. Allí se llevan a cabo investigaciones que van desde estudios sobre la planta misma y procesos de cultivo hasta propuestas de uso de la guadua para construcción de vivienda de interés social.
- La Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), creada en 1981, cuenta con un área específica para la realización de investigaciones y seguimientos de la producción de la guadua en la zona.
- La Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, tiene un grupo de estudios técnicos sobre la guadua, conformado en su gran mayoría por ingenieros civiles y arquitectos.

Adicionalmente están:

- Centro de investigaciones del bambú CIBAM
- FOREC (Fondo para la reconstrucción de la zona cafetera)

- AIS (Asociación de ingeniería sísmica)
- SENA
- Comité colombiano para la normalización del bambú-guadua CCNG
- Sociedad Colombiana del Bambú

6.4. Guadua Angustifolia

La guadua fue descubierta por los amerindios que vivían en América antes de la llegada de los españoles. A esta planta la llamaban "guaúda", "guafa", y era utilizada para la fabricación de viviendas, puentes, balsas, herramientas, y otros..

La guadua pertenece a la familia de las gramíneas, subfamilia Bambusoideas, supertribu Bambusodae. Se han clasificado más de 40 géneros con cerca de 450 especies. En Colombia se destaca por su abundancia el género “guadua” y la especie “angustifolia”, se le encuentra ampliamente dispersa, conformando rodales (guadales) casi puros que cumplen indiscutible efecto protector sobre el suelo, las aguas y las rondas de los ríos, contribuyendo a su recuperación y conservación.

Botánicamente el bambú está clasificado como Bambusodae, una tribu de la extensa familia de las Gramíneas, de la cual también hacen parte plantas como el maíz, la cebada y el trigo.

En 1822, el botánico alemán *Karl Sigismund Kunth* después de un detallado estudio, dedujo que el bambú americano era único y diferente y creó el género *Guadua* y la especie *Angustifolia Kunth*.

Dentro de la morfología de la *Guadua angustifolia*, el culmo es un cilindro adelgazado y hueco, dividido en segmentos o internados separados por diafragmas (nudos), que en conjunto

con una pared maciza, dan al tallo una increíble resistencia mecánica (HIDALGO, 2003); (citados por GONZÁLEZ QUEVEDO, 2006).

6.5. Clasificación Taxonómica De La Guadua

- En 1.783 durante el desarrollo de la Real Expedición Botánica fueron recolectados los primeros especímenes de guadua por el botánico José Celestino Mutis (1.732-1.808).
- En 1.806 fueron analizados y estudiados por el taxónomo y naturalista francés Aimé Bonpland (1.773-1.858) y por Alejandro Von Humboldt (1.788-1.859) explorador alemán.
- En 1.822 el alemán Karl Sigismund (1.788-1.850), decidió que los bambúes de América debían ser agrupados como un género diferente y no dentro del género Bambusa.
- Kunth clasificó la colección de plantas americanas reunidas por Humboldt y Bonpland y publicó en Paris la sinopsis entre 1.822 y 1.825.

6.6. Fibras

El material de la Guadua está formado por una sustancia que mantiene las fibras unidas. Las fibras crecen axialmente y se consolidan en el extremo superior del tallo, como también en sus bordes externos.

La maza del bambú está conformada por 50% de celulosa y hasta 30% de lignina, siendo esta última el pegamento de la célula, (Figura1).

Por esta causa, el conjunto de fibras más fuertes se encuentra donde la carga estática es más grande, similar al refuerzo de acero en las construcciones de concreto reforzado.



*Figura 1. Fibras internas de la guadua.
Fuente: Pantoja y Acuña 2015.*

Las fibras constituyen el tejido que soporta todo el esfuerzo mecánico al que está sometido el tallo debido al viento y otros factores externos, además de su propio peso. Las fibras del bambú en general se caracterizan por su forma delgada, ahusada en ambos lados y en algunos casos bifurcada en los extremos. Se encuentran en los internodos rodeando a los haces vasculares y constituyen entre el 40 y el 50% del tejido total y entre el 60 - 70% del peso total del culmo.

Posee paredes interiores alternadas en capas gruesas y delgadas con diferente orientación. A esta estructura, que no existe en fibras de madera común, se le denomina estructura polilaminar, y aparece especialmente en las fibras ubicadas en la periferia del culmo y el número de capas alternadas o laminadas varía de fibra a fibra. Esto puede ser atribuible en parte a la ubicación del haz vascular, la posición interna de la fibra y de la madurez del tallo. Puede decirse que estas paredes alternadas conducen a que el culmo tenga una excelente resistencia.

El Código Internacional de Nomenclatura Botánica ha establecido para la Guadua 15 rangos taxonómicos, los cuales se relacionan en la Tabla 1.

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)

Tabla 1. Clasificación taxonómica

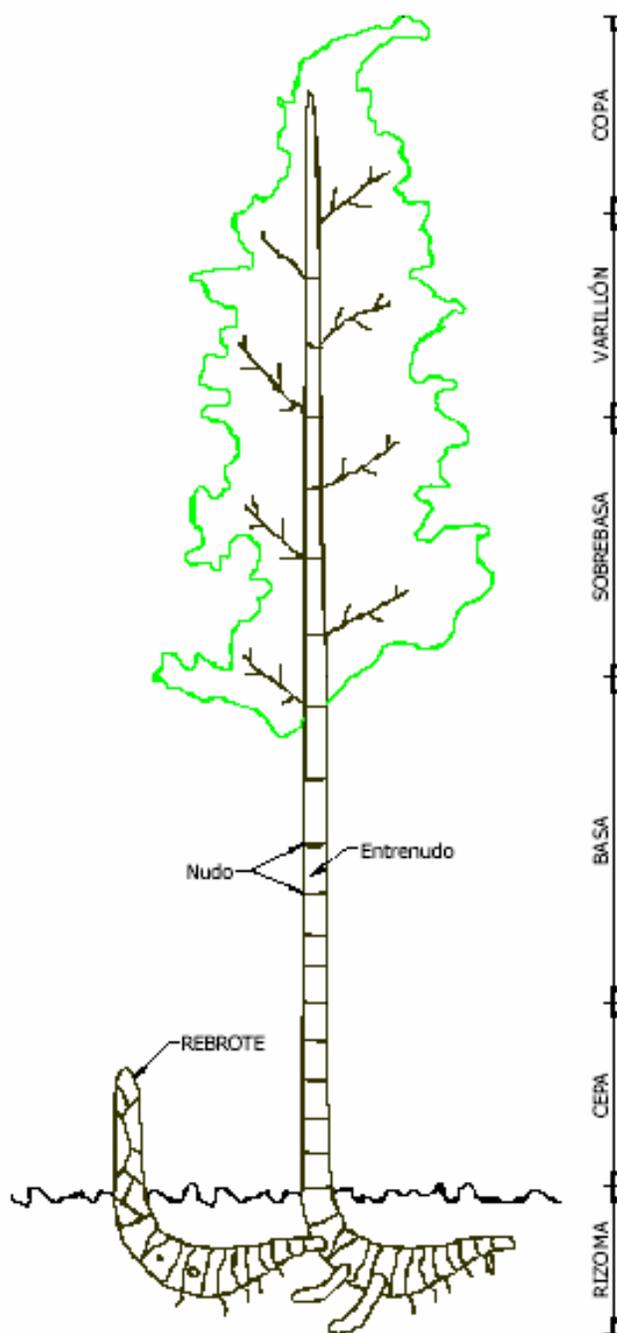
Fuente: Pantoja y Acuña 2005

De acuerdo con el Centro Nacional para el estudio del Bambú - Guadua, la guadua se divide en seis partes a lo largo de su sección longitudinal (Tabla 2, Figura 2), donde cada una presenta un uso particular:

RIZOMA	Tallo modificado, subterráneo, que conforma el soporte de la planta. Lugar por donde la guadua absorbe los nutrientes. Utilizado en estabilización de laderas y prevención de la erosión producida por escorrentía, vientos fuertes y desmoronamiento.
CEPA	Parte del culmo con mayor diámetro y espesores de pared mayores; Posee una longitud de 4 metros. Las distancias de cañutos son las más cortas y en la construcción se les utiliza como columnas.
BASA	El diámetro es intermedio y la distancia entre nudos es mayor que en la cepa; es la parte del culmo de la guadua que más se utiliza; tiene una longitud aproximada de 11 metros.
SOBREBASA	El diámetro es menor y la distancia entre nudos es un poco mayor, comparado con la basa, la longitud es de aproximadamente cuatro metros.
VARILLON	La sección tiene un diámetro pequeño y la longitud es de unos tres metros aproximadamente.
COPA	Es la parte apical de la guadua, con una longitud entre 1.20 a 2.00 metros

Tabla 2. Partes de la guadua
Fuente: Pantoja y Acuña 2005

La guadua se divide en seis partes a lo largo de su sección longitudinal (Figura 2), donde cada una presenta un uso particular:



*Figura 2. Partes de la guadua.
Fuente: Historia de la guadua*

Las diferentes fases básicas de desarrollo de la guadua, las observamos en la tabla 3.

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

Tabla 3. Características y usos de la guadua según su madurez

Fuente: Prada & Zambrano, citado en Capera y Erazo 2012

Según su segmento longitudinal la guadua tiene diferentes utilidades (tabla 4)

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

Tabla 4. Características y usos según su segmento longitudinal

Fuente: Prada & Zambrano, citado en Capera y Erazo 2012

6.7. Otras características de la guadua angustifolia

- Según Pantoja y acuña (2005), las cimas de los rizomas se doblan desde la raíz hacia arriba, formando los tallos nuevos. Este recubrimiento del suelo, extendiéndose por hectáreas, ofrece una buena protección contra la erosión. Además trabaja como depósito de humedad, y puede ser utilizado como planta de tratamiento de aguas residuales para pequeños pueblos o haciendas.
- Es recomendable para países en vías de desarrollo, Debido a la gran velocidad de crecimiento.
- Tiene la capacidad de consumir grandes cantidades de CO₂.
- La Guadua no crece en terrenos que posean alto nivel freático, pero por ejemplo, en los bancos escarpados de los ríos, el complejo sistema de raíces y sus redes, pueden transportar por medio de ellas la humedad a los tallos secos localizados más arriba.

6.8. Características físico-mecánicas

Directamente relacionadas con el clima, suelo, ubicación, edad, tiempos de cosecha, humedad, entre otros. También se presentan diferencias que se distribuyen sobre la longitud principal (cepa, basa y Sobrebasa) y la sección transversal. La densidad de las fibras es muy variable en el espesor de la guadua. También depende de la forma de aplicación de las cargas, en forma paralela o perpendicular a la fibra.

Teniendo en cuenta que las características mecánicas de la Guadua dependen de las especies botánicas, su localización, la edad del tallo cosechada, su contenido de agua y naturalmente del diámetro y grueso de pared, la clasificación se recomienda con esos parámetros.

Según el libro “El regalo de los Dioses” de Oscar Hidalgo, La guadua tiene un valor alto de resistencia a la tracción paralelo a la fibra, menor resistencia a la compresión paralela a la fibra y a la flexión. Su módulo de elasticidad es relativamente bajo si se compara con el del acero, lo cual obliga en el diseño a controlar las deformaciones especialmente cuando se diseñan elementos largos a flexión.

- Resistencia:

Tracción: Entre 26.000 y 50.000 psi – (1.800 a 3.500 kg/cm²)

Compresión: Entre 8.000 y 12.000 psi – (560 a 840 kg/cm²)

Flexión: Entre 11.000 y 40.000 psi – (770 a 2.800 kg/cm²)

- Módulo de elasticidad:

Tracción: Entre 2.000.000 y 4.500.000 psi – (140.000 a 310.000 kg/cm²)

Compresión: Entre 2.000.000 y 2.800.000 psi – (140.000 a 200.000 kg/cm²)

Flexión: Entre 1.500.000 y 3.100.000 psi – (105.000 a 220.000 kg/cm²)

Resistencia y módulo de elasticidad de la guadua frente a otros materiales, (Tabla 5).

Material	Resistencia de diseño (R) (Kg/cm ²)	Masa por volumen (M) (Kg/cm ³)	Relación de resistencia (R/M)	Módulo de elasticidad (E) (Kg/cm ²)	Relación de rigidez (E/M)
CONCRETO	82	2.400	0.032	127.400	53
ACERO	1.630	7.800	0.209	2.140.000	274
MADERA	76	600	0.127	112.000	187
BAMBOO	102	600	0.170	203.900	340

*Tabla 5. Comparativa de la guadua frente a otros materiales
Fuente: Scribd*

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

6.9. La guadua como material de construcción

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

Los colonizadores fueron los primeros en darle a la guadua la importancia como material para la construcción, seguido de nuestros campesinos y maestros de la construcción (Salas, 2006).

Las conmociones sísmicas ocurridas durante el siglo XIX en el país, exactamente en la región comprendida por los departamentos de Quindío, Caldas y Risaralda, obligo a sus pobladores a buscar soluciones prontas y económicas que estuvieran a su alcance, desarrollando así una arquitectura rural construida con guadua que posteriormente influyó en la arquitectura urbana de la misma región y se convirtió en una de las tradiciones más firmes y existentes en el país.

Fue así como la introducción de la guadua para la construcción de vivienda en bahareque de tierra, de madera, metálico y encementado surgió y pasó luego a formar parte de su cultura, según lo relatado por Salas (2006).

El uso de la guadua hoy día se ha reglamentado con el propósito de establecer los alcances y las limitaciones que pueden presentarse en edificaciones y procesos constructivos. Para poder utilizar este material en la edificación de vivienda, en enero de 2002 a través del decreto 052 del 18 de enero se aprobó el capítulo E.7 correspondiente a ‘Casas de uno y dos pisos en bahareque encementado’, (Figura 3), que aparece en el actual Reglamento Colombiano de Construcciones

Sismo Resistente NSR-10 en el cual también se incorporó en el título G ‘Estructura de madera’ y el capítulo G.12 ‘Estructuras de Guadua’.



*Figura 3. Construcción de vivienda en guadua.
Fuente: Capera y Erazo 2012*

Los últimos estudios han dado cuenta que la construcción con guadua está de moda en Colombia, ya que hay un sin número de construcciones que lo corroboran, ejemplo de ello la facultad de Arquitectura en la Universidad La Gran Colombia en Armenia, está construida casi en su totalidad con guadua. Por otro lado se encuentra el puente peatonal de la Universidad Tecnológica de Pereira UTP.

Se puede observar en Bogotá (Cundinamarca) el puente peatonal de mayor luz hecho en este material, ubicado en el límite noroccidental de Bogotá, en la salida de la ciudad hacia Medellín, a la altura de la carrera 119 con calle 80, y se cuenta también con el nuevo edificio de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER entre otras urbanizaciones, Kioscos, Coliseos y puentes en los departamentos de Quindío, Caldas, Risaralda y Cundinamarca. (Capera y Erazo, 2012).

7. METODOLOGÍA

El proyecto fue desarrollado por etapas como se indica en la figura 4, en orden cronológico, empezando por la ubicación de la zona de recolección y terminando con el análisis estadístico.

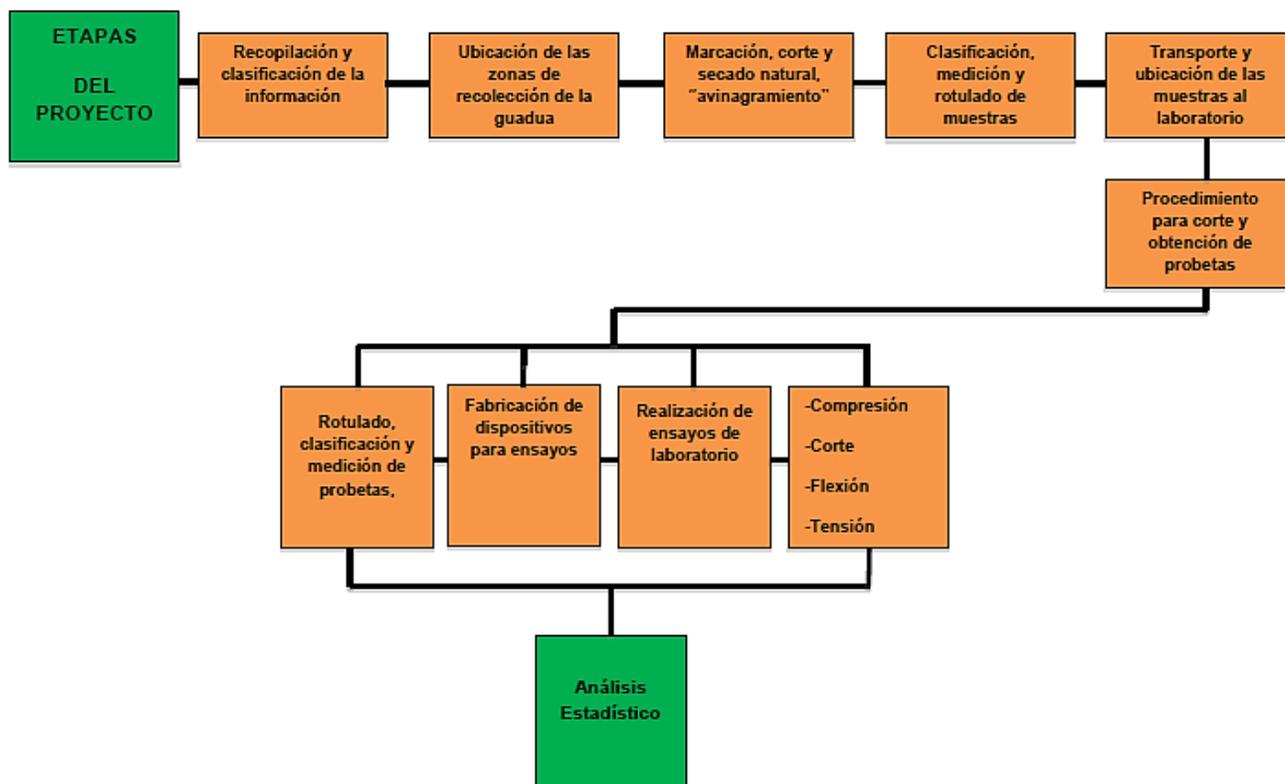


Figura 4. Proceso metodológico para la realización del proyecto

7.1. Ubicación de las zonas de origen de las muestras de guadua

Para esta investigación se ha determinado que las zonas de recolección de las muestras de guadua estuvieran ubicadas en el departamento de Cundinamarca, ya que existen pocos estudios sobre la guadua en el departamento, y además porque es una zona muy rica en este tipo de material.

Silvania Cundinamarca

Municipio del departamento de Cundinamarca, perteneciente a la provincia del Sumapaz, se encuentra a 44 Km de Bogotá, su temperatura promedio es 21° C, altura sobre el nivel del mar 1.500 m. Limita al Norte con: Granada, al Sur con: Fusagasugá y Tibacuy, al Oriente con: Fusagasugá y Sibaté y al Occidente con: Viota, (Figura 5). El clima presenta dos pisos térmicos, marcados: frío con 9.300 Hectáreas y, cálido moderado con 6.600 hectáreas. Tiene una población de 29.071 habitantes

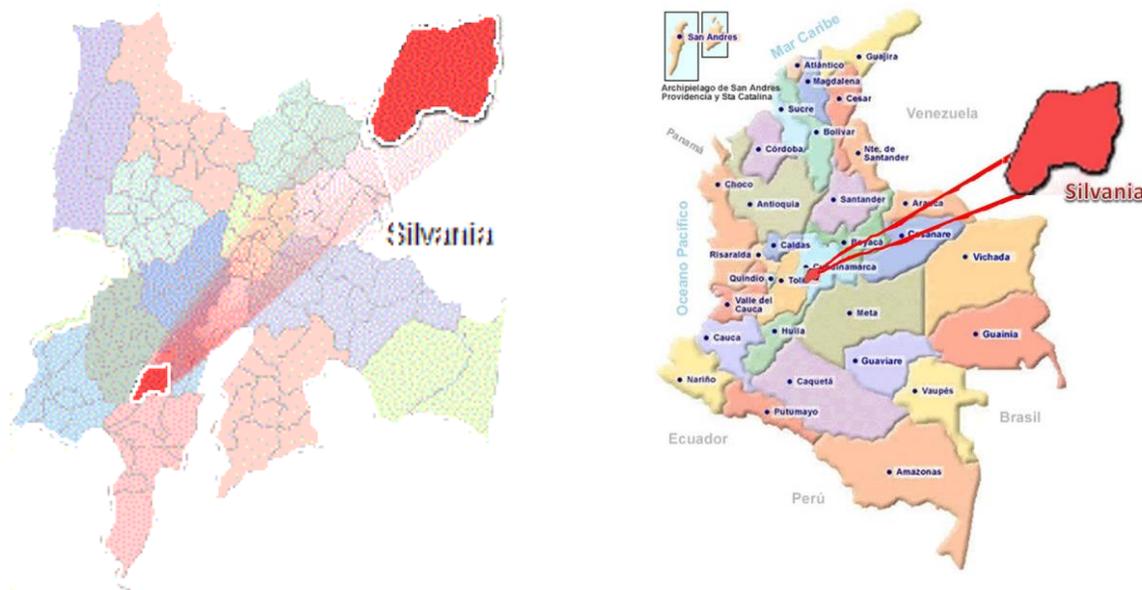


Figura 5. Ubicación de Silvania en el departamento de Cundinamarca y en el mapa de Colombia.
Tomado de: http://www.silvania-cundinamarca.gov.co/mobile/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=1822422

Pacho Cundinamarca

El Municipio de Pacho se encuentra localizado al Noroccidente del Departamento de Cundinamarca y es cabecera de la Provincia del Rio negro, de la cual hacen parte también los municipios La Palma, Yacopí, Caparrapí, El Peñón, Paima, Topaipí, Villagómez y San Cayetano.

Figura 6.

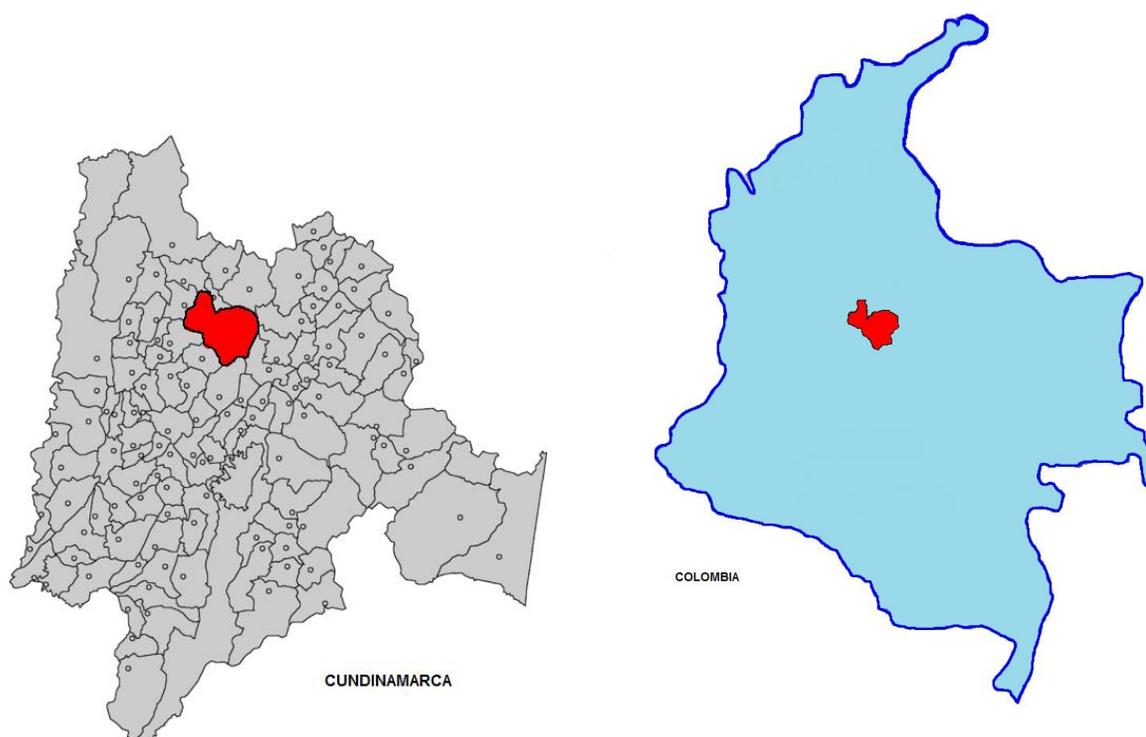


Figura 6. Ubicación de Pacho en el departamento de Cundinamarca y en el mapa de Colombia.
Tomado de: http://www.pachocundinamarca.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcEl%20municipio%20en%20el%20pa%EDs-1-&x=2834458

Límites del municipio:

Por el Norte con los Municipios de San Cayetano, Villagómez y Topaipí; por el Sur con los Municipios de Supatá y Subachoque; al Occidente con los Municipios de Vergara y el Peñón; y por el Oriente, con los Municipios de Zipaquirá, Tausa y Cogua.

Extensión total: 403.3 Km²

Extensión área urbana: 3.6 Km² y

Extensión área rural: 399.7 Km².

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 2.136 m., un rango altitudinal entre los 1.000 y los 3.700 m.

Temperatura media: 19°c° C.

Distancia de referencia: 88 km.

7.2. Selección y corte de las muestras de guadua

Para el desarrollo de este proyecto se seleccionaron y marcaron previamente las guaduas a utilizar. Se usaron guaduas "jechas" o maduras de 4 a 6 años, edad apropiada donde la guadua alcanza su nivel más alto en resistencia. Se utilizaron 10 culmos procedentes del municipio de Sylvania, de aproximadamente 8 metros de longitud cada uno, y 9 culmos procedentes del municipio de Pacho Cundinamarca de aproximadamente 8.5 metros de longitud cada uno. Los cortes se realizaron de acuerdo a la NTC 5300.

Muestras tomadas en Silvania Cundinamarca

En el municipio de Silvania el corte de las muestras se llevó a cabo en la finca “Chicamocha” vereda San Luis Alto, propiedad del señor Manuel Delgado, quien gentilmente facilitó y suministro la información del sitio de recolección y corte de las muestras de guadua.

El corte de las muestras se realizó en luna menguante, debido a que la cosecha de bambú se muestra favorable porque no hay tanta agua en los vasos capilares, por ausencia de atracción lunar. (Figura 7),

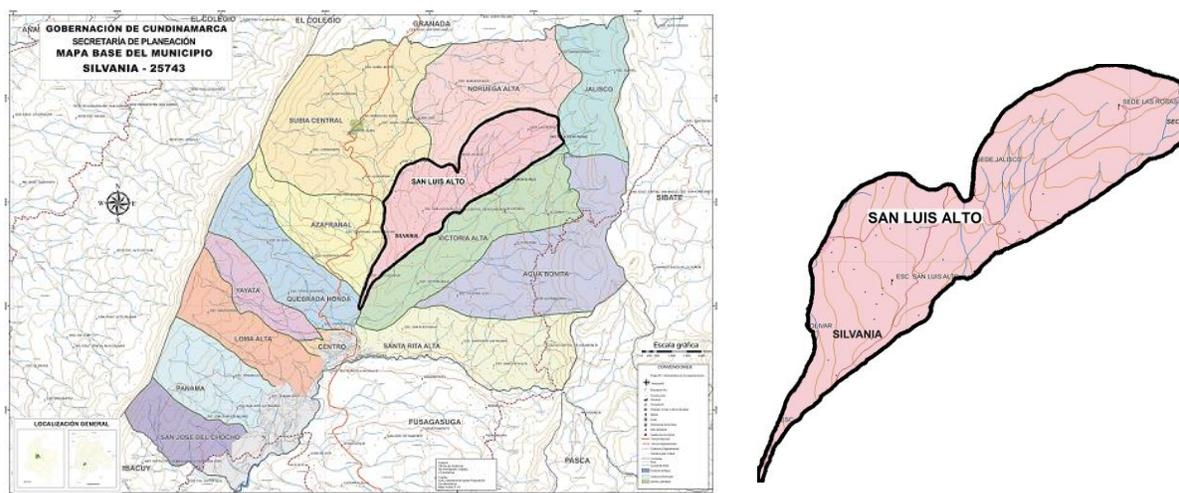


Figura 7. Vereda San Luis alto, Silvania Cundinamarca.

Tomado de: http://www.silvania-cundinamarca.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=1823791

La hora de corte es determinante, debe hacerse entre las 12 pm y 6 am, (antes de la salida del sol), donde el almidón todavía se encuentra en las raíces y, debido a la fotosíntesis se encuentra más agua en el tallo. (Figura 8). Cuanto más almidón exista en el vástago, más nutritivo es para los insectos.



Figura. 8. Corte de guadua en la finca "La Chicamocha" Sylvania Cundinamarca. Fuente: el autor

Cabe resaltar que el corte en el tallo de la guadua debe realizarse después del primer canuto (tabique) completo que sale de tierra, aproximadamente a una altura entre 15 y 30 centímetros sobre el nivel del suelo, con la precaución de que quede sobre un nudo (donde termina el nudo), para evitar que el agua se empoce, evitando que posteriormente comience a pudrirse el tallo, afectando consecuentemente al rizoma. El corte debe procurar hacerse lo más limpio posible para lo cual se usa el machete o la sierra, ver figura 9.

Luego del corte, el culmo de guadua se deja apoyado sobre otros bambúes vivos, lo más vertical posible, y sobre una piedra, plástico o la punta de otro rizoma que lo separe del suelo, para evitar que absorba la humedad del mismo y para que las hojas sigan transpirando, haciendo que el secado sea gradual y de adentro hacia fuera. En esta posición el culmo cortado se deja por un tiempo no menor de 4 semanas, ver figura 10.



Figura 9. Corte de guadua justo arriba del nudo para evitar apozamiento. Fuente: el autor



Figura 10. Apoyo del culmo de guadua luego del corte, para evitar humedad del suelo. Fuente: el autor

Muestras tomadas en Pacho Cundinamarca

En el municipio de Pacho Cundinamarca la selección y el corte de las muestras se llevaron a cabo en la finca “Chikala”, vereda Bermejál, propiedad del señor Orlando Pérez, quien gentilmente facilitó y suministró la información del sitio de recolección, selección y corte de las muestras de guadua. Ver figuras 11 y 12.



Figura 11. Muestra de guadua en la finca “Chikala” Pacho Cundinamarca.
Fuente: el autor



Figura 12. Culmos de guadua de Pacho Cundinamarca. **Fuente:** el autor

La finca “Chikala” se encuentra a 1.550 m.s.n.m, cuenta con una temperatura promedio de 22° C, el río, Río Negro, se encuentra a una distancia de 1 km aproximadamente, y el río Veraguitas está a una distancia de 1.5 km.

7.3. Caracterización de las probetas para ensayos

Las probetas obtenidas para la realización de los diferentes ensayos fueron rotuladas debidamente para una mejor identificación, (Figura 13), igualmente se muestra la información relacionada en la Tabla 6, en donde se indica el lugar de origen, el tipo de ensayo y número de la misma según correspondió, así como la posición relativa de la probeta en el culmo.

Lugar de origen		Tipo de ensayo		Número de la probeta	Posición en el culmo	
S	Silvania	V	Corte paralelo a la fibra	1.....30	I	Inferior
P	Pacho	Vn	Corte paralelo a la fibra con nudo	1.....30	M	Medio
		C	Compresión paralela a la fibra	1.....24	S	Superior
		T	Tensión paralela a la fibra	1.....24		
		F	Flexión	1.....8		

Tabla 6. Información relacionada para identificar las probetas.

Fuente: el autor



Figura 13. Probeta rotulada para su identificación.

Fuente: el autor

7.4. Equipos y dispositivos utilizados para los ensayos

Para este trabajo de investigación se utilizaron los equipos y dispositivos más adecuados para obtener resultados óptimos, cabe destacar y agradecer a la Universidad Militar Nueva Granada por el espacio concedido en sus laboratorios, ya que se lograron realizar todos los ensayos propuestos al principio de esta investigación. A continuación se referencian los equipos y dispositivos utilizados:

Trozado de culmos y probetas

La epidermis de la guadua, se caracteriza por su dureza debido a la gran cantidad de sílice que contiene; además, está cubierta por una capa cerosa que la impermeabiliza, así que para realizar los cortes se requiere de una herramienta de filo fino y apropiado. Para realizar el trozado de culmos y probetas se utilizó una sierra de mano, tipo acolilladora, marca CRAFTSMAN®, (Figura 14), debido a la dureza del material. Las sierras más convenientes son las de tungsteno, el acero de carbono se puede utilizar, pero su desgaste es más alto.



Figura 14. Acolilladora para corte de guadua con disco de tungsteno. Fuente: el autor

Contenido de Humedad

Balanza marca OHAUS® con precisión de 0.01g. (Figura 15). Horno profesional de secado marca HUMBOLDT®. (Figura 15). Estos equipos están ubicados en el laboratorio de materiales de la Universidad Militar Nueva Granada sede Cajicá.



*Figura 15. Balanza OHAUS®
Fuente: el autor*



*Figura 16. Horno de secado marca HUMBOLDT®
Fuente: el autor*

Corte, compresión, tracción y flexión de la guadua

Para analizar el ensayo de corte paralelo, compresión paralela y flexión, se utilizó la máquina de carga universal marca DIRIMPEX®, con analizador electrónico de información marca CONTROLS®, que tiene una capacidad de carga de 20 toneladas. (Figura 16 y 17).



Figura 17. Máquina de carga DIRIMPEX®
Fuente: el autor



Figura 18. Control electrónico para la máquina de carga Fuente: el autor

Dispositivos especiales

Para los ensayos de corte paralelo y flexión, se construyeron unos dispositivos especiales para adaptarlos a la máquina universal de carga, ya que estos dispositivos no se encontraban en la universidad debido a que no se habían realizado ensayos de guadua de este tipo. El dispositivo para corte paralelo consta de dos discos de hierro de 2cm de grosor soportados por varillas con diámetro de 3/8, (Figura 18 y 19), que facilita la colocación de la probeta y la alineación de los platos de carga.



Figura 19. Dispositivo metálico para ensayo de corte paralelo Fuente: el autor



Figura 20. Dispositivo con la probeta de guadua lista para ser fallada Fuente: el autor

Para el ensayo de flexión se construyó un dispositivo compuesto por dos rieles metálicos de perfil en I, (*Figura 20 y 21*), de 1.20 mts de longitud para el riel de carga, y 2.50 mts de longitud para el riel de soporte, 2 unidades metálicas con un alma de madera para el riel de carga, que se trasladan longitudinalmente sobre el riel, y 2 unidades de similares características que actúan como apoyos de las probetas y que igualmente se pueden trasladar longitudinalmente sobre el riel de soporte.

Estos dispositivos serán donados al laboratorio de materiales de la Universidad Militar Nueva Granada sede Cajicá, ya que la idea del autor de este proyecto, es que las personas interesadas en la investigación sobre guadua tengan más facilidad y herramientas para realizar los ensayos correspondientes.



Figura 21. Dispositivo metálico para ensayo de flexión Fuente: el autor



Figura 22. Dispositivo montado sobre la máquina de carga Fuente: el autor

Otros dispositivos y equipos

Otros elementos necesarios para el desarrollo de los diferentes ensayos que, se utilizaron son:

- Deformímetros Mecánicos:

Miden las deformaciones o cambios de longitud que se presentan debido a fuerzas que influyen sobre la muestra, en los ensayos de compresión paralela y flexión. (*Figura 23*).

- Deformímetros Eléctricos:

Miden las deformaciones y cambios de longitud que se presentan en las probetas del ensayo a tensión paralela. (*Figura 24*).

- Calibrador Digital:

Indispensable para tomar las magnitudes del espesor de pared en los tramos superior e inferior en las probetas de guadua. (*Figura 25*).



Figura 23. Deformímetro mecánico
Fuente: el autor



Figura 24. Deformímetro eléctrico.
Fuente: el autor



Figura 25. Calibrador digital
Fuente: el autor

8. ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA ZONA SILVANIA (C)

Este ensayo determina la resistencia a la compresión de especímenes de guadua y su módulo de elasticidad.

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los especímenes a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen. El módulo de elasticidad se halla determinando la pendiente de la curva esfuerzo-deformación unitaria del material.

Los resultados de este ensayo pueden usarse como dato de resistencia última a la compresión de la guadua para el diseño de estructuras.

Para este ensayo se utilizaron 12 probetas de 10cms de longitud, sin nudo.

PROBETA	INFERIOR				SUPERIOR				AREA (mm ²)
	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)	
1	83	81	53	54	82	79	54	56	2873,4
2	85	85	49	50	82	81	51	52	3440,3
3	88	91	65	67	87	90	65	68	2774,0
4	92	91	60	61	89	88	72	71	2940,5
5	99	97	69	69	95	93	70	70	3444,6
6	140	110	73	73	120	110	72	71	7209,9
7	99	101	69	70	97	98	70	72	3782,9
8	101	100	73	70	99	97	74	70	3693,3
9	105	104	70	72	100	101	69	73	4292,4
10	107	108	72	74	108	107	72	73	4919,5
11	105	105	68	68	101	101	68	68	4700,6
12	105	103	73	72	100	99	73	73	3974,5

Tabla 7. Determinación de áreas de la sección transversal a compresión

En la tabla 7 analizamos el área total de cada probeta, y en la tabla 8 el porcentaje de humedad.

Longitud (mm) = 100

PROBETA	PESO (%)		HUMEDAD (%)
	Hum(g)	Sec(g)	
1	294	144	104%
2	350	161	117%
3	297	185	61%
4	299	186	61%
5	345	202	71%
6	445	250	78%
7	382	209	83%
8	384	216	78%
9	452	252	79%
10	557	332	68%
11	476	251	90%
12	403	229	76%

Tabla 8. Porcentaje de Contenido de humedad

Δ (mm)	PROBETA (KN)											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	1,10	0,70	2,10	3,10	1,30	4,90	0,10	0,70	1,30	0,98	1,15	0,92
20	1,60	1,30	3,50	9,10	2,60	11,90	0,40	2,00	2,40	1,42	1,17	1,80
30	2,50	2,80	5,20	10,50	4,10	23,20	0,70	9,20	2,50	2,02	1,19	2,40
40	3,20	4,90	7,30	11,80	5,00	42,10	1,10	31,00	4,80	3,10	1,23	4,90
50	4,00	9,50	11,00	14,20	6,10	56,60	1,50	71,00	6,90	3,90	1,32	7,90
60	5,00	17,00	24,00	17,60	7,40	66,70	2,10	82,00	9,70	4,90	1,48	8,40
70	6,50	33,00	39,00	24,80	9,30	76,10	3,20	87,00	15,00	6,20	1,67	11,90
80	8,70	56,00	71,00	35,40	11,90	83,70	6,00	90,20	34,00	7,60	2,58	12,20
90	13,00	73,00	78,00	54,90	17,60	89,60	14,00	91,70	69,00	10,10	3,22	29,40
100	23,00	75,60	80,00	66,50	28,10	93,20	35,00	92,90	89,00	16,10	4,42	46,50
110	32,00	75,90	82,70	78,40	45,00	96,40	53,00	94,00	111,00	31,00	5,52	67,60
120	43,00	FALLA	83,30	89,40	54,00	98,30	73,00	94,50	119,00	45,20	6,07	73,80
130	61,00		87,70	93,40	63,00	100,50	87,00	95,00	122,20	68,40	8,90	83,10
140	66,40		FALLA	FALLA	72,00	102,10	94,00	95,40	123,40	101,00	11,90	94,60
150	FALLA				81,00	103,10	98,00	95,90	123,50	160,00	16,90	99,40
160					90,00	104,20	100,00	96,30	FALLA	170,00	29,00	102,80
170					FALLA	104,70	101,00	96,70		174,00	46,00	104,90
180						105,20	102,90	97,10		176,00	113,00	FALLA
190						105,70	103,40	97,50		177,00	FALLA	
200						106,20	104,10	97,80		178,30		
210						106,60	104,20	98,10		178,90		
220						106,90	104,30	98,40		179,80		
230						107,10	FALLA	98,60		FALLA		
240						107,20		98,90				
250						107,40		99,20				
260						107,50		99,30				
270						FALLA		100,10				
280								101,20				
290								FALLA				

Tabla 9. Carga con deformación controlada ensayo de compresión paralela a la fibra, datos tomados en el ensayo.

En la tabla 9, se relacionan los datos obtenidos en el ensayo a compresión, en el cual se utilizó un Deformimetro análogo para medir la deformación.

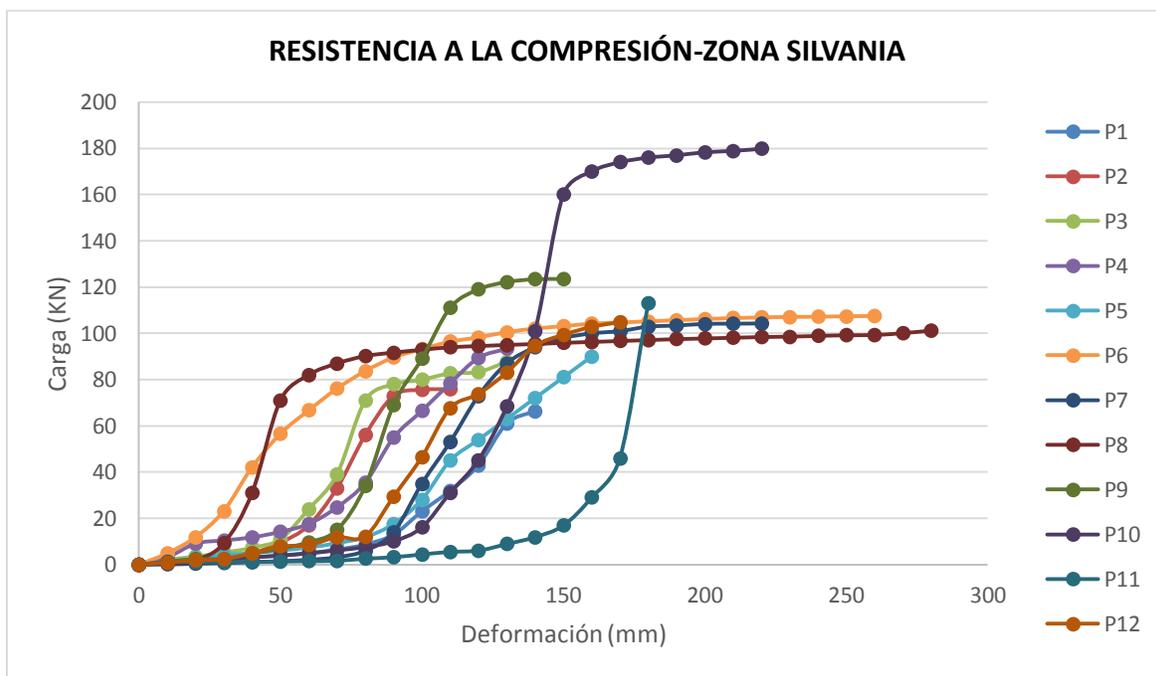


Figura 26. Relación carga Vs deformación ensayo de compresión paralela a la fibra

En la Figura 26, se puede observar que los especímenes poseen aproximadamente tres pendientes, igualmente hay aproximadamente dos muestras indiferentes (P10 y P11).

Removiendo las probetas 10 y 11 porque es muy probable que hayan tenido problemas de muestreo:

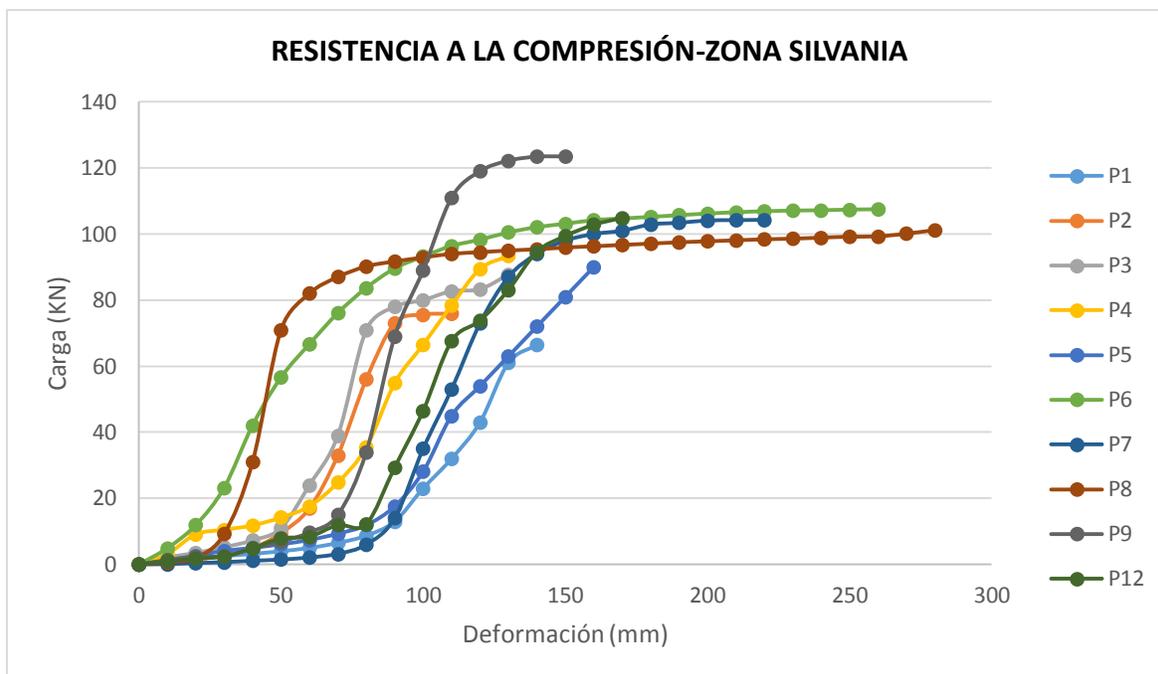


Figura 27. Resistencia a la compresión paralela a la fibra

En la Figura 27, se puede calcular la resistencia a la compresión antes de que ocurra la gran fluencia de los especímenes es: **$R_c = 15\text{KN}$**

Igualmente puede observarse que para valores de carga menores a aproximadamente **10KN** se obtiene un primer módulo de elasticidad, después se pasa a otro modulo mucho mayor.

No se puede obtener un valor de deformación para los puntos anteriores porque hay una alta variabilidad. La deformación más allá del punto que se ha considerado de carga máxima, igualmente posee alta variabilidad, por tanto tampoco se tendrá en cuenta este valor debido a que la ductilidad de la guadua es muy baja comparada con otros materiales.

A pesar que se muestran dos resultados de módulo de elasticidad y los valores de la primera pendiente se presentan para cargas muy bajas, es muy importante para diseño este parámetro

porque significa la primera elasticidad de la estructura, además más adelante es un poco mayor, por eso se toma este valor hasta aproximadamente **25kN** de carga. Figuras 28 y 29.

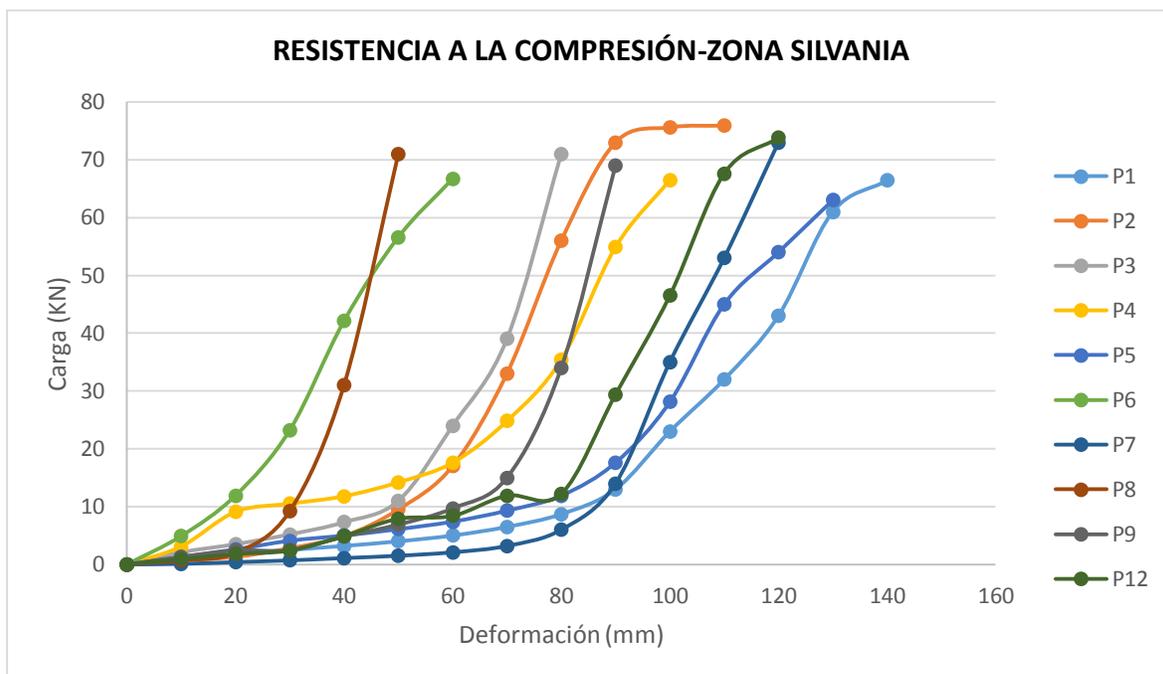


Figura 28. Determinación del módulo de elasticidad ensayo de compresión paralela a la fibra

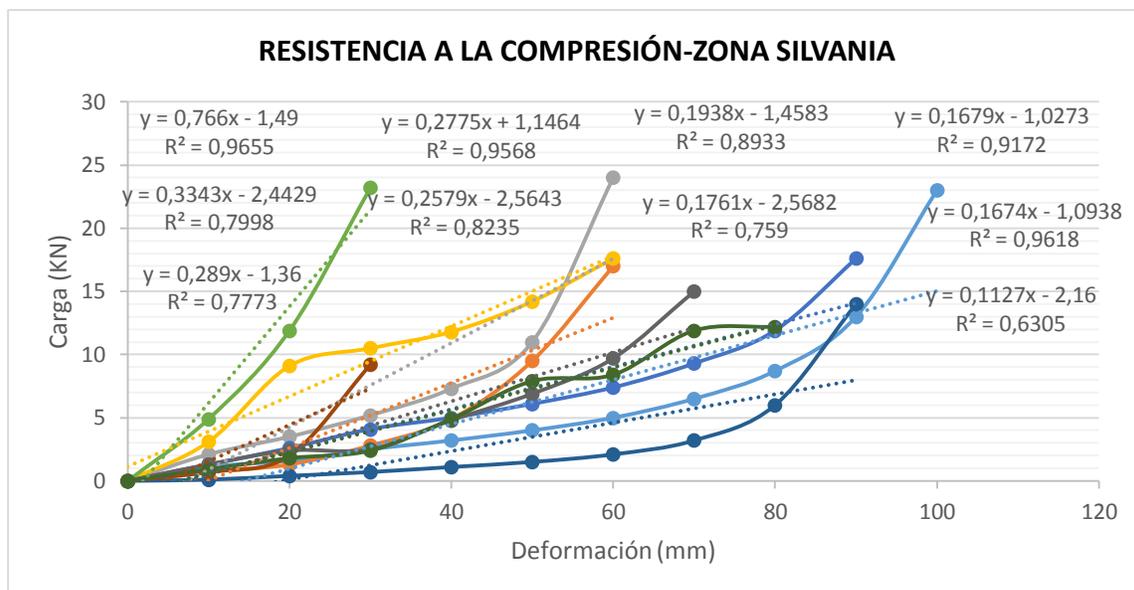


Figura 29. Determinación del módulo de elasticidad promedio en el ensayo de compresión paralela a la fibra

PROB.	m	R2	E(MPa)
1	0,1938	0,8933	6744,7
2	0,2775	0,9568	8066,2
3	0,3343	0,7998	12051,3
4	0,289	0,778	9828,1
5	0,1761	0,759	5112,4
6	0,766	0,966	10624,2
7	0,1127	0,6305	2979,2
8	0,1674	0,962	4532,5
9	0,2579	0,823	6008,3
12	0,1679	0,917	4224,4

Tabla 10. Funciones y coeficientes de correlación

Módulo de elasticidad promedio:

$$E = 7017,1 \text{ Mpa}$$

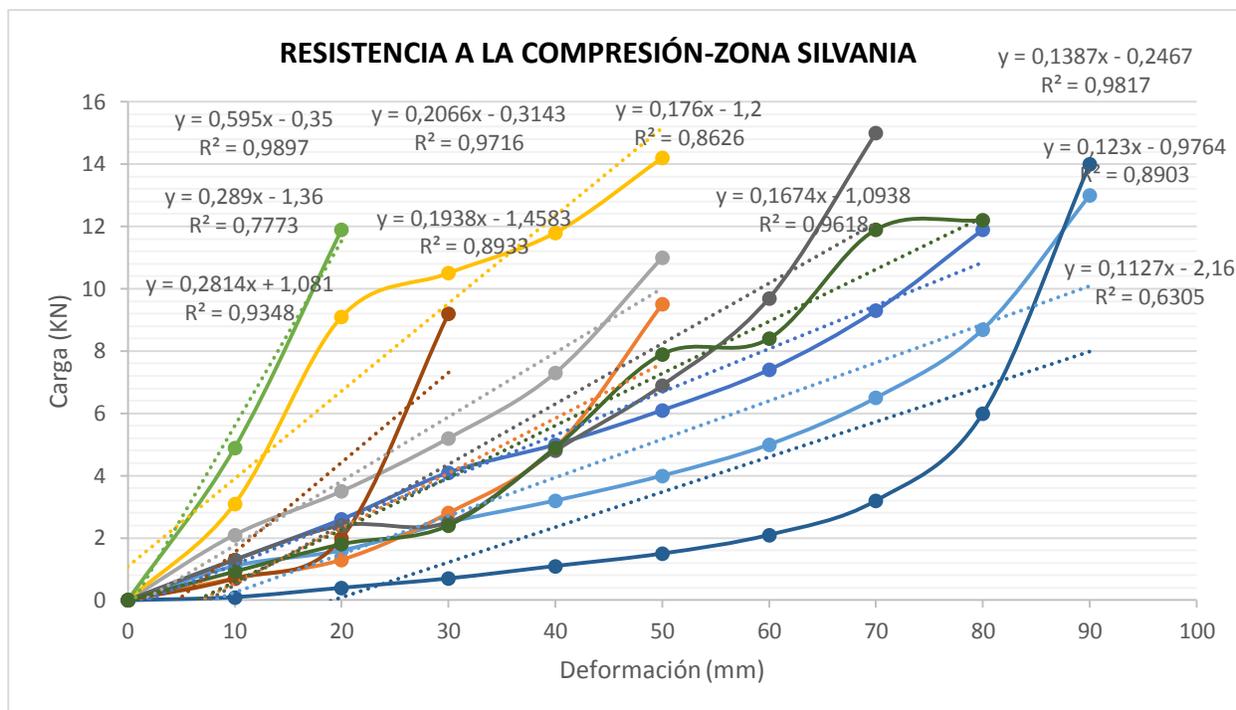


Figura 30. Determinación del módulo de elasticidad mínimo en el ensayo de compresión paralela a la fibra

Ahora si se puede calcular la resistencia a la compresión de los especímenes y el módulo de elasticidad mínimo (se recortan valores hasta la primera pendiente):

$R_c = 25 \text{ Mpa}$

Módulo de elasticidad mínimo

$E_{min} = 5741,6 \text{ Mpa}$

Tabla 11. Módulo de elasticidad

PROB.	m	R2	E(Mpa)
1	0,123	0,891	4280,7
2	0,139	0,982	4040,3
3	0,207	0,972	7462,2
4	0,289	0,777	9828,1
5	0,167	0,962	4848,2
6	0,595	0,999	8252,5
7	0,113	0,631	2987,1
8	0,2814	0,935	7619,1
9	0,194	0,893	4519,6
12	0,176	0,863	3577,6

Análisis de resultados

Al llegar a la carga de falla las probetas desarrollaron los siguientes sistemas de

Falla:

- Aplastamiento.
- Corte.

El sistema de falla para las probetas de ensayo a compresión paralela a la fibra, muestran un porcentaje alto en la falla por aplastamiento, sin embargo la falla por corte tiene un porcentaje significativo en las muestras. Figuras 31 y 32.

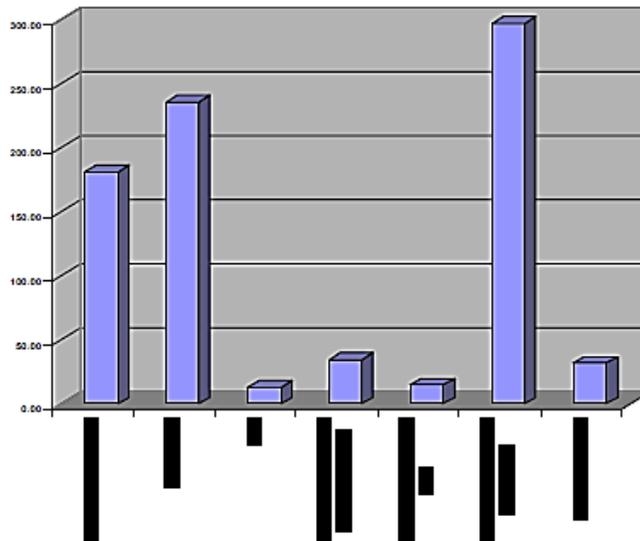


Figura 31. Falla por compresión en el ensayo de compresión paralela a la fibra

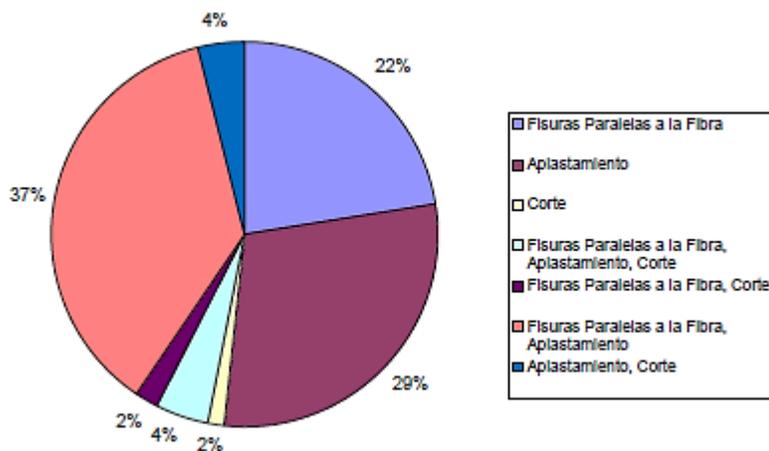


Figura 32. Porcentaje de falla por compresión en el ensayo de compresión paralela a la fibra



Figura 33. Falla por corte



Figura 34. Falla por aplastamiento

Como podemos apreciar en la figura 33 la falla por corte se presenta en el intermedio de la probeta, mientras que la falla por aplastamiento se da en los tramos inferior y superior, figura 34.

- La presencia de fisuras en las probetas genera una disminución en la resistencia a compresión del 0.75% del valor promedio. Cabe anotar que en algunos lugares no se presentó disminución en la resistencia sino un leve aumento.

- La presencia de fisuras en las probetas genera una disminución del valor del módulo en un 3.4% del valor promedio.
- En las gráficas esfuerzo deformación se puede identificar una zona lineal o elástica en la cual existe proporcionalidad de cargas y deformaciones y una zona curva o plástica donde no se cumple dicha proporcionalidad.

Módulo de elasticidad promedio: **$E = 7017,1 \text{ Mpa}$**

Módulo de elasticidad mínimo: **$E_{\text{min}} = 5741,6 \text{ Mpa}$**

9. ENSAYO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA ZONA SILVANIA CON NUDO Y SIN NUDO

Este ensayo permite determinar la resistencia al corte de especímenes de guadua.

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros a una velocidad de carga prescrita hasta que se presente la falla, en el cual se utiliza el dispositivo de corte, figura 36.

La resistencia al corte del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo entre el área de la sección longitudinal del material.

Los resultados de este ensayo pueden usarse como dato de resistencia última al corte de guadua para el diseño de estructuras.

PROBETA	INFERIOR				SUPERIOR				AREA (mm ²)	CARGA (KN)
	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)		
1	80	81	55	55	80	79	57	58	4750,0	29
2	80	81	53	58	80	83	54	53	5300,0	29
3	79	79	56	56	80	80	54	57	4750,0	27
4	84	84	53	52	82	81	55	53	5900,0	31
5	79	80	54	54	85	85	50	49	6100,0	30
6	80	80	56	54	82	82	53	52	5450,0	30
7	78	78	53	56	80	79	55	54	4850,0	23
8	78	79	53	53	77	77	57	55	4650,0	40
9	80	81	55	55	80	79	57	58	4750,0	32
10	80	81	53	58	80	83	54	53	5300,0	34
11	79	79	56	56	80	80	54	57	4750,0	40
12	84	84	53	52	82	81	55	53	5900,0	44
13	79	80	54	54	85	85	50	49	6100,0	70
14	80	80	56	54	82	82	53	52	5450,0	61
15	78	78	53	56	80	79	55	54	4850,0	61

Tabla 12. Determinación de áreas de la sección transversal a corte, ensayo corte paralelo con nudo

Longitud (mm) = 100

La deformación para este ensayo no se ha registrado porque la falla es frágil. Tabla 12.

PROBETA	PESO (%)		HUMEDAD	ESF. DE CORTE
	Hum(g)	Sec(g)	(%)	(Mpa)
1	301	167	80%	6,105
2	335	180	86%	5,472
3	332	170	95%	5,684
4	390	187	109%	5,254
5	317	168	89%	4,918
6	458	246	86%	5,505
7	457	248	84%	4,742
8	501	259	93%	8,602
9	409	234	75%	6,737
10	454	248	83%	6,415
11	633	383	65%	8,421
12	467	260	80%	7,458
13	632	367	72%	11,475
14	566	357	59%	11,193
15	595	375	59%	12,577
PROMEDIO			81%	7,371

Tabla 13. Resistencia al corte, ensayo corte paralelo con nudo

Por tanto podemos escoger la resistencia al corte (promedio) como:

$$R_{\text{corte}} = 7,371 \text{ Mpa}$$

Pero debido a la naturaleza de la falla al corte (frágil), se escoge el valor mínimo:

$$R_{\text{min}} = 4,742 \text{ Mpa}$$

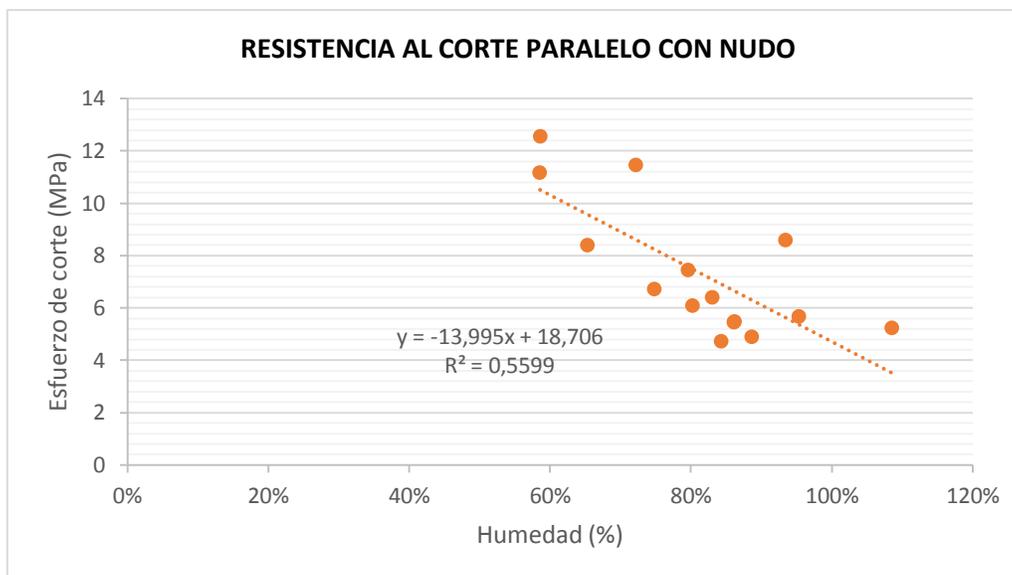


Figura 35. Resistencia al corte Vs humedad, ensayo corte paralelo con nudo.

Se puede observar en la figura 35, que entre más húmeda este la guadua, menor es su resistencia al corte. Dado que la humedad es un valor que en las construcciones no es tan fácil de controlar, se escoge el valor mínimo como la resistencia al corte.

PROBETA	INFERIOR				SUPERIOR				AREA (mm ²)	CARGA (KN)
	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)		
1	75	77	54	55	77	78	54	55	4450,0	25
2	79	77	55	55	79	78	56	54	4650,0	33
3	82	82	53	53	80	79	56	55	5300,0	22
4	83	85	52	53	79	79	52	53	5800,0	29
5	80	80	54	55	80	78	56	55	4900,0	28
6	89	87	66	64	88	85	66	65	4400,0	37
7	93	95	59	58	89	92	66	69	5850,0	38
8	93	96	68	71	91	96	68	73	4800,0	24
9	93	89	71	66	93	93	70	62	4950,0	27
10	88	90	60	61	88	89	60	60	5700,0	36
11	96	97	66	67	92	94	67	70	5450,0	37
12	100	100	68	68	97	97	71	72	5750,0	35
13	104	104	73	74	100	101	72	73	5850,0	40
14	103	105	72	74	104	105	73	74	6200,0	35
15	105	105	74	74	106	105	74	74	6250,0	36

Tabla 14. Determinación de áreas de la sección transversal a corte, ensayo corte paralelo sin nudo

Longitud (mm) = 100

La deformación para este ensayo no se ha registrado porque la falla es frágil. Tabla 15.

PROBETA	PESO (%)		HUMEDAD	ESF. DE CORTE
	Hum(g)	Sec(g)	(%)	(Mpa)
1	230	125	84%	5,618
2	243	131	85%	7,097
3	269	136	98%	4,151
4	301	145	108%	5,000
5	255	136	88%	5,714
6	270	172	57%	8,409
7	315	197	60%	6,496
8	330	198	67%	5,000
9	302	191	58%	5,455
10	337	186	81%	6,316
11	356	238	50%	6,789
12	370	259	43%	6,087
13	418	243	72%	6,838
14	461	292	58%	5,645
15	492	310	59%	5,760
	PROMEDIO		71%	6,025

Tabla 15. Resistencia al corte, ensayo corte paralelo sin nudo

Por tanto podemos escoger la resistencia al corte (promedio) como:

Rcorte = 6,025 Mpa

Pero debido a la naturaleza de la falla al corte (frágil), se escoge el valor mínimo:

Rmin = 4,151 Mpa

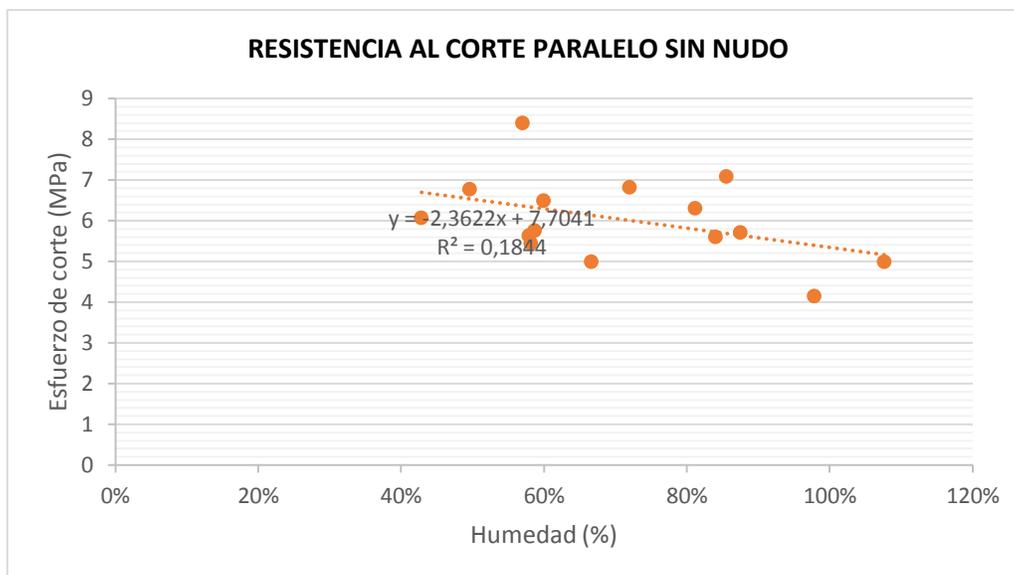


Figura 36. Resistencia al corte Vs humedad, ensayo corte paralelo sin nudo.

Se puede observar en la figura 36, que entre más húmeda este la guadua, menor es su resistencia al corte.

Dado que la humedad es un valor que en las construcciones no es tan fácil de controlar, se escoge el valor mínimo como la resistencia al corte. Se puede observar que la resistencia por incluir los nudos se baja en un 12,5% respecto a los que no incluyen nudos.

También se observa que al incluir los nudos, hay más variabilidad en los resultados obtenidos.

Análisis de resultados

El esfuerzo máximo a corte paralelo a la fibra se determinará:

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\Sigma(t \times L)} \text{ MPa}$$

Donde:

τ_{ult} = Esfuerzo a corte, con una aproximación de 0.1 MPa

$ult F$ =Carga máxima a la cual el espécimen falla, en N.

$\Sigma(t \times L)$ = Es la suma de los cuatro productos de t y L.

t = Espesor promedio de la probeta (cm)

L = Longitud de la probeta (cm)

Como podemos observar la resistencia al corte de las probetas de Sylvania es mayor para la probeta con nudo con una diferencia de : **1,346 Mpa**, y la resistencia minima presenta una diferencia de: **0,591 Mpa**.

Con nudo

Rcorte = 7,371 Mpa \longrightarrow **Rmin = 4,742 Mpa**

Sin nudo

Rcorte = 6,025 Mpa \longrightarrow **Rmin = 4,151 Mpa**

El tipo de falla que se presenta en el ensayo de corte paralelo, es una falla longitudinal, la cual corta la probeta en el espacio vacio del dispositivo de corte. En la siguiente secuencia observamos la disposición de la probeta en el dispositivo de corte, y sus respectivas fallas. Figura 37, a, 39.b.



Figura 37. Probeta sobre dispositivo de corte



Figura 38. Probeta de guadua en ensayo de corte paralelo



Figura 39.a. Falla típica del ensayo de corte paralelo



Figura 39.b. Falla típica del ensayo de corte paralelo

10. ENSAYO A FLEXIÓN ZONA SILVANIA (F)

Este ensayo permite determinar la resistencia a la flexión de especímenes de guadua y su módulo de elasticidad.

El ensayo consiste en aplicar unas cargas puntuales a una distancia aproximada a los $L/3$ (donde se encuentre un nudo), a una velocidad de carga prescrita hasta que se presente la falla. La resistencia a flexión del espécimen se determina al encontrar el momento máximo generado para cada aplicación de carga y, con las cargas últimas los esfuerzos últimos a flexión. El módulo de elasticidad se obtiene de forma indirecta a partir de los ensayos de flexión elástica.

Los resultados de este ensayo pueden ser usados dependiendo el tipo de falla. Si la falla es debida al corte, entonces se pueden usar los datos de esfuerzo máximo a cortante. Si la falla es debida a la flexión los datos a utilizar son los de esfuerzo máximo a flexión. Si se presenta la falla por flexión entonces estos datos no pueden ser usados para el diseño de estructuras.

Para este ensayo se utilizaron 4 culmos de guadua de 2.00 mts de longitud cada uno.

PROBETA	INFERIOR				SUPERIOR				INERCIA (mm ⁴)
	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)	
1	93	95	65	65	90	89	57	58	2787657
2	88	86	53	58	82	83	54	53	2099316
3	77	75	56	56	80	80	54	57	1342789
4	94	94	53	52	82	81	55	53	2515761

Tabla 16. Resistencia a la flexión, ensayo de flexión.

Con los datos de la tabla 16, se realiza el calculo de la inercia promedio:

$$\mathbf{I = 2186380,878 \text{ mm}^4}$$

$$\mathbf{L = 2,00 \text{ m}}$$

$$\mathbf{D = 85,563 \text{ m}}$$

				ESFUERZO POR FLEXIÓN (Mpa)			
P1(KN)	P2(KN)	P3(KN)	P4(KN)	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
0,04	1,38	1,58	1,74	0,12	4,30	4,93	5,43
0,06	1,52	1,74	1,96	0,19	4,74	5,43	6,11
1,2	1,61	1,92	2,15	3,74	5,02	5,99	6,70
1,4	1,84	2,1	2,34	4,37	5,74	6,55	7,30
1,55	2,04	2,36	2,64	4,83	6,36	7,36	8,23
1,7	2,17	2,53	2,88	5,30	6,77	7,89	8,98
1,82	2,55	2,76	3,06	5,67	7,95	8,61	9,54
1,92	2,67	2,98	3,28	5,99	8,32	9,29	10,23
2,07	2,91	3,17	3,44	6,45	9,07	9,88	10,73
2,2	3,07	3,33	3,64	6,86	9,57	10,38	11,35
2,32	3,27	3,52	3,84	7,23	10,20	10,97	11,97
2,43	3,46	3,7	4,04	7,58	10,79	11,54	12,60
2,58	3,69	3,89	4,13	8,04	11,50	12,13	12,88
2,72	3,89	4,08	4,33	8,48	12,13	12,72	13,50
2,83	4,07	4,2	4,52	8,82	12,69	13,10	14,09
2,96	4,25	4,4	4,65	9,23	13,25	13,72	14,50
3,06	4,43	4,57	4,81	9,54	13,81	14,25	15,00
3,23	4,62	4,78	4,99	10,07	14,40	14,90	15,56
3,36	4,78	4,98	5,15	10,48	14,90	15,53	16,06
3,45	4,97	5,12	5,3	10,76	15,50	15,96	16,52
3,52	5,14	5,22	5,41	10,97	16,03	16,28	16,87
3,67	5,3	5,37	5,55	11,44	16,52	16,74	17,30
3,78	5,47	5,51	5,68	11,79	17,05	17,18	17,71
3,9	5,64	5,71	5,83	12,16	17,58	17,80	18,18
4,01	5,8	5,85	5,92	12,50	18,08	18,24	18,46
4,2	5,95	5,99	6,04	13,10	18,55	18,68	18,83
4,32	6,1	6,12	6,13	13,47	19,02	19,08	19,11
4,43	6,24	6,28	6,24	13,81	19,46	19,58	19,46
4,57	6,38	6,44	6,31	14,25	19,89	20,08	19,67
4,69	6,52	6,66	6,39	14,62	20,33	20,77	19,92
4,81	6,65	6,73	6,47	15,00	20,73	20,98	20,17
4,92	6,78	6,82	6,57	15,34	21,14	21,26	20,48
5,1	6,91	6,92	6,69	15,90	21,54	21,58	20,86
5,2	7,02	7	6,77	16,21	21,89	21,83	21,11
5,32	7,12	7,1	6,82	16,59	22,20	22,14	21,26
5,49	7,23	7,18	6,87	17,12	22,54	22,39	21,42
5,58	7,32	7,25	6,92	17,40	22,82	22,60	21,58

5,7	7,42	7,32	6,97	17,77	23,13	22,82	21,73
5,81	7,51	7,39	7	18,11	23,42	23,04	21,83
5,92	7,59	7,45	7,05	18,46	23,66	23,23	21,98
6,13	7,65	7,51	7,08	19,11	23,85	23,42	22,07
6,28	7,72	7,58	falla	19,58	24,07	23,63	
6,37	7,8	7,66		19,86	24,32	23,88	
6,42	7,86	7,7		20,02	24,51	24,01	
6,6	7,92	7,75		20,58	24,69	24,16	
6,68	8	7,88		20,83	24,94	24,57	
6,8	8,05	7,82		21,20	25,10	24,38	
6,91	8,12	7,89		21,54	25,32	24,60	
7,01	8,18	7,94		21,86	25,50	24,76	
7,15	8,25	falla		22,29	25,72		
7,27	8,28			22,67	25,82		
7,32	8,34			22,82	26,00		
7,49	8,39			23,35	26,16		
7,62	8,44			23,76	26,31		
7,7	8,5			24,01	26,50		
7,84	8,56			24,44	26,69		
7,91	8,59			24,66	26,78		
8,08	8,63			25,19	26,91		
8,15	8,66			25,41	27,00		
8,26	8,69			25,75	27,09		
8,4	8,71			26,19	27,16		
8,49	8,73			26,47	27,22		
8,57	8,76			26,72	27,31		
8,66	8,78			27,00	27,37		
8,79	8,8			27,41	27,44		
8,88	8,82			27,69	27,50		
8,97	8,83			27,97	27,53		
9,08	8,85			28,31	27,59		
9,19	8,86			28,65	27,62		
9,26	falla			28,87			
9,28				28,93			
9,44				29,43			
9,55				29,78			
9,62				29,99			
9,72				30,31			
9,81				30,59			
9,91				30,90			
9,98				31,12			

10,01				31,21			
10,15				31,65			
10,24				31,93			
10,33				32,21			
10,4				32,43			
10,49				32,71			
10,55				32,89			
10,62				33,11			
10,72				33,42			
10,79				33,64			
10,87				33,89			
10,92				34,05			
11,02				34,36			
11,08				34,55			
11,15				34,76			
11,2				34,92			
11,28				35,17			
11,33				35,33			
11,41				35,57			
11,47				35,76			
11,54				35,98			
11,59				36,14			
11,66				36,35			
11,72				36,54			
11,81				36,82			
11,87				37,01			
11,93				37,20			
11,94				37,23			
11,95				37,26			
11,99				37,38			
12				37,41			
12,02				37,48			
12,04				37,54			
12,09				37,70			
12,12				37,79			
12,13				37,82			
12,14				37,85			
falla							

Tabla 17. Relación carga Vs deformación, esfuerzo por flexión

Podemos calcular el valor del esfuerzo por flexión como el mínimo de los anteriores: tabla 17.

Rflexion = 22,07 Mpa

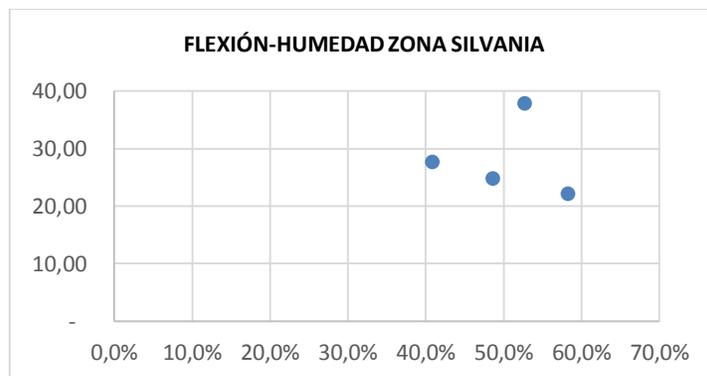


Figura 40. Gráfica relación, flexión-humedad

	HUMEDAD (%)			
	P1	P2	P3	P4
Húmedo	168	131	327	326
Seco	110	93	220	206
Hum (%)	52,7%	40,9%	48,6%	58,3%
Esf. (Mpa)	37,85	27,62	24,76	22,07

Tabla 18. Esfuerzo con relación a la humedad

Análisis de resultados

El esfuerzo de flexión y de corte para la carga última se determinó siguiendo la fórmula:

$$\sigma = \frac{32MD_1}{\pi(D_1^4 - (D_1 - 2t)^4)} \quad \tau = \frac{VQ}{Ib} = \frac{4V}{3A}$$

Dónde:

σ = Esfuerzo a flexión último, con una aproximación de 0.5 MPa

τ = Esfuerzo a corte último, con una aproximación de 0.5 MPa

M = Momento máximo para cada aplicación de carga. Determinado por medio de un análisis elástico de una viga estáticamente determinada.

D1 = Diámetro exterior promedio (teniendo en cuenta ambos extremos de la probeta)

t = Espesor promedio (mm)

V = Fuerza cortante máxima

A = Área de la sección transversal (cm²).

Inercia	Longitud culmo	Resistencia flexión	% Esfuerzo máximo
I= 2186380,878 mm ⁴	2.00 mts	Rflexion = 22,07 Mpa	112,3 Mpa

Tabla 19. Resultados del ensayo de flexión

Esta distribución aunque da una idea del comportamiento del material ante este tipo de sollicitación mecánica, frente a una acotada diferencia entre contenidos de humedad, no se podría tomar como una tendencia definitiva, ya que por un lado el número de muestras es limitado (4), en segundo lugar, el rango de contenidos de humedad es pequeño, aunque se encuentra en rango de diseño.

Para llegar a una conclusión más especializada hacen falta trabajos en donde no sólo se considere el contenido de humedad sino los tipos de falla para definir con mayor certeza el comportamiento de este material ante este requerimiento mecánico, tabla 19.



Figura 41. Falla por corte en probeta de ensayo a flexión

Tipo de falla típica en el ensayo a flexión, la falla por corte fue la más representativa en los ensayos, (figura 41) la falla se presentó en el centroide y con dirección del centro del elemento hacia fuera.

11. ENSAYO A TENSIÓN ZONA SILVANIA (T)

Determinación de la resistencia última a la tensión, paralela a las fibras, aplicando una carga gradualmente creciente sobre la probeta.

La guadua es un material compuesto, que indica que es un material formado por fibras que se encuentran dentro de una determinada matriz. Las fibras son las encargadas de otorgarle la resistencia mecánica a la guadua, mientras que la matriz se encarga de darle cohesión a esas fibras.

Un cuerpo es sometido a esfuerzos de tensión cuando se aplican cargas contrarias aplicadas axialmente (figura 42), lo que genera un estiramiento del elemento hasta causar su fractura.



Figura 42. Esquema de ensayo de tensión en probetas de guadua.

La normatividad empleada en la realización de estos ensayos es la norma **NTC – 5525**, esta establece el procedimiento que se debe seguir para realizar ensayos de tensión en probetas de guadua las cuales deben tener las siguientes dimensiones. Figura 43.

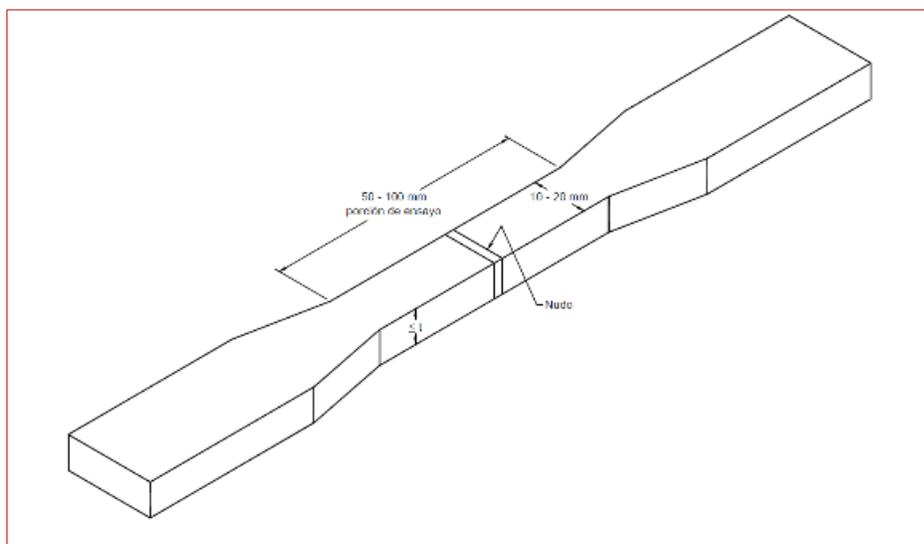


Figura 43. Dimensiones de la probetas de ensayos.
Fuente: norma NTC – 5525. ICONTEC

Las muestras deben ser representativas de la fuente de la cual se extrae.

Las siguientes, figura 44, son las muestras que se emplearon para los ensayos de tensión zona Silvania.



Figura 44. Probetas para ensayo a Tensión zona Silvania.

Metodología:

Se miden las dimensiones de la sección transversal de la porción de ensayo de la probeta.



Figura 45. Determinación del ancho de la probeta para tensión



Figura 46. Determinación del grosor de la probeta para tensión

Para los ensayos se obtuvieron las siguientes medidas de la sección trasversal de la probeta.

PROBETA N°	ANCHO (mm)			ESPESOR (mm)			ÁREA SECCIÓN TRANSVERSAL (mm ²)
	1	2	3	1	2	3	
TS-1	22.43	21.32	21.33	16.23	18.68	15.91	367.5
TS-2	24.64	23.42	24.91	14.51	19.46	14.58	393.6
TS-3	25.72	25.35	25.33	15.72	17.95	14.80	411.5
TS-4	24.30	22.39	23.21	11.52	16.49	14.33	328.8
TS-5	23.12	23.31	24.97	13.62	15.67	14.13	344.5
TS-6	22.49	23.45	24.35	15.68	21.35	13.73	396.4
TS-7	23.73	23.68	25.00	14.02	20.81	13.05	385.2
TS-8	23.45	21.36	23.16	13.21	18.81	12.51	336.3
TS-9	23.82	21.70	24.49	13.57	14.30	13.05	318.3

Tabla 20. Toma de datos probetas para ensayo a tensión

- Se toman tres dimensiones de su ancho y tres dimensiones de su espesor para obtener el promedio respectivo, con el promedio se determina el área de la sección transversal de la probeta.
- Para el ensayo se emplearon 9 probetas las cuales se les adecuó dos galgas extensométricas, (figura 47) las cuales determinan la deformación que está sufriendo la guadua mientras sufre esfuerzos a tensión, basándose en variaciones eléctricas.



Figura 47. Pegado de las galgas extensométricas

Resultados obtenidos

De los ensayos de tensión se obtienen los siguientes resultados:

Determinación de la resistencia a la tensión y módulo de elasticidad: tabla 21.

PROBETA N°	ÁREA SECCIÓN TRANSVERSAL (mm ²)	RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN (MPa)	RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN PROMEDIO(MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)
TS-1	367.5	107.9	95.1	10186.0
TS-2	393.6	90.1		
TS-3	411.5	72.7		
TS-4	328.8	98.2		
TS-5	344.5	81.5		
TS-6	396.4	71.1		
TS-7	385.2	109.1		
TS-8	336.3	114.1		
TS-9	318.3	111.1		

Tabla 21. Determinación de la resistencia a la tensión y módulo de elasticidad.

Se calcula la resistencia a la tensión dividiendo la carga máxima aplicada tomada de la serie de datos en los archivos anexos y dividiéndola por el área de la sección transversal.

$$\text{esfuerzo normal a tensión, } \sigma = \frac{\text{carga aplicada}}{\text{área del elemento}} = \frac{P}{A}$$

Para la obtención del módulo de elasticidad el cual se obtiene gracias a las galgas empleadas en los primeros ensayos; se obtiene mediante el siguiente gráfico.

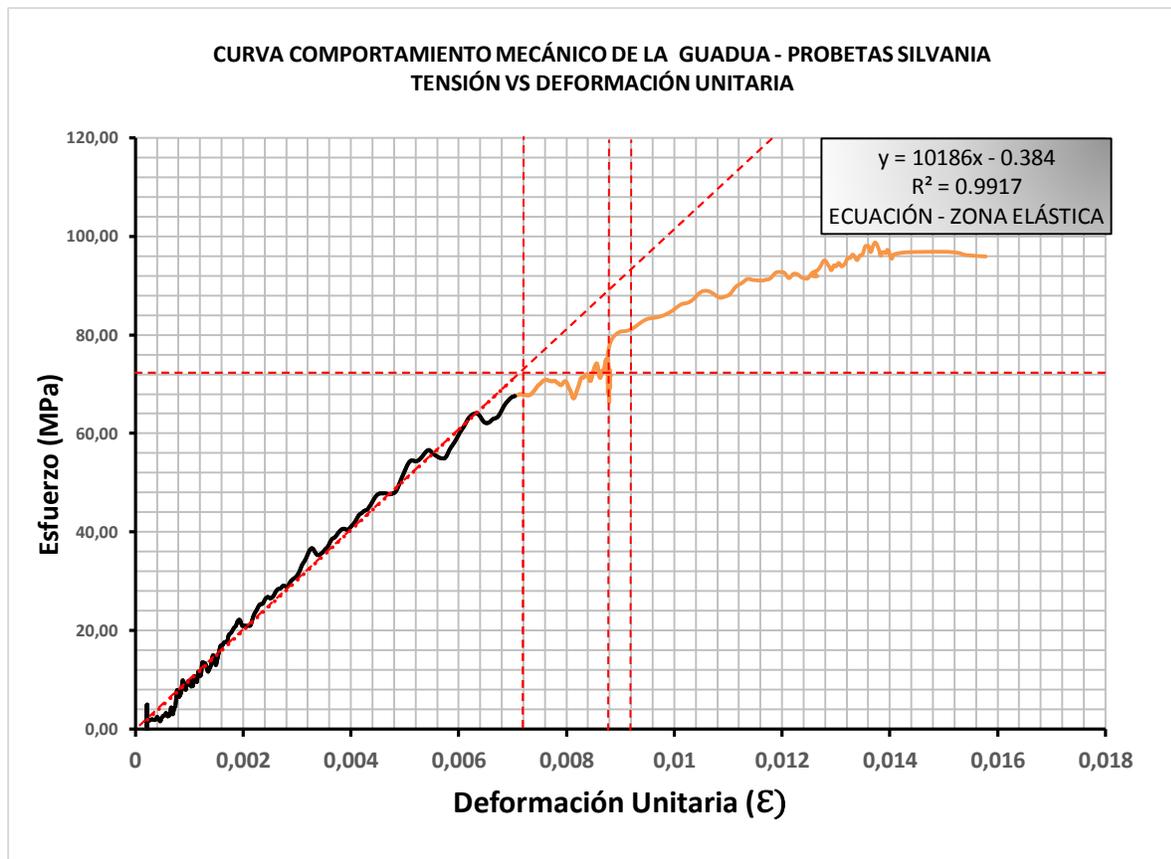


Figura 48. Gráfica para la determinación del módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad es el valor que toma la pendiente de la zona elástica, es decir la zona donde la deformación es proporcional al aumento de esfuerzos a tensión.

Las fallas presentadas en las probetas se generaron en su totalidad por el nudo, (figura 49), el cual de acuerdo a la **NTC 5525**, debe ir en el centro de la probeta.



Figura 49. Fallas presentadas en las probetas de ensayo a tensión

Análisis de resultados

Como se puede observar en los ensayos realizados en el laboratorio a las muestras de guadua de la zona de Sylvania, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados a ensayos realizados en las mismas condiciones relativas de temperatura, humedad, aplicación de carga y ambiente.

Para los ensayos realizados a las muestras de Sylvania, se obtuvo una resistencia promedio de **95.1 MPa** y un módulo de elasticidad de **10186 MPa**.

Lo que indica que las probetas de la zona de Sylvania Cundinamarca, tienen una resistencia a la tensión y un módulo de elasticidad por encima de la norma.

PROBETA N°	ANCHO (mm)			ESPESOR (mm)			ÁREA SECCIÓN TRANSVERSAL (mm ²)	RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN (MPa)
	1	2	3	1	2	3		
TS-1	22,43	21,32	21,33	16,23	18,68	15,91	367,5	107,9
TS-2	24,64	23,42	24,91	14,51	19,46	14,58	393,6	90,1
TS-3	25,72	25,35	25,33	15,72	17,95	14,80	411,5	72,7
TS-4	24,30	22,39	23,21	11,52	16,49	14,33	328,8	98,2
TS-5	23,12	23,31	24,97	13,62	15,67	14,13	344,5	81,5
TS-6	22,49	23,45	24,35	15,68	21,35	13,73	396,4	71,1
TS-7	23,73	23,68	25,00	14,02	20,81	13,05	385,2	109,1
TS-8	23,45	21,36	23,16	13,21	18,81	12,51	336,3	114,1
TS-9	23,82	21,70	24,49	13,57	14,30	13,05	318,3	111,1

RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN PROMEDIO(MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN (MPa)	RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN (MPa)	RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN (MPa)
95,1	10186,0	150,9	139,7	8,0
		125,0	114,0	9,6
		110,5	101,8	8,5
		128,6	119,0	8,1
		126,3	115,3	9,5
		111,0	101,5	9,4
		116,6	106,6	9,4
		109,4	100,5	8,9
		123,0	112,9	8,9

Tabla 22. Resumen de datos generados en los ensayos a tensión zona Silvania

Resumen de los ensayos realizados con la guadua de Sylvania Cundinamarca

ENSAYO	RESISTENCIA Mpa	NSR 10 Mpa
Compresión	25	14
Corte sin nudos	4,15	1,2
Corte con nudos	4,74	1,2
Flexión	27,14	15
Tensión	95.1	18

Tabla 23. Datos finales de ensayos en las probetas de Sylvania Cundinamarca

Se puede observar que los resultados son muy cercanos, se observan los factores de seguridad que se obtienen respecto a los recomendados por la **NSR**.

Lo anterior puede validar los resultados de la **NSR** y además validar los resultados de la resistencia al cortante y flexión con respecto a la resistencia a la compresión.

Las siguientes relaciones se hacen independientes de la humedad por su variabilidad.

R_c = Esfuerzo de compresión

R_v = Esfuerzo de cortante

R_f = Esfuerzo de flexión

$$R_v = 0.15R_c$$

$$R_f = 1.0R_c$$

12. ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA ZONA PACHO (C)

Este ensayo determina la resistencia a la compresión de especímenes de guadua y su módulo de elasticidad.

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los especímenes a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen. El módulo de elasticidad se halla determinando la pendiente de la curva esfuerzo-deformación unitaria del material.

Los resultados de este ensayo pueden usarse como dato de resistencia última a la compresión de la guadua para el diseño de estructuras.

Para este ensayo se utilizaron 12 probetas de 10cms de longitud, sin nudo.

PROBETA	INFERIOR				SUPERIOR				AREA (mm ²)
	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)	
1	80	81	55	54	81	84	53	56	2884,0
2	82	80	55	55	82	83	53	52	2979,8
3	82	83	58	55	81	80	59	57	2642,6
4	80	80	58	57	85	86	43	43	3394,9
5	81	83	49	50	79	80	54	56	2977,1
6	79	80	55	58	83	85	49	52	3000,9
7	82	86	60	59	81	82	57	60	2644,1
8	82	80	60	56	86	84	43	39	3486,2
9	99	100	73	72	105	104	58	53	4954,3
10	101	101	72	72	107	105	56	52	5296,1
11	103	101	71	70	106	103	51	49	5521,8
12	101	100	74	71	106	106	46	45	5638,8

Tabla 24. Determinación de áreas de la sección transversal a compresión

En la tabla 24 analizamos el área total de cada probeta, y en la tabla 25 el porcentaje de humedad.

PROBETA	PESO (%)		HUMEDAD (%)
	Hum(g)	Sec(g)	
1	290	172	69%
2	301	175	72%
3	275	165	67%
4	300	172	74%
5	323	190	70%
6	296	173	71%
7	296	159	86%
8	305	167	83%
9	415	238	74%
10	468	257	82%
11	506	266	90%
12	445	347	28%

Tabla 25. Porcentaje de contenido de humedad

Para la realización de este ensayo se han reportado los resultados de aplicar carga a las probetas con deformación controlada, tabla 26.

Δ (mm)	PROBETA (KN)											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	1,80	1,20	0,94	0,89	9,50	0,84	1,60	1,19	1,02	0,82	0,65	1,17
20	2,80	3,20	1,07	0,94	14,60	0,99	3,10	1,63	1,03	1,06	0,85	1,25
30	3,70	4,90	1,27	1,03	24,30	1,02	4,20	1,89	1,04	1,25	1,03	1,75
40	6,20	7,80	1,56	1,10	39,00	1,14	5,10	2,48	1,03	1,73	2,22	1,91
50	10,20	13,90	2,22	1,15	56,20	1,28	6,40	2,79	1,02	2,29	3,34	2,08
60	18,80	20,20	3,12	1,22	77,80	1,78	7,70	3,00	1,25	2,87	4,25	2,65
70	36,20	27,20	4,02	1,46	97,30	2,23	9,50	3,45	1,58	3,12	9,22	3,62
80	52,00	34,30	5,91	1,79	104,00	2,95	12,90	3,92	2,03	3,63	20,00	7,28
90	66,20	44,20	7,45	2,22	FALLA	3,29	15,90	4,62	2,48	4,29	59,20	36,40
100	80,30	54,60	9,42	2,93		4,52	24,50	5,79	2,88	5,31	89,00	81,20
110	91,20	63,20	10,20	3,85		5,60	64,10	7,25	3,53	5,97	#####	113,00
120	99,30	70,10	12,50	4,90		28,20	93,20	99,00	4,24	6,72	FALLA	114,20
130	103,10	76,00	17,20	6,52		44,20	99,20	12,20	5,09	9,52		115,00
140	FALLA	83,10	24,30	8,32		FALLA	101,80	22,30	6,42	10,70		116,20
150		87,20	29,20	10,20			FALLA	29,00	7,85	11,60		117,20
160		91,30	37,40	17,90				45,20	9,72	12,20		FALLA
170		94,00	45,20	31,30				66,20	11,20	12,60		
180		98,00	53,10	41,40				94,00	15,90	12,80		
190		100,00	62,30	59,40				109,40	22,30	13,00		
200		FALLA	71,30	71,30				111,50	49,00	17,80		
210			83,40	80,20				112,30	72,00	18,60		
220			86,40	87,30				112,40	96,20	21,50		
230			FALLA	91,50				FALLA	120,20	44,80		
240				95,30					127,20	56,70		
250				98,00					131,70	62,80		
260				100,30					133,50	75,80		
270				FALLA					134,20	83,20		
280									FALLA	100,50		
290										105,80		

Tabla 26. Carga con deformación controlada ensayo de compresión paralela a la fibra

A continuación se muestran todos los resultados obtenidos:

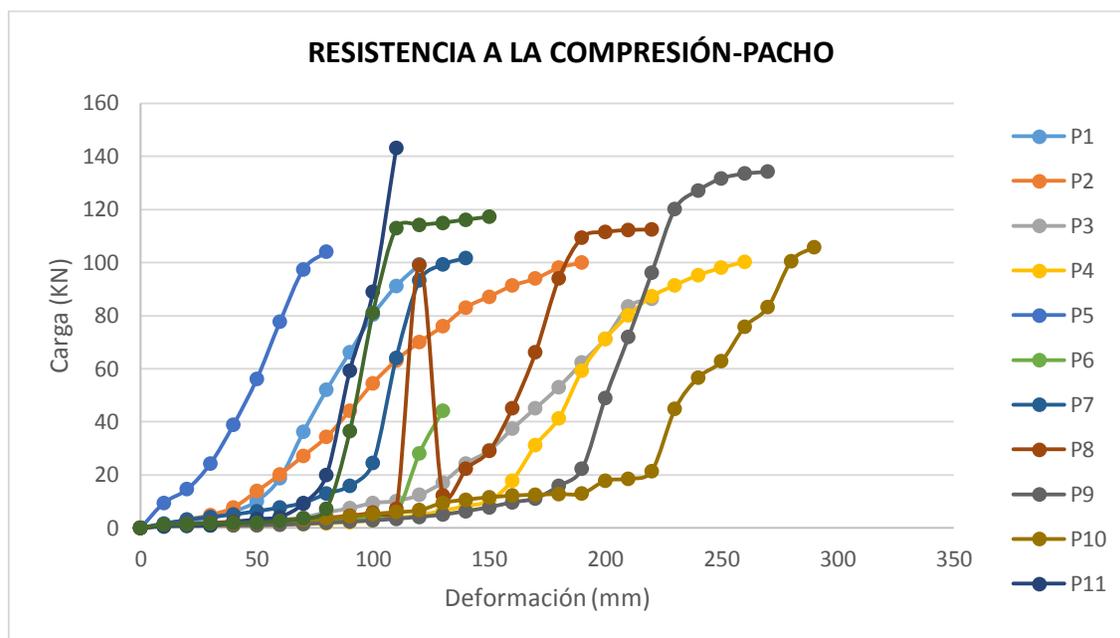


Figura 50. Relación carga Vs deformación ensayo de compresión paralela a la fibra

En la figura 50, se puede observar que los especímenes poseen aproximadamente tres pendientes.

Igualmente se puede calcular la resistencia a la compresión antes de que ocurra la gran fluencia de los especímenes es: **$R_c = 17\text{KN}$**

También puede observarse que para valores de carga menores a aproximadamente **15KN** se obtiene un primer módulo de elasticidad, después se pasa a otro modulo mucho mayor.

No se puede obtener un valor de deformación para los puntos anteriores porque hay una alta variabilidad. La deformación más allá del punto que se ha considerado de carga máxima igualmente posee alta variabilidad, por tanto tampoco se tendrá en cuenta este valor debido a que la ductilidad de la guadua es muy baja comparada con otros materiales.

A pesar que se muestran dos resultados de módulo de elasticidad y los valores de la primera pendiente se presentan para cargas muy bajas, es muy importante para diseño este parámetro porque significa la primera elasticidad de la estructura, igualmente más adelante es un poco mayor por eso se toma este valor hasta aproximadamente **15KN** de carga. Figuras 51 y 52.

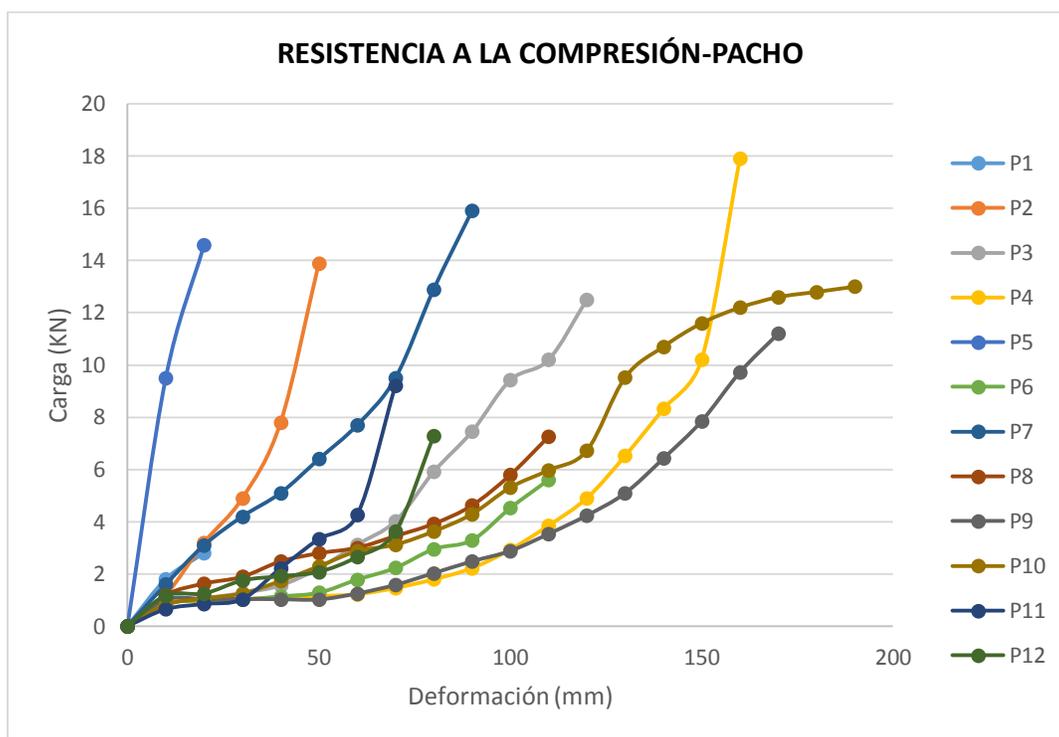


Figura 51. Resistencia a la compresión paralela a la fibra

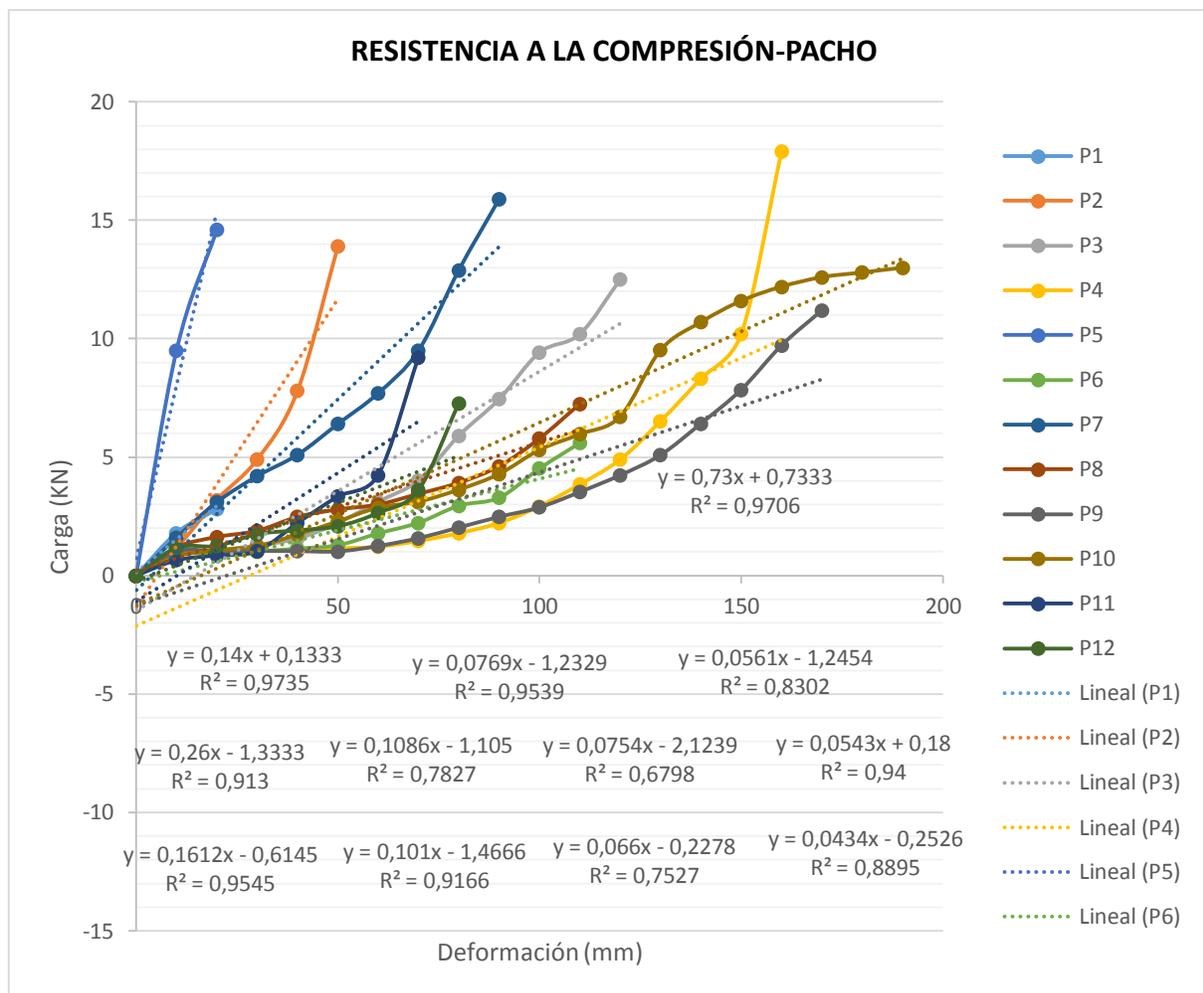


Figura 52. Determinación del módulo de elasticidad ensayo de compresión paralela a la fibra

PROB.	m	R2	E(Mpa)
1	0,054	0,94	1872,4
2	0,26	0,913	8725,4
3	0,109	0,974	4124,7
4	0,056	0,83	1649,5
5	0,73	0,971	24520,8
6	0,067	0,752	2232,7
7	0,1612	0,9545	6096,6
8	0,077	0,95	2208,7
9	0,043	0,89	867,9
10	0,075	0,68	1416,1
11	0,14	0,974	2535,4
12	0,1	0,917	1773,4

Tabla 27. Funciones y coeficientes de correlación

Módulo de elasticidad mínimo \longrightarrow **$E_{min} = 4835,3 \text{ Mpa}$**

Resistencia a la compresión \longrightarrow **$R_c = 17 \text{ Mpa}$**

Análisis de resultados

Al llegar a la carga de falla las probetas desarrollaron los siguientes sistemas de

Falla:

- Aplastamiento.

- Corte.

El sistema de falla para las probetas de ensayo a compresión paralela a la fibra, muestran un porcentaje alto en la falla por aplastamiento, sin embargo la falla por corte tiene un porcentaje significativo en las muestras, figura 53.

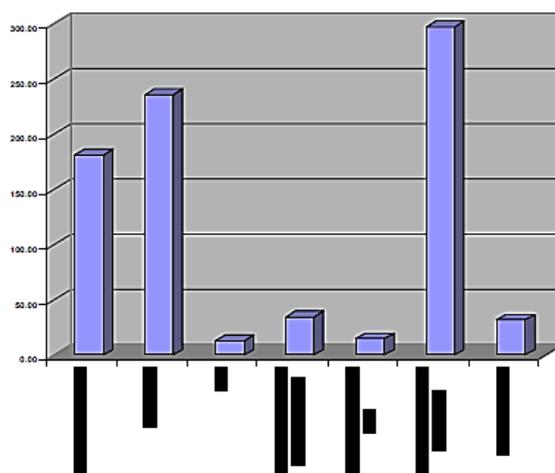


Figura 53. Porcentaje de falla en ensayo a compresión



Figura 54. Falla por corte



Figura 55. Falla por aplastamiento

Como podemos apreciar en la figura 54 la falla por corte se presenta en el intermedio de la probeta, mientras que la falla por aplastamiento se da en los tramos inferior y superior, figura 55.

- La presencia de fisuras en las probetas genera una disminución en la resistencia a compresión del 0.75% del valor promedio. Cabe anotar que en algunos lugares no se presentó disminución en la resistencia sino un leve aumento.
- La presencia de fisuras en las probetas genera una disminución del valor del módulo en un 3.4% del valor promedio.
- En las gráficas esfuerzo deformación se puede identificar una zona lineal o elástica en la cual existe proporcionalidad de cargas y deformaciones y una zona curva o plástica donde no se cumple dicha proporcionalidad.
- En este ensayo de compresión paralela tenemos una resistencia final a la compresión de **Rc = 17 Mpa**, y un módulo de elasticidad mínimo de: **Emin = 4835,3 Mpa**

13. ENSAYO DE CORTE PARALELO ZONA PACHO CON NUDO (V_n), Y SIN NUDO (V)

Este ensayo permite determinar la resistencia al corte de especímenes de guadua.

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros a una velocidad de carga prescrita hasta que se presente la falla, en el cual se utiliza el dispositivo de corte.

La resistencia al corte del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo entre el área de la sección longitudinal del material.

Los resultados de este ensayo pueden usarse como dato de resistencia última al corte de guadua para el diseño de estructuras. Para este ensayo se utilizaron 12 probetas con nudo, (V_n) y 12 probetas sin nudo (V), para un total de 24 probetas.

PROBETA	INFERIOR				SUPERIOR				AREA (mm ²)	CARGA (KN)
	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)		
1	78	80	59	59	79	78	58	59	4000,0	31
2	79	79	60	62	77	79	60	63	3450,0	20
3	84	86	63	66	84	88	62	66	4250,0	29
4	82	85	61	64	81	82	61	63	4050,0	27
5	80	80	62	62	80	80	62	62	3600,0	26
6	87	89	63	64	88	89	63	66	4850,0	24
7	89	90	63	67	87	88	66	66	4600,0	28
8	89	87	64	61	89	88	64	62	5100,0	45
9	88	86	66	62	88	85	67	63	4450,0	31
10	88	90	65	66	90	89	65	65	4800,0	27
11	88	90	64	67	89	92	64	68	4800,0	38
12	90	92	57	60	89	91	60	63	6100,0	36
13	88	90	66	65	92	94	61	63	5450,0	33
14	98	98	73	74	100	100	69	72	5400,0	29,5
15	99	98	74	73	100,2	100,1	74	73	5165,0	40,2

Tabla 28. Determinación de áreas de la sección transversal a corte, ensayo corte paralelo con nudo

Longitud (mm) = 100

La deformación para este ensayo no se ha registrado porque la falla es frágil, tabla 29.

PROBETA	PESO (%)		HUMEDAD	ESF. DE CORTE
	Hum(g)	Sec(g)	(%)	(Mpa)
1	319	187	71%	7,750
2	278	166	67%	5,797
3	352	204	73%	6,824
4	314	179	75%	6,667
5	298	180	66%	7,222
6	336	197	71%	4,948
7	343	196	75%	6,087
8	410	232	77%	8,824
9	372	214	74%	6,966
10	284	171	66%	5,625
11	415	238	74%	7,917
12	502	562	-11%	5,902
13	417	236	77%	6,055
14	367	209	76%	5,463
15	412	234	76%	7,783
	PROMEDIO		67%	6,655

Tabla 29. Resistencia al corte con relación a la humedad, ensayo corte paralelo con nudo

Por tanto podemos escoger la resistencia al corte (promedio) como:

Rcorte = 6,655 Mpa

Pero debido a la naturaleza de la falla al corte (frágil), se escoge el valor mínimo:

Rmin = 4,948 Mpa

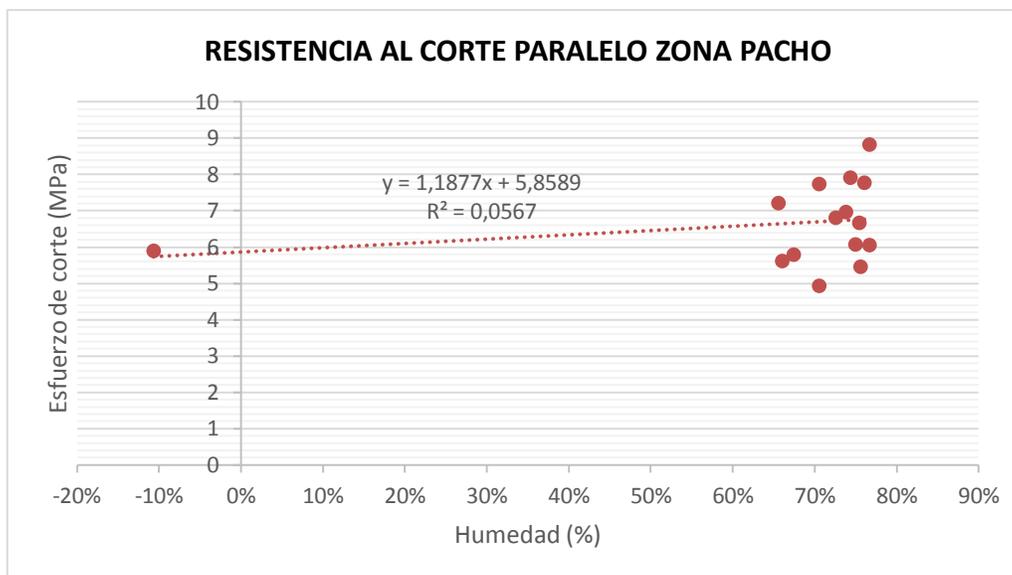


Figura 56. Resistencia al corte Vs humedad, ensayo corte paralelo con nudo.

Se puede observar en la figura 56, que entre más húmeda este la guadua, menor es su resistencia al corte. Dado que la humedad es un valor que en las construcciones no es tan fácil de controlar, se escoge el valor mínimo como la resistencia al corte.

PROBETA	INFERIOR				SUPERIOR				AREA (mm ²)	CARGA (KN)
	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)		
1	82	84	59	62	84	82	63	63	4250,0	26
2	79	80	60	62	78	78	58	61	3700,0	17
3	85	87	62	64	85	84	62	66	4350,0	37
4	82	81	59	61	82	80	58	62	4250,0	30
5	81	82	61	63	80	81	61	63	3800,0	31
6	86	86	64	61	84	82	65	63	4250,0	29
7	85	85	60	59	82	85	61	65	4600,0	37
8	89	91	59	61	86	90	61	62	5650,0	33
9	82	89	60	60	84	89	61	62	5050,0	32
10	83	81	57	54	80	80	61	62	4500,0	38
11	89	91	61	63	89	88	64	62	5350,0	38
12	94	96	60	64	92	94	62	61	6450,0	49
13	93	96	65	61	91	89	63	66	5700,0	35
14	89	86	66	64	86	98	64	66	4950,0	43
15	100,6	100,3	64	66	98	98	74	72	6045,0	32

Tabla 30. Determinación de áreas de la sección transversal a corte, ensayo corte paralelo sin nudo

Longitud (mm) = 100

La deformación para este ensayo no se ha registrado porque la falla es frágil, Tabla 31.

PROBETA	PESO (%)		HUMEDAD	ESF. DE CORTE
	Hum(g)	Sec(g)	(%)	(Mpa)
1	229	127	80%	6,118
2	212	135	57%	4,595
3	268	162	65%	8,506
4	256	152	68%	7,059
5	225	141	60%	8,158
6	307	177	73%	6,824
7	291	174	67%	8,043
8	320	180	78%	5,841
9	274	163	68%	6,337
10	303	176	72%	8,444
11	312	184	70%	7,103
12	379	218	74%	7,597
13	337	198	70%	6,140
14	378	221	71%	8,687
15	366	217	69%	5,294
PROMEDIO			70%	6,983

Tabla 31. Resistencia al corte con relación a la humedad, ensayo corte paralelo sin nudo

Por tanto podemos escoger la resistencia al corte (promedio) como:

R_{corte} = 6,983 Mpa

Pero debido a la naturaleza de la falla al corte (frágil), se escoge el valor mínimo:

R_{min} = 4,59 Mpa

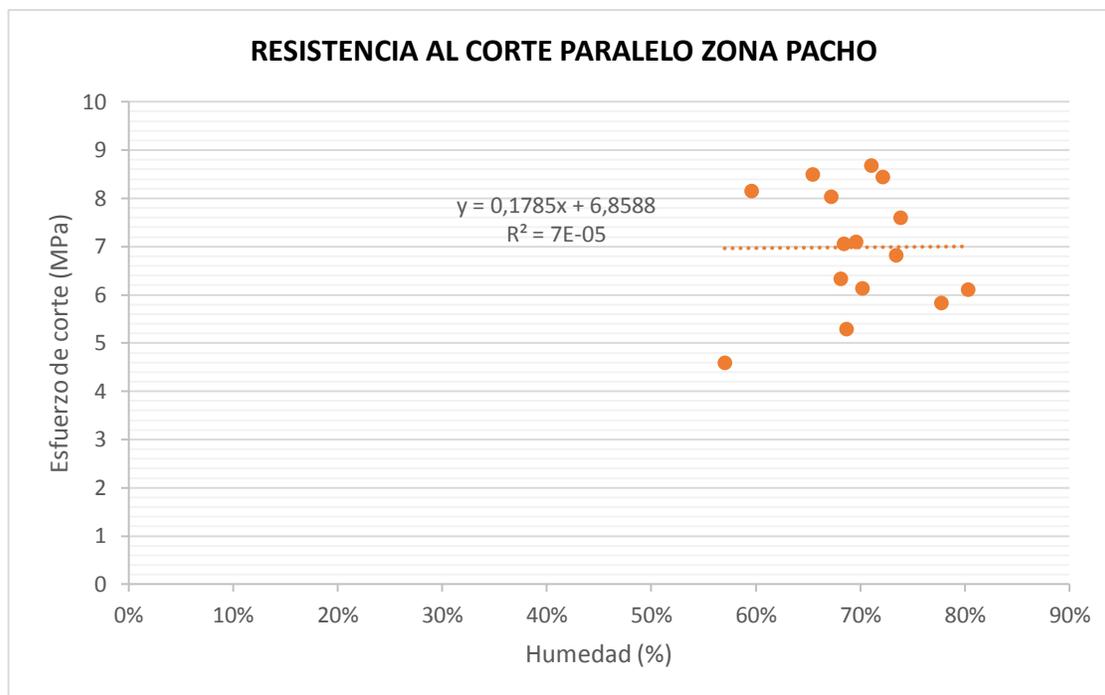


Figura 57. Resistencia al corte Vs humedad, ensayo corte paralelo sin nudo.

Se puede observar en la figura 57, que la resistencia por incluir los nudos se baja en un **7,2%** respecto a los que no incluyen nudos.

También se observa que al incluir los nudos, hay más variabilidad en los resultados obtenidos.

Análisis de resultados

El esfuerzo máximo a corte paralelo a la fibra se determinará:

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult} \text{ MPa}}{\Sigma(t \times L)}$$

Donde:

τ_{ult} = Esfuerzo a corte, con una aproximación de 0.1 MPa

F_{ult} =Carga máxima a la cual el espécimen falla, en N.

$\Sigma(t \times L)$ = Es la suma de los cuatro productos de t y L.

t = Espesor promedio de la probeta (cm)

L = Longitud de la probeta (cm)

Como podemos observar la resistencia al corte de las probetas de Pacho es mayor para la probeta sin nudo con una diferencia de : **0,328 Mpa**, y la resistencia minima es mayor para la probeta con nudo, ya que presenta una diferencia de: **0,35 Mpa**.

Con nudo R_{corte} = 6,655 Mpa \longrightarrow R_{min} = 4,94 Mpa

Sin nudo R_{corte} = 6,983 Mpa \longrightarrow R_{min} = 4,59 Mpa

14. ENSAYO A FLEXIÓN (F) ZONA PACHO

Este ensayo permite determinar la resistencia a la flexión de especímenes de guadua y su módulo de elasticidad.

El ensayo consiste en aplicar unas cargas puntuales a una distancia aproximada a los $L/3$ (donde se encuentre un nudo), a una velocidad de carga prescrita hasta que se presente la falla. La resistencia a flexión del espécimen se determina al encontrar el momento máximo generado para cada aplicación de carga y, con las cargas últimas los esfuerzos últimos a flexión. El módulo de elasticidad se obtiene de forma indirecta a partir de los ensayos de flexión elástica.

Los resultados de este ensayo pueden ser usados dependiendo el tipo de falla. Si la falla es debida al corte, entonces se pueden usar los datos de esfuerzo máximo a cortante. Si la falla es debida a la flexión los datos a utilizar son los de esfuerzo máximo a flexión. Si se presenta la falla por flexión entonces estos datos no pueden ser usados para el diseño de estructuras.

Para este ensayo se utilizaron 4 culmos de guadua de 3.00 mts de longitud, y se construyó un dispositivo metálico de montaje para realizar las pruebas.

PROBETA	INFERIOR				SUPERIOR				INERCIA (mm ⁴)
	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)	DE (mm)	DE (mm)	DI (mm)	DI (mm)	
1	97	94	54	55	77	78	54	55	2315049
2	81	80	55	55	79	78	56	54	1511646
3	78	80	53	53	80	79	56	55	1511102
4	79	81	52	53	79	79	52	53	1587914

Tabla 32. Resistencia a la flexión, ensayo de flexión.

Con los datos de la tabla 32, se realiza el calculo de la inercia promedio

$$\mathbf{I = 1731427,916 \text{ mm}^4}$$

$$\mathbf{L = 3,00 \text{ m}}$$

$$\mathbf{D = 81,188 \text{ m}}$$

				ESFUERZO POR FLEXIÓN (Mpa)			
P1(KN)	P2(KN)	P3(KN)	P4(KN)	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
2,4	2,48	2,33	2,2	8,43	8,72	8,19	7,73
2,66	2,55	2,43	2,49	9,35	8,96	8,54	8,75
2,85	2,67	2,57	2,7	10,02	9,38	9,03	9,49
3,04	2,75	2,76	2,81	10,68	9,66	9,70	9,88
3,22	2,84	2,96	2,98	11,32	9,98	10,40	10,47
3,4	2,88	3,1	3,12	11,95	10,12	10,89	10,96
3,56	3	3,24	3,27	12,51	10,54	11,39	11,49
3,75	3,1	3,4	3,43	13,18	10,89	11,95	12,05
3,89	3,17	3,59	3,57	13,67	11,14	12,62	12,55
4,05	3,22	3,68	3,69	14,23	11,32	12,93	12,97
4,22	3,42	3,83	3,83	14,83	12,02	13,46	13,46
4,4	3,54	3,98	3,94	15,46	12,44	13,99	13,85
4,57	3,66	4,12	4,12	16,06	12,86	14,48	14,48
4,74	3,73	4,22	4,24	16,66	13,11	14,83	14,90
4,91	3,79	4,42	4,31	17,26	13,32	15,53	15,15
5,1	3,9	4,59	4,54	17,92	13,71	16,13	15,95
5,25	4,35	4,69	4,69	18,45	15,29	16,48	16,48
5,42	4,44	4,87	4,81	19,05	15,60	17,11	16,90
5,57	4,59	5,01	4,95	19,57	16,13	17,61	17,40
5,75	4,72	5,14	5,09	20,21	16,59	18,06	17,89
5,92	4,81	5,31	5,1	20,80	16,90	18,66	17,92
6,07	4,86	5,44	5,35	21,33	17,08	19,12	18,80
6,25	4,95	5,6	5,47	21,96	17,40	19,68	19,22
6,42	5,04	5,74	5,49	22,56	17,71	20,17	19,29
6,6	5,12	5,91	5,77	23,19	17,99	20,77	20,28
6,75	5,25	6,05	5,86	23,72	18,45	21,26	20,59
6,92	5,3	6,29	6,01	24,32	18,63	22,10	21,12
7,1	5,32	6,4	6,17	24,95	18,70	22,49	21,68
7,27	5,47	6,47	6,35	25,55	19,22	22,74	22,32
7,44	5,55	6,66	6,49	26,15	19,50	23,40	22,81
7,65	5,64	6,8	6,65	26,88	19,82	23,90	23,37
7,79	5,73	6,94	6,83	27,38	20,14	24,39	24,00
7,97	5,83	7,08	7,01	28,01	20,49	24,88	24,63
8,12	5,92	7,28	7,15	28,54	20,80	25,58	25,13
8,35	6,03	7,37	7,27	29,34	21,19	25,90	25,55
8,48	6,11	7,51	7,43	29,80	21,47	26,39	26,11
8,63	6,2	7,65	7,63	30,33	21,79	26,88	26,81
8,81	6,27	7,77	7,72	30,96	22,03	27,31	27,13
8,99	6,37	7,93	7,82	31,59	22,39	27,87	27,48
9,19	6,44	8,05	7,94	32,30	22,63	28,29	27,90
9,34	6,5	8,18	8,06	32,82	22,84	28,75	28,32
9,52	6,56	8,32	8,15	33,46	23,05	29,24	28,64
9,68	6,6	8,41	8,26	34,02	23,19	29,55	29,03
9,83	6,67	8,58	8,33	34,55	23,44	30,15	29,27
10,03	6,72	8,65	8,39	35,25	23,62	30,40	29,48
10,17	6,79	8,75	8,41	35,74	23,86	30,75	29,55
10,33	6,8	8,86	8,44	36,30	23,90	31,14	29,66
10,49	6,85	8,94	8,43	36,86	24,07	31,42	29,63
10,65	6,86	9,05	FALLA	37,43	24,11	31,80	
10,88	6,92	9,13		38,24	24,32	32,09	
11	6,96	9,24		38,66	24,46	32,47	
11,15	7	9,33		39,18	24,60	32,79	
11,36	7,06	9,39		39,92	24,81	33,00	
11,48	7,1	9,46		40,34	24,95	33,24	
11,65	7,14	9,52		40,94	25,09	33,46	
11,79	7,24	9,6		41,43	25,44	33,74	
11,9	7,27	9,65		41,82	25,55	33,91	
12,05	7,35	9,68		42,35	25,83	34,02	
12,18	7,39	9,74		42,80	25,97	34,23	
12,31	7,43	9,81		43,26	26,11	34,47	
12,42	7,46	9,88		43,65	26,22	34,72	

12,55	7,49	9,92		44,10	26,32	34,86	
12,65	7,51	9,96		44,46	26,39	35,00	
12,75	7,54	9,99		44,81	26,50	35,11	
12,87	7,57	10,04		45,23	26,60	35,28	
12,97	FALLA	10,1		45,58		35,49	
13,06		10,16		45,90		35,70	
13,12		10,2		46,11		35,85	
13,21		10,26		46,42		36,06	
13,33		10,29		46,85		36,16	
13,4		10,33		47,09		36,30	
13,49		10,36		47,41		36,41	
13,5		10,38		47,44		36,48	
13,64		FALLA		47,93			
13,75				48,32			
13,8				48,50			
13,85				48,67			
13,92				48,92			
13,98				49,13			
14,04				49,34			
14,08				49,48			
14,11				49,59			
14,19				49,87			
14,23				50,01			
14,32				50,32			
14,39				50,57			
14,46				50,82			
14,52				51,03			
14,58				51,24			
14,62				51,38			
14,67				51,55			
14,73				51,77			
14,78				51,94			
14,82				52,08			
14,88				52,29			
14,91				52,40			
14,96				52,57			
15,01				52,75			
FALLA							

Tabla 33. Relación carga Vs deformación, esfuerzo por flexión

Podemos calcular el valor del esfuerzo por flexión como el mínimo de los anteriores:

Rflexion = **29,63 Mpa**

	HUMEDAD (%)			
	P1	P2	P3	P4
Húmedo	120	153	403	169
Seco	72	102	239	114
Hum (%)	66,7%	50,0%	68,6%	48,2%
Esf. (Mpa)	52,75	26,60	36,48	29,63

Tabla 34. Esfuerzo con relación a la humedad

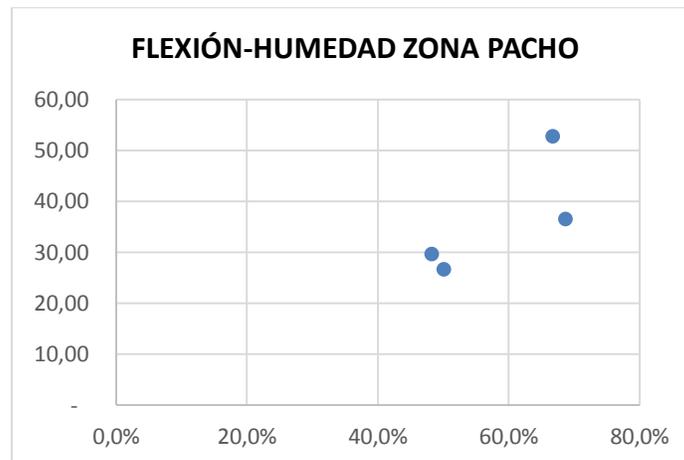


Figura 58. Gráfica relación, flexión-humedad

Análisis de resultados

El esfuerzo de flexión y de corte para la carga última se determinó siguiendo la fórmula:

Dónde:

$$\sigma = \frac{32MD_1}{\pi(D_1^4 - (D_1 - 2t)^4)} \quad \tau = \frac{VQ}{Ib} = \frac{4V}{3A}$$

σ = Esfuerzo a flexión último, con una aproximación de 0.5 MPa

τ = Esfuerzo a corte último, con una aproximación de 0.5 MPa

M = Momento máximo para cada aplicación de carga. Determinado por medio de un análisis elástico de una viga estáticamente determinada.

D1 = Diámetro exterior promedio (teniendo en cuenta ambos extremos de la probeta)

t = Espesor promedio (mm)

V = Fuerza cortante máxima

A = Área de la sección transversal (cm²).

Inercia	Longitud culmo	Resistencia flexión	% Esfuerzo máximo
I= 1731427,916 mm ⁴	3.00 mts	29,63 Mpa	36.365 Mpa

Tabla 35. Resultados del ensayo de flexión

Esta distribución aunque da una idea del comportamiento del material ante este tipo de sollicitación mecánica, frente a una acotada diferencia entre contenidos de humedad, no se podría tomar como una tendencia definitiva, ya que por un lado el número de muestras es limitado (4), en segundo lugar, el rango de contenidos de humedad es pequeño, aunque se encuentra en rango de diseño.

Para llegar a una conclusión más especializada hacen falta trabajos en donde no sólo se considere el contenido de humedad sino los tipos de falla para definir con mayor certeza el comportamiento de este material ante este requerimiento mecánico, tabla 27.

El tipo de falla más común que se presentó en el ensayo a flexión, fue la falla por corte, Este tipo de falla fue la más representativa en los ensayos, (figura 59, 60)

La falla se presentó en el centroide y con dirección del centro del elemento hacia fuera.



Figura 59. Falla por corte en ensayo a flexión



Figura 60. La falla por corte se presentó en el centro del culmo

15. ENSAYO A TENSIÓN ZONA PACHO (T)

Determinación de la resistencia última a la tensión, paralela a las fibras, aplicando una carga gradualmente creciente sobre la probeta.

La guadua es un material compuesto, que indica que es un material formado por fibras que se encuentran dentro de una determinada matriz. Las fibras son las encargadas de otorgarle la resistencia mecánica a la guadua, mientras que la matriz se encarga de darle cohesión a esas fibras.

Un cuerpo es sometido a esfuerzos de tensión cuando se aplican cargas contrarias aplicadas axialmente (figura 61), lo que genera un estiramiento del elemento hasta causar su fractura.



Figura 61. Esquema de ensayo de tensión en probetas de guadua.

La normatividad empleada en la realización de estos ensayos es la norma **NTC – 5525**, esta establece el procedimiento que se debe seguir para realizar ensayos de tensión en probetas de guadua las cuales deben tener las siguientes dimensiones. Figura 62.

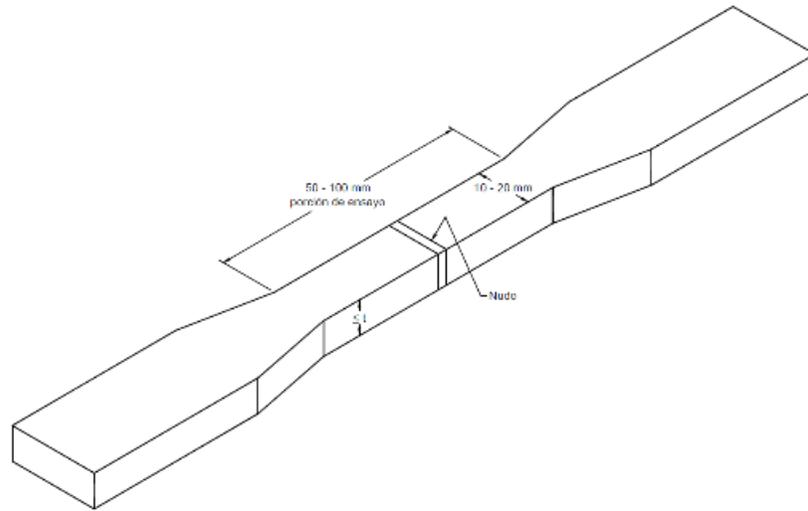


Figura 62. Dimensiones de la probetas de ensayos.
Fuente norma NTC – 5525. ICONTEC

Las muestras deben ser representativas de la fuente de la cual se extrae.

Las siguientes son las muestras que se emplearon para los ensayos de tensión zona Sylvania.



Figura 63. Probetas para ensayo a Tensión zona Pacho.

Metodología:

Se miden las dimensiones de la sección transversal de la porción de ensayo de la probeta.

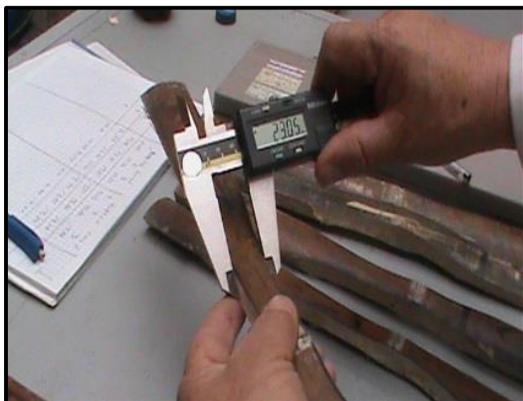


Figura 64. Determinación del ancho de la probeta para tensión



Figura 65. Determinación del grosor de la probeta para tensión

Para los ensayos se obtuvieron las siguientes medidas de la sección trasversal de la probeta.

PROBETA N°	ANCHO (mm)			ESPESOR (mm)			ÁREA SECCIÓN TRANSVERSAL (mm ²)
	1	2	3	1	2	3	
TP-1	20.96	20.61	21.24	13.34	15.36	12.33	286.3
TP-2	26.12	21.64	24.07	12.66	12.28	13.91	310.1
TP-3	23.15	22.82	22.80	14.15	16.16	13.32	333.3
TP-4	21.87	20.15	20.89	10.37	14.84	12.90	266.4
TP-5	20.81	20.98	22.47	12.26	14.10	12.72	279.0
TP-6	20.24	21.11	21.92	14.11	19.22	12.36	321.1
TP-7	21.36	21.31	22.50	12.62	18.73	11.75	312.0

Tabla 36. Toma de datos probetas para ensayo a tensión

- Se toman tres dimensiones de su ancho y tres dimensiones de su espesor para obtener el promedio respectivo, con el promedio se determina el área de la sección transversal de la probeta.
- Para el ensayo se emplearon 9 probetas las cuales se les adecuó dos galgas extensométricas, (figura 66) las cuales determinan la deformación que está sufriendo la guadua mientras sufre esfuerzos a tensión, basándose en variaciones eléctricas.



Figura 66. Pegado de las galgas extensométricas

Resultados obtenidos

De los ensayos de tensión se obtienen los siguientes resultados:

Determinación de la resistencia a la tensión y módulo de elasticidad: tabla 21.

PROBETA N°	ÁREA SECCIÓN TRANSVERSAL (mm ²)	RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN (MPa)	RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN PROMEDIO(MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)
TP-1	286.3	126.8	114.4	13567.0
TP-2	310.1	95.2		
TP-3	333.3	99.5		
TP-4	266.4	134.9		
TP-5	279.0	111.0		
TP-6	321.1	95.1		
TP-7	312.0	138.5		

Tabla 37. Determinación de la resistencia a la tensión y módulo de elasticidad.

Se calcula la resistencia a la tensión dividiendo la carga máxima aplicada tomada de la serie de datos en los archivos anexos y dividiéndola por el área de la sección transversal.

$$\text{esfuerzo normal a tensión, } \sigma = \frac{\text{carga aplicada}}{\text{área del elemento}} = \frac{P}{A}$$

Para la obtención del módulo de elasticidad el cual se obtiene gracias a las galgas empleadas en los primeros ensayos; se obtiene mediante el siguiente gráfico.

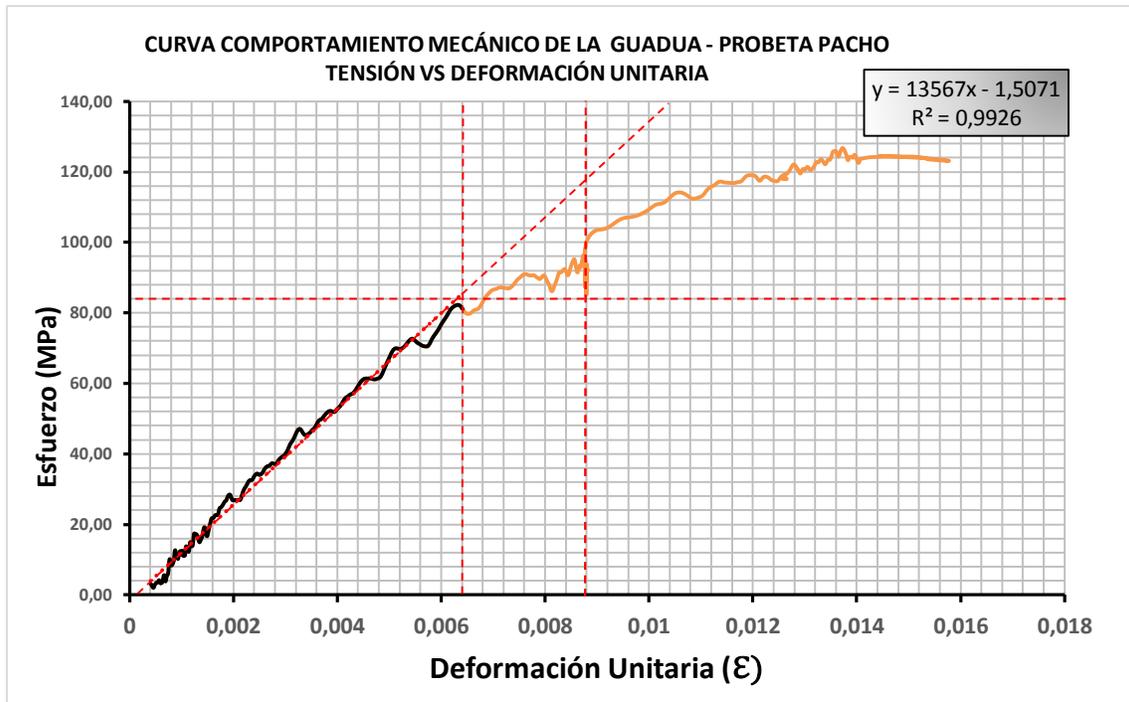


Figura 67. Gráfica para la determinación del módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad es el valor que toma la pendiente de la zona elástica, es decir la zona donde la deformación es proporcional al aumento de esfuerzos a tensión.

Las fallas presentadas en las probetas se generaron en su totalidad por el nudo, (figura 68), el cual de acuerdo a la **NTC 5525**, debe ir en el centro de la probeta.



Figura 68. Fallas presentadas en las probetas de ensayo a tensión

Análisis de resultados

Como se puede observar en los ensayos realizados en el laboratorio a las muestras de guadua de la zona de Pacho, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados a ensayos realizados en las mismas condiciones relativas de temperatura, humedad, aplicación de carga y ambiente.

Para los ensayos realizados a las muestras de Pacho, se obtuvo una resistencia promedio de **114.4 MPa** y un módulo de elasticidad de **13567.0 MPa**.

Lo que indica que las probetas de la zona de Pacho Cundinamarca, tienen una resistencia a la tensión y un módulo de elasticidad muy cercanos a la norma **NSR**

PROBETA N°	ANCHO (mm)			ESPESOR (mm)			ÁREA SECCIÓN TRANSVERSAL (mm ²)	RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN (MPa)
	1	2	3	1	2	3		
TP-1	20,96	20,61	21,24	13,34	15,36	12,33	286,3	126,8
TP-2	26,12	21,64	24,07	12,66	12,28	13,91	310,1	95,2
TP-3	23,15	22,82	22,80	14,15	16,16	13,32	333,3	99,5
TP-4	21,87	20,15	20,89	10,37	14,84	12,90	266,4	134,9
TP-5	20,81	20,98	22,47	12,26	14,10	12,72	279,0	111,0
TP-6	20,24	21,11	21,92	14,11	19,22	12,36	321,1	95,1
TP-7	21,36	21,31	22,50	12,62	18,73	11,75	312,0	138,5

RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN PROMEDIO(MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN (MPa)	RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN (MPa)	RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN (MPa)
114,4	13567,0	112,0	103,5	8,2
		108,3	99,9	8,4
		127,4	116,3	9,5
		109,6	101,4	8,1
		146,1	133,3	9,6
		130,3	120,3	8,3
		150,9	139,7	8,0

Tabla 38. Resumen de datos generados en los ensayos a tensión zona Pacho

Datos finales de los ensayos con la guadua de Pacho Cundinamarca

ENSAYO	RESISTENCIA Mpa	NSR 10 Mpa
Compresión	17	14
Corte sin nudos	4,59	1,2
Corte con nudos	4,94	1,2
Flexión	29,63	15
Tensión	114.4	18

Tabla 39. Datos finales de ensayos en las probetas de Silvania Cundinamarca

Se puede observar que los resultados son muy cercanos, se observan los factores de seguridad que se obtienen respecto a los recomendados por la **NSR**.

Lo anterior puede validar los resultados de la **NSR** y además validar los resultados de la resistencia al cortante y flexión con respecto a la resistencia a la compresión.

Las siguientes relaciones se hacen independientes de la humedad por su variabilidad.

R_c = Esfuerzo de compresión

R_v = Esfuerzo de cortante **$R_v = 0.25R_c$**

R_f = Esfuerzo de flexión **$R_f = 1.75R_c$**

CONCLUSIONES

Luego de realizar 60 ensayos de corte paralelo con nudo y sin nudo, 24 ensayos de compresión paralela, 24 ensayos de tensión paralela y 8 ensayos de flexión de 3 secciones de la guadua y 2 orígenes diferentes, se concluye que:

Corte paralelo con nudo y sin nudo

En el ensayo de corte paralelo sin nudo la guadua de Silvania tiene una resistencia al corte de **4,15 Mpa**, en comparación con la guadua de Pacho que tiene una resistencia al corte de **4,59 Mpa**, y en el ensayo de corte paralelo con nudo, la guadua de Silvania tiene una resistencia al corte de **4,74 Mpa**, en comparación con la guadua de Pacho que tiene una resistencia al corte con nudo de **4,95 Mpa**, según la Norma Sismo resistente **NSR 10 en su capítulo G 12.7.3, “Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad”**, en la tabla **G.12.7-1**, tiene como nivel mínimo de resistencia **1,2 Mpa**, tanto para la guadua con nudo como sin nudo, lo que indica que tanto la guadua de Silvania como la guadua de Pacho Cundinamarca, cumplen con el requisito de resistencia primordial para ser utilizado como material estructural.

Compresión Paralela

En el ensayo de compresión paralela a la fibra la guadua de Silvania tiene una resistencia de **25 Mpa**, en comparación con la guadua de Pacho que tiene una resistencia de **17 Mpa**, según la Norma Sismo resistente **NSR 10 en su capítulo G 12.7.3, “Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad”**, en la tabla **G.12.7-1**, tiene como nivel mínimo de resistencia **14 Mpa**, lo que indica que tanto la guadua de Silvania como la guadua de Pacho Cundinamarca, cumplen con el requisito de resistencia primordial para ser utilizado como material estructural.

Tensión paralela

En el ensayo de tensión paralela a la fibra la guadua de Silvania tiene una resistencia de **95.1 MPa** y un módulo de elasticidad de **10186 MPa**, en comparación con la guadua de Pacho que tiene una resistencia de **114.4 MPa** y un módulo de elasticidad de **13567.0 MPa**.

Según la Norma Sismo resistente **NSR 10** en su capítulo **G 12.7.3**, "*Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad*", en la tabla **G.12.7-1**, tiene como nivel mínimo de resistencia **18 Mpa**, y un módulo de elasticidad mínima de **4.000 MPa** lo que indica que tanto la guadua de Silvania como la guadua de Pacho Cundinamarca, cumplen con el requisito de resistencia primordial para ser utilizado como material estructural.

Flexión

En el ensayo de flexión la guadua de Silvania tiene una resistencia de **27,14 Mpa**, en comparación con la guadua de Pacho que tiene una resistencia de **29,63 Mpa**, según la Norma Sismo resistente **NSR 10** en su capítulo **G 12.7.3**, "*Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad*", en la tabla **G.12.7-1**, tiene como nivel mínimo de resistencia **15 Mpa**, lo que indica que tanto la guadua de Silvania como la guadua de Pacho Cundinamarca, cumplen con el requisito de resistencia primordial para ser utilizado como material estructural.

ENSAYO	LUGAR DE ORIGEN	NÚMERO DE ENSAYOS	RESISTENCIA Mpa	% DE HUMEDAD	NSR 10
Corte sin nudo V	Pacho	15	4,59	70	1,2
	Silvania	15	4,15	71	
Corte con nudo Vn	Pacho	15	4,95	67	1,2
	Silvania	15	4,74	81	
Compresión C	Pacho	12	17	76	14
	Silvania	12	25	78	
Tensión T	Pacho	12	114,4	35	18
	Silvania	12	95,1	43	
Flexión F	Pacho	4	29,63	42	15
	Silvania	4	22,07	50	

Tabla 40. Comparativo de los ensayos de las dos zonas

Referente a la información anterior podemos agregar:

- De acuerdo a los datos que generaron los ensayos, la guadua de Silvania y Pacho Cundinamarca si cumplen con los requisitos establecidos en las normas NSR 10, y NTC 5525, para ser utilizada como material estructural.
- Los objetivos propuestos al inicio de esta investigación se cumplen en su totalidad, debido a que se determinaron mediante ensayos de laboratorio las propiedades físico-mecánicas de la guadua angustifolia Kunth de los municipios de Silvania y Pacho en Cundinamarca de acuerdo a la NTC 5525, con el fin de identificar sus características y rasgos importantes.
- La guadua de la zona de Pacho Cundinamarca tiene una mayor resistencia frente a la guadua de Silvania, ya que la guadua de Pacho presenta un 34,114 % de resistencia en todos los ensayos, frente a un 31.226 % de resistencia de la guadua de Silvania en igual número de ensayos
- Comparando el comportamiento del material en las tres partes del culmo de la guadua, la Cepa es la parte que mayor carga de aplicación soporta, pero la que menor esfuerzo último a compresión resiste, eso se debe a que presenta una menor cantidad de fibras por área, mientras que la Sobrebasa y la Basa presentan un comportamiento muy similar, siendo la Sobrebasa la que mayor esfuerzo soporta, porque la carga de aplicación es distribuida en una menor área.

- Se puede observar que entre más húmeda este la guadua, mayor es su resistencia al corte. Dado que la humedad es un valor que en las construcciones no es tan fácil de controlar, se escoge el valor mínimo como la resistencia al corte.
- En el ensayo de corte paralelo sin nudo se pudo observar que la resistencia por incluir los nudos se baja en un 7,2% respecto a los que no incluyen nudos. También se observa que al incluir los nudos, hay más variabilidad en los resultados obtenidos.

RECOMENDACIONES

- El corte y aprovechamiento de la guadua, se debe realizar con la asesoría de personal capacitado; al mismo tiempo se recomienda dejar el material cortado de forma vertical, facilitando la pérdida de humedad (avinagramiento), la cual ayuda a reducir el ataque de insectos y disminuye los costos del transporte del material.
- La precisión de los equipos y dispositivos es de suma importancia para la caracterización física de las probetas.
- La utilización de comparadores de carátula mecánico, implica que la lectura de datos sea poco confiable y a su vez el montaje del equipo es más dispendioso. El uso de deformímetros eléctricos es el más adecuado para determinar el módulo de elasticidad, debido a la precisión de la lectura y toma de datos, a su vez aumentan los costos del proyecto.
- Un estudio completo de las propiedades físicas y químicas de suelo permitiría inferir con mayor precisión que variables producen mayores efectos significativos sobre la resistencia de un material natural como la guadua.
- La selección tanto de los sitios de muestreo como de cada uno de los individuos o unidades experimentales, en este caso culmos de guadua angustifolia, debe ser aleatoria para garantizar la representatividad de los datos y la veracidad de la información obtenida.

- Se recomienda llevar lo más pronto posible las probetas a los ensayos, luego de ser cortadas y preparadas para ser falladas, debido a que estas se van fisurando; esto se evidenció con mayor frecuencia en las que presentan diámetro mayor (Cepas) y la probeta tiene que ser descartada y en caso de que se usen fisuradas al momento de ser ensayadas van a presentar disminuciones en los valores de resistencia.
- Se recomienda elaborar, en una futura investigación, la Tabla para *Guadua angustifolia* Kunth para determinar los contenidos de humedad de equilibrio de las ciudades más representativas de Colombia en este tema, homóloga a la de la madera.
- Realizar más investigaciones sobre la *guadua angustifolia*, aunque existen varios trabajos relacionados con las características mecánicas y físicas, aún falta explorar muchos temas de interés que presenta este material.

BIBLIOGRAFÍA

ARDILA P., César. Determinación de los valores de esfuerzos admisibles del bambú *Guadua angustifolia* Kunth del departamento de Tolima, Colombia. Tesis de maestría en Construcción. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Facultad de Artes. Proyecto Arquitectónico y de Producto. 2013.

CAPERA O., Andrés y ERAZO E., 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. Universidad sur colombiana. Sede Neiva. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agrícola. 2012.

CASTRILLÓN V., Brigitte y MALAVER Z., Diego. Procedimientos de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la *guadua*. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Unidad de Estructuras. 2004.

Cely, L., Hernández, W., y Gutiérrez, O. (2012). Caracterización de la *Guadua Angustifolia* Kunth cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10. Pdf. Revista Facultad de Ingeniería, UPTC, Julio-Diciembre de 2012, Vol. 21, No. 33. Recuperado en: <http://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/view/2118/2081>

ESTACIÓN BAMBUSA. Pacho Cundinamarca. Recuperado en: <http://www.fundacionyarumo.org/>

GONZÁLEZ A., Juan y LEGUIZAMÓN R., Yesenia. Determinación de la resistencia a compresión paralela a la fibra de la *guadua angustifolia* Kunth en función del contenido de humedad. Trabajo de grado. Universidad la gran Colombia. Sede Bogotá. Facultad de Ingeniería civil. Línea de investigación estructuras. Sublínea de investigación de materiales. 2012.

GUADUA BAMBU COLOMBIA. Fontibón Bogotá. Recuperado en:

<http://guaduabambucolombia.com/>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Normas Técnicas Colombianas. Bogotá, ICONTEC, f.v. p.v.

PANTOJA T., Nelson y ACUÑA J., Diego. Resistencia al corte paralelo a la fibra de la guadua angustifolia. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Unidad de Estructuras. 2005.

TAKEUCHI T., Caori. Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Facultad de Ingeniería. 2014.

Vélez, S. 4. La guadua Angustifolia. “El Bambú Colombiano”. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia. Artículo Pdf. Recuperado el día 1 de noviembre de 2015 en: http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6130/06_ESD_Cos_pp_35_81.pdf?sequence=6

ANEXOS

Anexo 1. Caracterización de las probetas para ensayos

Caracterización de culmos de pacho Cundinamarca

Número de culmo	Numero entrenudos	Longitud	Diámetro Externo Tramo Inferior	Diámetro Interno Tramo inferior	Diámetro Externo Tramo Superior	Diámetro Interno Tramo Superior	Espesor de pared Tramo Inferior	Espesor de Pared Tramo Superior
1	10	8.0 mts	AB= 9.9 cm CD= 10 cm	AB= 7.3 cm CD= 7.2 cm	AB= 7.3 cm CD= 7.2 cm	AB= 7.3 cm CD= 7.2 cm	A= 18 mm B= 12 mm C= 14 mm D= 13 mm	A=22 mm B= 29.6 mm C= 22.5 mm D= 31 mm
2	10	8.0 mts	AB= 10.1 cm CD= 10.1 cm	AB= 7.2 cm CD= 7.2 cm	AB= 10.7 cm CD= 10.5 cm	AB= 5.6 cm CD= 5.2 cm	A= 15 mm B= 13 mm C= 15 mm D= 15 mm	A= 24 mm B= 22.6 mm C= 24.4 mm D= 32 mm
3	11	8.1 mts	AB= 10.3 cm CD= 10.1 cm	AB= 7.1 cm CD= 7.0 cm	AB= 10.6 cm CD= 10.9 cm	AB= 5.1 cm CD= 4.9 cm	A= 16.3 mm B= 16 mm C= 17 mm D= 17 mm	A= 24 mm B= 28 mm C= 25 mm D= 35 mm
4	10	8.0 mts	AB= 10.1 cm CD= 10 cm	AB= 7.4 cm CD= 7.1 cm	AB= 10.6 cm CD= 10.6 cm	AB= 4.6 cm CD= 4.5 cm	A= 14 mm B= 13.3 mm C= 14.3 mm D= 14 mm	A= 25 mm B= 33 mm C= 36 mm D= 36 mm
5	10	8.1 mts	AB= 8.9 cm CD= 9.1 cm	AB=6.1 cm CD= 6.3 cm	AB= 8.9 cm CD= 8.8 cm	AB= 6.4 cm CD= 6.2 cm	A= 13.4 mm B= 14 mm C= 14 mm D= 14 mm	A= 13 mm B= 12 mm C= 12 mm D= 12 mm
6	9	8.0 mts	AB= 9.4 cm CD= 9.6 cm	AB= 6.0 cm CD= 6.4 cm	AB= 9.2 cm CD= 9.4 cm	AB= 6.2 cm CD= 6.1 cm	A= 15 mm B= 18 mm C= 16 mm D= 17.6 mm	A= 14.5 mm B= 15.5 mm C= 16.6mm D= 15.7mm
7	9	8.1 mts	AB= 9.3 cm CD= 9.6 cm	AB= 6.5 cm CD= 6.1 cm	AB= 9.1 cm CD= 8.9 cm	AB= 6.3 cm CD= 6.6 cm	A= 14 mm B= 13.5 mm C= 16 mm D= 13 mm	A= 12.5 mm B= 13 mm C= 11.7mm D= 12 mm
8	10	8.0 mts	AB= 8.9 cm CD= 8.6 cm	AB= 6.3 cm CD= 6.4 cm	AB= 8.6 cm CD= 8.9 cm	AB= 6.4 cm CD= 6.6 cm	A= 11 mm B= 11.5 mm C= 11.5 mm D= 12mm	A= 11.4 mm B= 10 mm C= 11.6mm D= 10.4mm
9	9	8.0 mts	AB= 10.6 cm CD= 10.3 cm	AB= 7.4 cm CD= 7.3 cm	AB= 9.8 cm CD= 9.8 cm	AB= 7.4 cm CD= 7.2 cm	A= 13 mm B= 12.7 mm C= 12 mm D= 13 mm	A= 12.7mm B= 11 mm C= 12.7mm D= 13 mm

Caracterización de probetas ensayo corte paralelo sin nudo zona Pacho

Tramo en el culmo	Numero de probeta	Ensayo	Longitud	Diámetro Externo Tramos Inferior y superior		Diámetro Interno Tramos inferior y superior		Espesor de pared Tramos Inferior y superior	
				IN	AB=... cm CD=... cm	IN	AB=... cm CD=... cm	IN	A=... mm B=... mm C=... mm D=... mm
S	1	V	10cm	IN	AB= 7.8 cm CD= 8.0 cm	IN	AB= 5.9 cm CD= 5.9 cm	IN	A= 10 mm B= 10 mm C= 10 mm D= 10 mm
				SU	AB= 7.9 cm CD= 7.8 cm	SU	AB= 5.8 cm CD= 5.9 cm	SU	A= 10 mm B= 10 mm C= 10.5 mm D= 9.3 mm
S	2	V	10cm	IN	AB= 7.9 cm CD= 7.9 cm	IN	AB= 6.0 cm CD= 6.2 cm	IN	A= 9.3 mm B= 8.8 mm C= 8.6 mm D= 8.5 mm
				SU	AB= 7.7 cm CD= 7.9 cm	SU	AB= 6.0 cm CD= 6.3 cm	SU	A= 9.0 mm B= 8.4 mm C= 8.4 mm D= 8.5 mm
S	3	V	10cm	IN	AB= 8.4 cm CD= 8.6 cm	IN	AB= 6.3 cm CD= 6.6 cm	IN	A= 10 mm B= 11 mm C= 10 mm D= 10 mm
				SU	AB= 8.4 cm CD= 8.8 cm	SU	AB= 6.2 cm CD= 6.6 cm	SU	A= 10 mm B= 11.6 mm C= 11 mm D= 10.6 mm
S	4	V	10cm	IN	AB= 8.2 cm CD= 8.5 cm	IN	AB= 6.1 cm CD= 6.4 cm	IN	A= 11 mm B= 10 mm C= 10 mm D= 10 mm
				SU	AB= 8.1 cm CD= 8.2 cm	SU	AB= 6.1 cm CD= 6.3 cm	SU	A= 10.7 mm B= 10 mm C= 10.9 mm D= 10 mm
S	5	V	10cm	IN	AB= 8.0 cm CD= 8.0 cm	IN	AB= 6.2 cm CD= 6.2 cm	IN	A= 9.0 mm B= 8.5 mm C= 8.3 mm D= 9.0 mm
				SU	AB= 8.0 cm CD= 8.0 cm	SU	AB= 6.2 cm CD= 6.2 cm	SU	A= 9.0 mm B= 9.0 mm C= 8.5 mm D= 9.3 mm
M	6	V	10cm	IN	AB= 8.7 cm CD= 8.9 cm	IN	AB= 6.3 cm CD= 6.4 cm	IN	A= 11 mm B= 12 mm C= 11 mm D= 11 mm
				SU	AB= 8.8 cm CD= 8.9 cm	SU	AB= 6.3 cm CD= 6.6 cm	SU	A= 13 mm B= 11 mm C= 12 mm D= 11 mm
M	7	V	10cm	IN	AB= 8.9 cm CD= 9.0 cm	IN	AB= 6.3 cm CD= 6.7 cm	IN	A= 12 mm B= 11 mm C= 11 mm D= 12 mm
				SU	AB= 8.7 cm CD= 8.8 cm	SU	AB= 6.6 cm CD= 6.6 cm	SU	A= 12 mm B= 11 mm C= 11 mm D= 10 mm
M	8	V	10cm	IN	AB= 8.9 cm CD= 8.7 cm	IN	AB= 6.4 cm CD= 6.1 cm	IN	A= 12.4 mm B= 12 mm C= 11 mm D= 12 mm
				SU	AB= 8.9 cm CD= 8.8 cm	SU	AB= 6.4 cm CD= 6.2 cm	SU	A= 12.7 mm B= 12 mm C= 12 mm D= 12 mm
M	9	V	10cm	IN	AB= 8.8 cm CD= 8.6 cm	IN	AB= 6.6 cm CD= 6.2 cm	IN	A= 11.6 mm B= 9.6 mm C= 11.7 mm D= 10.3 mm
				SU	AB= 8.8 cm CD= 8.5 cm	SU	AB= 6.7 cm CD= 6.3 cm	SU	A= 11 mm B= 10 mm C= 10.5 mm D= 11 mm
M	10	V	10cm	IN	AB= 8.8 cm CD= 9.0 cm	IN	AB= 6.5 cm CD= 6.6 cm	IN	A= 11 mm B= 12 mm C= 12 mm D= 11 mm
				SU	AB= 9.0 cm CD= 8.9 cm	SU	AB= 6.5 cm CD= 6.5 cm	SU	A= 11 mm B= 12 mm C= 12 mm D= 12.4 mm
I	11	V	10cm	IN	AB= 8.8 cm CD= 9.0 cm	IN	AB= 6.4 cm CD= 6.7 cm	IN	A= 12.6 mm B= 11 mm C= 11.6 mm D= 11.6 mm
				SU	AB= 8.9 cm CD= 9.2 cm	SU	AB= 6.4 cm CD= 6.8 cm	SU	A= 18.4 mm B= 11 mm C= 12 mm D= 11.5 mm
I	12	V	10cm	IN	AB= 9.0 cm CD= 9.2 cm	IN	AB= 5.7 cm CD= 6.0 cm	IN	A= 17 mm B= 15 mm C= 16 mm D= 14.7 mm
				SU	AB= 8.9 cm CD= 9.1 cm	SU	AB= 6.0 cm CD= 6.3 cm	SU	A= 15 mm B= 14 mm C= 15 mm D= 13.6 mm
I	13	V	10cm	IN	AB= 8.8 cm CD= 9.0 cm	IN	AB= 6.6 cm CD= 6.5 cm	IN	A= 13 mm B= 12 mm C= 13 mm D= 11 mm
				SU	AB= 9.2 cm CD= 9.4 cm	SU	AB= 6.1 cm CD= 6.3 cm	SU	A= 16.5 mm B= 15 mm C= 15 mm D= 12 mm
I	14	V	10cm	IN	AB= 9.8 cm CD= 9.8 cm	IN	AB= 7.3 cm CD= 7.4 cm	IN	A= 13 mm B= 12.7 mm C= 12 mm D= 13 mm
				SU	AB= 10 cm CD= 10.1 cm	SU	AB= 6.9 cm CD= 7.2 cm	SU	A= 12.5 mm B= 13 mm C= 11 mm D= 13 mm
I	15	V	10cm	IN	AB= 9.9 cm CD= 9.8 cm	IN	AB= 7.4 cm CD= 7.3 cm	IN	A= 12 mm B= 12 mm C= 13 mm D= 12 mm
				SU	AB= 10.2 cm CD= 10.1 cm	SU	AB= 7.4 cm CD= 7.2 cm	SU	A= 14.6 mm B= 15.4 mm C= 15 mm D= 12 mm

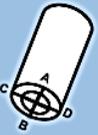
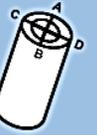
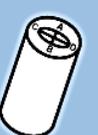
Caracterización de probetas ensayo corte paralelo con nudo zona Pacho

Tramo en el culmo	Numero de probeta	Ensayo	Longitud	Diámetro Externo Tramos Inferior y superior		Diámetro Interno Tramos inferior y superior		Espesor de pared Tramos Inferior y superior	
				IN	SU	IN	SU	IN	SU
S	1	Vn	10cm	IN	AB= 8.2 cm CD= 8.4 cm	IN	AB= 5.9 cm CD= 6.2 cm	IN	A= 11 mm B= 12 mm C= 11 mm D= 10 mm
				SU	AB= 8.4 cm CD= 8.2 cm	SU	AB= 6.3 cm CD= 6.3 cm	SU	A= 10 mm B= 10 mm C= 10mm D= 9 mm
S	2	Vn	10cm	IN	AB= 7.9 cm CD= 8.0 cm	IN	AB= 6.0 cm CD= 6.2 cm	IN	A= 9.0 mm B= 10.4 mm C= 9.0 mm D= 9.0 mm
				SU	AB= 7.8 cm CD= 7.8 cm	SU	AB= 5.8 cm CD= 6.1 cm	SU	A= 9.0 mm B= 10.5 mm C= 8.4 mm D= 9.6 mm
S	3	Vn	10cm	IN	AB= 8.5 cm CD= 8.7 cm	IN	AB= 6.2 cm CD= 6.4 cm	IN	A= 10.6 mm B= 12.3 mm C= 11.6 mm D= 11.5 mm
				SU	AB= 8.5 cm CD= 8.4 cm	SU	AB= 6.2 cm CD= 6.6 cm	SU	A= 10 mm B= 10.1 mm C= 10 mm D= 10 mm
S	4	Vn	10cm	IN	AB= 8.2 cm CD= 8.1 cm	IN	AB= 5.9 cm CD= 6.1 cm	IN	A= 11.2 mm B= 11.3 mm C= 11.3 mm D= 11 mm
				SU	AB= 8.2 cm CD= 8.0 cm	SU	AB= 5.9 cm CD= 6.2 cm	SU	A= 10 mm B= 11.5 mm C= 10mm D= 11.5 mm
S	5	Vn	10cm	IN	AB= 8.1 cm CD= 8.2 cm	IN	AB= 6.1 cm CD= 6.3 cm	IN	A= 10 mm B= 10 mm C= 10 mm D= 9.6 mm
				SU	AB= 8.0 cm CD= 8.1 cm	SU	AB= 6.1 cm CD= 6.3 cm	SU	A= 9.0 mm B= 10 mm C= 9.4 mm D= 19.5 mm
M	6	Vn	10cm	IN	AB= 8.6 cm CD= 8.6 cm	IN	AB= 6.4 cm CD= 6.1 cm	IN	A= 11.6 mm B= 12.7 mm C= 11.6 mm D= 11.6 mm
				SU	AB= 8.4 cm CD= 8.2 cm	SU	AB= 6.5 cm CD= 6.3 cm	SU	A= 9.6 mm B= 9.6 mm C= 9.6 mm D= 10 mm
M	7	Vn	10cm	IN	AB= 8.5 cm CD= 8.5 cm	IN	AB= 6.0 cm CD= 5.9 cm	IN	A= 12 mm B= 12 mm C= 12 mm D= 11 mm
				SU	AB= 8.2 cm CD= 8.5 cm	SU	AB= 6.1 cm CD= 6.5 cm	SU	A= 10 mm B= 11 mm C= 10 mm D= 9.6 mm
M	8	Vn	10cm	IN	AB= 8.9 cm CD= 9.1 cm	IN	AB= 5.9 cm CD= 6.1 cm	IN	A= 14.6 mm B= 15 mm C= 15 mm D= 13 mm
				SU	AB= 8.6 cm CD= 9.0 cm	SU	AB= 6.1 cm CD= 6.2 cm	SU	A= 11.7 mm B= 12.4 mm C= 11 mm D= 11 mm
M	9	Vn	10cm	IN	AB= 8.2 cm CD= 8.9 cm	IN	AB= 6.0 cm CD= 6.0 cm	IN	A= 13 mm B= 11.6 mm C= 12 mm D= 11.6 mm
				SU	AB= 8.4 cm CD= 8.9 cm	SU	AB= 6.1 cm CD= 6.2 cm	SU	A= 12.5 mm B= 11 mm C= 10 mm D= 11 mm
M	10	Vn	10cm	IN	AB= 8.3 cm CD= 8.1 cm	IN	AB= 5.7 cm CD= 5.4 cm	IN	A= 13 mm B= 12 mm C= 11.6 mm D= 12.2 mm
				SU	AB= 8.0 cm CD= 8.0 cm	SU	AB= 6.1 cm CD= 6.2 cm	SU	A= 9.0 mm B= 8.5 mm C= 9.0 mm D= 9.0 mm
I	11	Vn	10cm	IN	AB= 8.9 cm CD= 9.1 cm	IN	AB= 6.1 cm CD= 6.3 cm	IN	A= 13.4 mm B= 14 mm C= 14 mm D= 14 mm
				SU	AB= 8.9 cm CD= 8.8 cm	SU	AB= 6.4 cm CD= 6.2 cm	SU	A= 13 mm B= 12 mm C= 12 mm D= 12 mm
I	12	Vn	10cm	IN	AB= 9.4 cm CD= 9.6 cm	IN	AB= 6.0 cm CD= 6.4 cm	IN	A= 15 mm B= 18 mm C= 16 mm D= 17.6 mm
				SU	AB= 9.2 cm CD= 9.4 cm	SU	AB= 6.2 cm CD= 6.1 cm	SU	A= 14.5 mm B= 15.5 mm C= 16.6mm D= 15.7 mm
I	13	Vn	10cm	IN	AB= 9.3 cm CD= 9.6 cm	IN	AB= 6.5 cm CD= 6.1 cm	IN	A= 14 mm B= 13.5 mm C= 16 mm D= 13 mm
				SU	AB= 9.1 cm CD= 8.9 cm	SU	AB= 6.3 cm CD= 6.6 cm	SU	A= 12.5 mm B= 13 mm C= 11.7mm D= 12 mm
I	14	Vn	10cm	IN	AB= 8.9 cm CD= 8.6 cm	IN	AB= 6.3 cm CD= 6.4 cm	IN	A= 11 mm B= 11.5 mm C= 11.5 mm D= 12 mm
				SU	AB= 8.6 cm CD= 8.9 cm	SU	AB= 6.4 cm CD= 6.6 cm	SU	A= 11.4 mm B= 10 mm C= 11.6mm D= 10.4 mm
I	15	Vn	10cm	IN	AB= 10.6 cm CD= 10.3 cm	IN	AB= — CD= —	IN	Nudo
				SU	AB= 9.8 cm CD= 9.8 cm	SU	AB= 7.4 cm CD= 7.2 cm	SU	A= 12.7 mm B= 11 mm C= 12.7mm D= 13 mm

Caracterización de probetas ensayo compresión paralela zona Pacho

Tramo en el culmo	Numero de probeta	Ensayo	Longitud	Diámetro Externo Tramos Inferior y superior		Diámetro Interno Tramos inferior y superior		Espesor de pared Tramos Inferior y superior	
				IN	SU	IN	SU	IN	SU
S	1	C	10cm	IN	AB= 8.0 cm CD= 8.1 cm	IN	AB= 5.5 cm CD= 5.4 cm	IN	A= 11 mm B= 13 mm C= 10.4 mm D= 11.6 mm
				SU	AB= 8.1 cm CD= 8.4 cm	SU	AB= 5.3 cm CD= 5.6 cm	SU	A= 13 mm B= 16 mm C= 13 mm D= 14 mm
S	2	C	10cm	IN	AB= 8.2 cm CD= 8.0 cm	IN	AB= 5.5 cm CD= 5.5 cm	IN	A= 12 mm B= 12 mm C= 12 mm D= 13 mm
				SU	AB= 8.2 cm CD= 8.3 cm	SU	AB= 5.3 cm CD= 5.2 cm	SU	A= 15 mm B= 15 mm C= 16.6 mm D= 15 mm
S	3	C	10cm	IN	AB= 8.2 cm CD= 8.3 cm	IN	AB= 5.8 cm CD= 5.5 cm	IN	A= 12 mm B= 12 mm C= 14 mm D= 12 mm
				SU	AB= 8.1 cm CD= 8.0 cm	SU	AB= 5.9 cm CD= 5.7 cm	SU	A= 11 mm B= 11 mm C= 12 mm D= 11 mm
S	4	C	10cm	IN	AB= 8.0 cm CD= 8.0 cm	IN	AB= 5.8 cm CD= 5.7 cm	IN	A= 11 mm B= 11.6 mm C= 11 mm D= 11.5 mm
				SU	AB= 8.5 cm CD= 8.6 cm	SU	AB= 4.3 cm CD= 4.3 cm	SU	A= 21 mm B= 22 mm C= 23 mm D= 21 mm
M	5	C	10cm	IN	AB= 8.1 cm CD= 8.3 cm	IN	AB= 4.9 cm CD= 5.0 cm	IN	A= 16 mm B= 18 mm C= 19 mm D= 17.5 mm
				SU	AB= 7.9 cm CD= 8.0 cm	SU	AB= 5.4 cm CD= 5.6 cm	SU	A= 12 mm B= 12.5 mm C= 12 mm D= 12.4 mm
M	6	C	10cm	IN	AB= 7.9 cm CD= 8.0 cm	IN	AB= 5.5 cm CD= 5.8 cm	IN	A= 16 mm B= 17.6 mm C= 17.4 mm D= 12 mm
				SU	AB= 8.3 cm CD= 8.5 cm	SU	AB= 4.9 cm CD= 5.2 cm	SU	A= 18 mm B= 17.5 mm C= 19.5 mm D= 16 mm
M	7	C	10cm	IN	AB= 8.2 cm CD= 8.6 cm	IN	AB= 6.0 cm CD= 5.9 cm	IN	A= 14 mm B= 12.6 mm C= 13.4 mm D= 12.6 mm
				SU	AB= 8.1 cm CD= 8.2 cm	SU	AB= 5.7 cm CD= 6.0 cm	SU	A= 13 mm B= 11.3 mm C= 11 mm D= 11.6 mm
M	8	C	10cm	IN	AB= 8.2 cm CD= 8.0 cm	IN	AB= 6.0 cm CD= 5.6 cm	IN	A= 11 mm B= 11 mm C= 11 mm D= 13 mm
				SU	AB= 8.6 cm CD= 8.4 cm	SU	AB= 4.3 cm CD= 3.9 cm	SU	A= 19 mm B= 21.8 mm C= 23.7 mm D= 22 mm
I	9	C	10cm	IN	AB= 9.9 cm CD= 10 cm	IN	AB= 7.3 cm CD= 7.2 cm	IN	A= 18 mm B= 12 mm C= 14 mm D= 13 mm
				SU	AB= 10.5 cm CD= 10.4 cm	SU	AB= 5.8 cm CD= 5.3 cm	SU	A= 22 mm B= 29.6 mm C= 22.5 mm D= 31 mm
I	10	C	10cm	IN	AB= 10.1 cm CD= 10.1 cm	IN	AB= 7.2 cm CD= 7.2 cm	IN	A= 15 mm B= 13 mm C= 15 mm D= 15 mm
				SU	AB= 10.7 cm CD= 10.5 cm	SU	AB= 5.6 cm CD= 5.2 cm	SU	A= 24 mm B= 22.6 mm C= 24.4 mm D= 32 mm
I	11	C	10cm	IN	AB= 10.3 cm CD= 10.1 cm	IN	AB= 7.1 cm CD= 7.0 cm	IN	A= 16.3 mm B= 16 mm C= 17 mm D= 17 mm
				SU	AB= 10.6 cm CD= 10.9 cm	SU	AB= 5.1 cm CD= 4.9 cm	SU	A= 24 mm B= 28 mm C= 25 mm D= 35 mm
I	12	C	10cm	IN	AB= 10.1 cm CD= 10 cm	IN	AB= 7.4 cm CD= 7.1 cm	IN	A= 14 mm B= 13.3 mm C= 14.3 mm D= 14 mm
				SU	AB= 10.6 cm CD= 10.6 cm	SU	AB= 4.6 cm CD= 4.5 cm	SU	A= 25 mm B= 33 mm C= 36 mm D= 36 mm

Caracterización de culmos *Silvania Cundinamarca*

Número de culmo	Numero entrenudos	Longitud	Diámetro Externo Tramo Inferior 	Diámetro Interno Tramo inferior 	Diámetro Externo Tramo Superior 	Diámetro Interno Tramo Superior 	Espesor de pared Tramo Inferior 	Espesor de Pared Tramo Superior 
1	10	8.0 mts	AB = 11.2cm CD = 11.0cm	AB = 7cm CD = 7.1cm	AB = 8cm CD = 7.9cm	AB = 5.6cm CD = 5.5cm	A= 21.3mm B= 21.9mm C= 20.5mm D= 20.8mm	A = 12.6 mm B = 12 mm C = 12 mm D = 12 mm
2	10	8.1 mts	AB= 11.1 cm CD= 10.8cm	AB= 7cm CD = 7.6cm	AB= 8.4cm CD = 8.3cm	AB= 5.8cm CD= 5.7cm	A = 21.5mm B = 18mm C = 20mm D = 18.3mm	A = 15.1 mm B = 14.5 mm C = 15.7 mm D = 15.5 mm
3	11	8.2 mts	AB= 9.9 cm CD= 10cm	AB= 7.7cm CD= 7.2cm	AB= 7.9cm CD= 7.8cm	AB= 5.6cm CD= 5.5cm	A= 14.6mm B = 14.4mm C = 15 mm D = 14 mm	A= 12.5 mm B= 13.4 mm C = 13.4 mm D= 13 mm
4	10	8.1 mts	AB= 10.3 cm CD= 10.3 cm	AB= 7.3 cm CD= 7.2 cm	AB= 10 cm CD= 9.9 cm	AB= 7.3 cm CD= 7.2 cm	A= 14.4 mm B= 15.5 mm C = 15.6 mm D = 15 mm	A= 12mm B= 13.2mm C = 12.5mm D= 13.3mm
5	10	8.0 mts	AB= 10.5 cm CD= 10.5 cm	AB= 6.8 cm CD= 6.8 cm	AB= 10.1 cm CD= 10.1 cm	AB= 6.8 cm CD= 6.8 cm	A= 16 mm B= 20 mm C = 17.3 mm D = 18.5 mm	A= 15 mm B= 17 mm C = 15.6 mm D = 17 mm
6	9	8.1 mts	AB= 10.7 cm CD= 10.8 cm	AB= 7.2 cm CD= 7.4 cm	AB= 10.8 cm CD= 10.7 cm	AB= 7.2 cm CD= 7.3 cm	A= 17.5 mm B= 16.6 mm C = 17 mm D = 18 mm	A= 20.5 mm B= 18 mm C = 16.5 mm D = 17 mm
7	9	8.1mts	AB= 10.5 cm CD= 10.4 cm	AB= 7.0 cm CD= 7.2 cm	AB= 10 cm CD= 10.1 cm	AB= 6.9 cm CD= 7.3 cm	A= 16.8 mm B= 12.8 mm C = 15 mm D = 17 mm	A= 14 mm B= 14.5 mm C = 13 mm D = 15.6 mm
8	10	8.0mts	AB= 10.1 cm CD= 10 cm	AB= 7.3 cm CD= 7.0 cm	AB= 9.9 cm CD= 9.7 cm	AB= 7.4 cm CD= 7.0 cm	A= 15 mm B= 14 mm C = 15 mm D = 14 mm	A= 13 mm B= 11.6 mm C = 13 mm D = 12 mm
9	9	8.2mts	AB= 9.9 cm CD= 10.1 cm	AB= 6.9 cm CD= 7.0 cm	AB= 9.7 cm CD= 9.8 cm	AB= 7.0 cm CD= 7.2 cm	A= 14 mm B= 13.5 mm C = 14 mm D = 14 mm	A= 13 mm B= 12.4 mm C = 12.6 mm D = 12 mm
10	9	8.0mts	AB= 14 cm CD= 11 cm	AB= 7.3 cm CD= 7.3 cm	AB= 12 cm CD= 11 cm	AB= 7.2 cm CD= 7.1 cm	A= 14.4 mm B= 15.6 mm C = 14.4 mm D = 15 mm	A= 13.4mm B= 15.4 mm C = 14.4mm D = 13.6 mm

Caracterización de probetas ensayo corte paralelo con nudo zona Sylvania

Tramo en el culmo	Numero de probeta	Ensayo	Longitud	Diámetro Externo Tramos Inferior y superior		Diámetro Interno Tramos inferior y superior		Espesor de pared Tramos Inferior y superior	
				IN	SU	IN	SU	IN	SU
S	1	Vn	10cm	IN	AB= 8 cm CD= 8.1 cm	IN	AB= 5.5 cm CD= 5.5 cm	IN	A= 12 mm B= 11 mm C= 11.3 mm D= 12mm
				SU	AB= 8 cm CD= 7.9 cm	SU	AB= 5.7 cm CD= 5.8 cm	SU	A= 12.6 mm B= 11 mm C= 12.5mm D= 11.6mm
S	2	Vn	10cm	IN	AB= 8 cm CD= 8.1 cm	IN	AB= 5.3 cm CD= 5.8 cm	IN	A= 13 mm B= 14 mm C= 13.3 mm D= 12mm
				SU	AB= 8 cm CD= 8.3 cm	SU	AB= 5.4 cm CD= 5.3 cm	SU	A= 13 mm B= 14 mm C= 14 mm D= 13 mm
S	3	Vn	10cm	IN	AB= 7.9 cm CD= 7.9 cm	IN	AB= 5.6 cm CD= 5.6 cm	IN	A= 12 mm B= 12.7 mm C= 13.4 mm D= 13.5 mm
				SU	AB= 8 cm CD= 8 cm	SU	AB= 5.4 cm CD= 5.7 cm	SU	A= 11.3 mm B= 13 mm C= 11.3 mm D= 14.6mm
S	4	Vn	10cm	IN	AB= 8.4 cm CD= 8.4 cm	IN	AB= 5.3 cm CD= 5.2 cm	IN	A= 15 mm B= 14.3 mm C= 13 mm D= 14.7 mm
				SU	AB= 8.2 cm CD= 8.1 cm	SU	AB= 5.5 cm CD= 5.3 cm	SU	A= 15 mm B= 15 mm C= 15mm D= 16mm
S	5	Vn	10cm	IN	AB= 7.9 cm CD= 8.0 cm	IN	AB= 5.4 cm CD= 5.4 cm	IN	A= 12 mm B= 12 mm C= 13 mm D= 12.3 mm
				SU	AB= 8.5 cm CD= 8.5 cm	SU	AB= 5.0 cm CD= 4.9 cm	SU	A= 18.5 mm B= 18 mm C= 12.5mm D= 18.8 mm
M	6	Vn	10cm	IN	AB= 8.0 cm CD= 8.0 cm	IN	AB= 5.6 cm CD= 5.4 cm	IN	A= 12.5 mm B= 11.5 mm C= 11 mm D= 13mm
				SU	AB= 8.2 cm CD= 8.2 cm	SU	AB= 5.3 cm CD= 5.2 cm	SU	A= 15 mm B= 14.4 mm C= 15.4mm D= 14mm
M	7	Vn	10cm	IN	AB= 7.8 cm CD= 7.8 cm	IN	AB= 5.3 cm CD= 5.6 cm	IN	A= 13 mm B= 12.5 mm C= 13.6 mm D= 12.7 mm
				SU	AB= 8.0 cm CD= 7.9 cm	SU	AB= 5.5 cm CD= 5.4 cm	SU	A= 12.3 mm B= 12.5 mm C= 12.5mm D= 11 mm
M	8	Vn	10cm	IN	AB= 7.8 cm CD= 7.9 cm	IN	AB= 5.3 cm CD= 5.3 cm	IN	A= 12 mm B= 12 mm C= 12 mm D= 13mm
				SU	AB= 7.7 cm CD= 7.7 cm	SU	AB= 5.7 cm CD= 5.5 cm	SU	A= 10.5 mm B= 12 mm C= 11 mm D= 13 mm
M	9	Vn	10cm	IN	AB= 8 cm CD= 8.1 cm	IN	AB= 5.5 cm CD= 5.5 cm	IN	A= 12 mm B= 11 mm C= 11.3 mm D= 12mm
				SU	AB= 8 cm CD= 7.9 cm	SU	AB= 5.7 cm CD= 5.8 cm	SU	A= 12.6 mm B= 11 mm C= 12.5mm D= 11.6mm
M	10	Vn	10cm	IN	AB= 8 cm CD= 8.1 cm	IN	AB= 5.3 cm CD= 5.8 cm	IN	A= 13 mm B= 14 mm C= 13.3 mm D= 12mm
				SU	AB= 8 cm CD= 8.3 cm	SU	AB= 5.4 cm CD= 5.3 cm	SU	A= 13 mm B= 14 mm C= 14 mm D= 13 mm
I	11	Vn	10cm	IN	AB= 7.9 cm CD= 7.9 cm	IN	AB= 5.6 cm CD= 5.6 cm	IN	A= 12 mm B= 12.7 mm C= 13.4 mm D= 13.5 mm
				SU	AB= 8 cm CD= 8 cm	SU	AB= 5.4 cm CD= 5.7 cm	SU	A= 11.3 mm B= 13 mm C= 11.3 mm D= 14.6mm
I	12	Vn	10cm	IN	AB= 8.4 cm CD= 8.4 cm	IN	AB= 5.3 cm CD= 5.2 cm	IN	A= 15 mm B= 14.3 mm C= 13 mm D= 14.7 mm
				SU	AB= 8.2 cm CD= 8.1 cm	SU	AB= 5.5 cm CD= 5.3 cm	SU	A= 15 mm B= 15 mm C= 15mm D= 16mm
I	13	Vn	10cm	IN	AB= 7.9 cm CD= 8.0 cm	IN	AB= 5.4 cm CD= 5.4 cm	IN	A= 12 mm B= 12 mm C= 13 mm D= 12.3 mm
				SU	AB= 8.5 cm CD= 8.5 cm	SU	AB= 5.0 cm CD= 4.9 cm	SU	A= 18.5 mm B= 18 mm C= 12.5mm D= 18.8 mm
I	14	Vn	10cm	IN	AB= 8.0 cm CD= 8.0 cm	IN	AB= 5.6 cm CD= 5.4 cm	IN	A= 12.5 mm B= 11.5 mm C= 11 mm D= 13mm
				SU	AB= 8.2 cm CD= 8.2 cm	SU	AB= 5.3 cm CD= 5.2 cm	SU	A= 15 mm B= 14.4 mm C= 15.4mm D= 14mm
I	15	Vn	10cm	IN	AB= 7.8 cm CD= 7.8 cm	IN	AB= 5.3 cm CD= 5.6 cm	IN	A= 13 mm B= 12.5 mm C= 13.6 mm D= 12.7 mm
				SU	AB= 8.0 cm CD= 7.9 cm	SU	AB= 5.5 cm CD= 5.4 cm	SU	A= 12.3 mm B= 12.5 mm C= 12.5mm D= 11 mm

Caracterización de probetas ensayo corte paralelo sin nudo zona Sylvania

Tramo en el culmo	Numero de probeta	Ensayo	Longitud	Diámetro Externo Tramos Inferior y superior		Diámetro Interno Tramos inferior y superior		Espesor de pared Tramos Inferior y superior	
				IN	SU	IN	SU	IN	SU
S	1	V	10cm	IN	AB= 7.5 cm CD=7.7 cm	IN	AB= 5.4 cm CD= 5.5 cm	IN	A= 11 mm B= 11 mm C= 10.5 mm D= 10.5mm
				SU	AB= 7.7 cm CD= 7.8 cm	SU	AB= 5.4 cm CD= 5.5 cm	SU	A= 10.5 mm B= 10.6 mm C= 11mm D= 10.7mm
S	2	V	10cm	IN	AB= 7.9 cm CD= 7.7 cm	IN	AB= 5.5 cm CD= 5.5 cm	IN	A= 12 mm B= 12 mm C= 11 mm D= 12mm
				SU	AB= 7.9 cm CD= 7.8 cm	SU	AB= 5.6 cm CD= 5.4 cm	SU	A= 11 mm B= 11 mm C= 11 mm D= 11 mm
S	3	V	10cm	IN	AB= 8.2 cm CD= 8.2 cm	IN	AB= 5.3 cm CD= 5.3 cm	IN	A= 11.6 mm B= 12.3 mm C= 12.7 mm D= 12.4 mm
				SU	AB= 8.0 cm CD= 7.9 cm	SU	AB= 5.6 cm CD= 5.5 cm	SU	A= 13.8 mm B= 13.9 mm C= 13.6 mm D= 14.6mm
S	4	V	10cm	IN	AB= 8.3 cm CD= 8.5 cm	IN	AB= 5.2 cm CD= 5.3 cm	IN	A= 14.6 mm B= 20 mm C= 20 mm D= 15 mm
				SU	AB= 7.9 cm CD= 7.9 cm	SU	AB= 5.2 cm CD= 5.3 cm	SU	A= 12.7 mm B= 13.5 mm C= 13mm D= 13mm
S	5	V	10cm	IN	AB= 8.0 cm CD= 8.0 cm	IN	AB= 5.4 cm CD= 5.5 cm	IN	A= 12.5 mm B= 12.3 mm C= 12.7 mm D= 12.3 mm
				SU	AB= 8.0 cm CD= 7.8 cm	SU	AB= 5.6 cm CD= 5.5 cm	SU	A= 11.2 mm B= 12 mm C= 11mm D= 11 mm
M	6	V	10cm	IN	AB= 8.9 cm CD= 8.7 cm	IN	AB= 6.6 cm CD= 6.4 cm	IN	A= 12.6 mm B= 12.1 mm C= 11. mm D= 12mm
				SU	AB= 8.8 cm CD= 8.5 cm	SU	AB= 6.6 cm CD= 6.5 cm	SU	A= 9.5 mm B= 10.5 mm C= 9.7mm D= 10.4mm
M	7	V	10cm	IN	AB= 9.3 cm CD= 9.5 cm	IN	AB= 5.9 cm CD= 5.8 cm	IN	A= 19 mm B= 15.3 mm C= 20.3 mm D= 15.6 mm
				SU	AB= 8.9 cm CD= 9.2 cm	SU	AB= 6.6 cm CD= 6.9 cm	SU	A= 11.5 mm B= 11.7 mm C= 11.6mm D= 11.3 mm
M	8	V	10cm	IN	AB= 9.3 cm CD= 9.6 cm	IN	AB= 6.8 cm CD= 7.1 cm	IN	A= 12 mm B= 12 mm C= 12 mm D= 11.7mm
				SU	AB= 9.1 cm CD= 9.6 cm	SU	AB= 6.8 cm CD= 7.3 cm	SU	A= 11.7 mm B= 11 mm C= 11.6 mm D= 12 mm
M	9	V	10cm	IN	AB= 9.3 cm CD= 8.9 cm	IN	AB= 7.1 cm CD= 6.6 cm	IN	A= 11.7 mm B= 10.4 mm C= 11.7 mm D= 10.7 mm
				SU	AB= 9.3 cm CD= 9.3 cm	SU	AB= 7.0 cm CD= 6.2 cm	SU	A= 11.5 mm B= 12 mm C= 12 mm D= 11.7 mm
M	10	V	10cm	IN	AB= 8.8 cm CD= 9.0 cm	IN	AB= 6.0 cm CD= 6.1 cm	IN	A= 13 mm B= 14 mm C= 14 mm D= 14.6mm
				SU	AB= 8.8 cm CD= 8.9 cm	SU	AB= 6.0 cm CD= 6.0 cm	SU	A= 13 mm B= 14.4 mm C= 14.5 mm D= 14 mm
I	11	V	10cm	IN	AB= 9.6 cm CD= 9.7 cm	IN	AB= 6.6 cm CD= 6.7 cm	IN	A= 15.5 mm B= 15.4 mm C= 15 mm D= 15mm
				SU	AB= 9.2 cm CD= 9.4 cm	SU	AB= 6.7 cm CD= 7.0 cm	SU	A= 13 mm B= 11 mm C= 12.6 mm D= 11.5 mm
I	12	V	10cm	IN	AB= 10 cm CD= 10 cm	IN	AB= 6.8 cm CD= 6.8 cm	IN	A= 15.5 mm B= 17.4 mm C= 18 mm D= 16.4 mm
				SU	AB= 9.7 cm CD= 9.7 cm	SU	AB= 7.1 cm CD= 7.2 cm	SU	A= 12 mm B= 13 mm C= 13 mm D= 12 mm
I	13	V	10cm	IN	AB= 10.4 cm CD= 10.4 cm	IN	AB= 7.3 cm CD= 7.4 cm	IN	A= 15.5 mm B= 15.4 mm C= 15 mm D= 15mm
				SU	AB= 10 cm CD= 10.1 cm	SU	AB= 7.2 cm CD= 7.3 cm	SU	A= 14 mm B= 14.5 mm C= 16.4 mm D= 13.4 mm
I	14	V	10cm	IN	AB= 10.3 cm CD= 10.5 cm	IN	AB= 7.2 cm CD= 7.4 cm	IN	A= 17.7 mm B= 14 mm C= 14.5 mm D= 15.6 mm
				SU	AB= 10.4 cm CD= 10.5 cm	SU	AB= 7.3 cm CD= 7.4 cm	SU	A= 16.6 mm B= 13.4 mm C= 15 mm D= 14.4 mm
I	15	V	10cm	IN	AB= 10.5 cm CD= 10.4cm	IN	AB= 7.4 cm CD= 7.3 cm	IN	A= 15.5 mm B= 15.4 mm C= 16.4 mm D= 16 mm
				SU	AB= 10.6 cm CD= 10.5 cm	SU	AB= 7.4 cm CD= 7.4 cm	SU	A= 14.6 mm B= 15 mm C= 16 mm D= 14.6 mm

Caracterización de probetas ensayo compresión paralela zona Silvania

Tramo en el culmo	Numero de probeta	Ensayo	Longitud	Diámetro Externo Tramos Inferior y superior		Diámetro Interno Tramos inferior y superior		Espesor de pared Tramos Inferior y superior	
				IN	SU	IN	SU	IN	SU
S	1	C	10cm	IN	AB= 8.3 cm CD= 8.1 cm	IN	AB= 5.3 cm CD= 5.4 cm	IN	A= 13.6 mm B= 13.4 mm C= 13 mm D= 13.6 mm
				SU	AB= 8.2 cm CD= 7.9 cm	SU	AB= 5.4 cm CD= 5.6 cm	SU	A= 12.4 mm B= 13.3 mm C= 13mm D= 11.6 mm
S	2	C	10cm	IN	AB= 8.5 cm CD= 8.5 cm	IN	AB= 4.9 cm CD= 5.0 cm	IN	A= 13.6 mm B= 13.6 mm C= 13 mm D= 12mm
				SU	AB= 8.2 cm CD= 8.1 cm	SU	AB= 5.1 cm CD= 5.2 cm	SU	A= 15 mm B= 15 mm C= 14 mm D= 14 mm
S	3	C	10cm	IN	AB= 8.8 cm CD= 9.1 cm	IN	AB= 6.5 cm CD= 6.7 cm	IN	A= 10.6 mm B= 11 mm C= 11 mm D= 12 mm
				SU	AB= 8.7 cm CD= 9.0 cm	SU	AB= 6.5 cm CD= 6.8 cm	SU	A= 14 mm B= 15 mm C= 10 mm D= 11 mm
S	4	C	10cm	IN	AB= 9.2 cm CD= 9.1 cm	IN	AB= 6.0 cm CD= 6.1 cm	IN	A= 10.6 mm B= 14 mm C= 14 mm D= 14.6 mm
				SU	AB= 8.9 cm CD= 8.8 cm	SU	AB= 7.2 cm CD= 7.1 cm	SU	A= 10.4 mm B= 10 mm C= 10 mm D= 10 mm
M	5	C	10cm	IN	AB= 9.9 cm CD= 9.7 cm	IN	AB= 6.9 cm CD= 6.9 cm	IN	A= 22 mm B= 18 mm C= 19 mm D= 21 mm
				SU	AB= 9.5 cm CD= 9.3 cm	SU	AB= 7.0 cm CD= 7.0 cm	SU	A= 11.6 mm B= 11.6 mm C= 11.5mm D= 11.6 mm
M	6	C	10cm	IN	AB= 14 cm CD= 11 cm	IN	AB= 7.3 cm CD= 7.3 cm	IN	A= 14.4 mm B= 15.6 mm C= 14.4 mm D= 15 mm
				SU	AB= 12 cm CD= 11 cm	SU	AB= 7.2 cm CD= 7.1 cm	SU	A= 13.4m B= 15.4 mm C= 14.4mm D= 13.6 mm
M	7	C	10cm	IN	AB= 9.9 cm CD= 10.1 cm	IN	AB= 6.9 cm CD= 7.0 cm	IN	A= 14 mm B= 13.5 mm C= 14 mm D= 14 mm
				SU	AB= 9.7 cm CD= 9.8 cm	SU	AB= 7.0 cm CD= 7.2 cm	SU	A= 13 mm B= 12.4 mm C= 12.6 mm D= 12 mm
M	8	C	10cm	IN	AB= 10.1 cm CD= 10 cm	IN	AB= 7.3 cm CD= 7.0 cm	IN	A= 15 mm B= 14 mm C= 15 mm D= 14 mm
				SU	AB= 9.9 cm CD= 9.7 cm	SU	AB= 7.4 cm CD= 7.0 cm	SU	A= 13 mm B= 11.6 mm C= 13 mm D= 12 mm
I	9	C	10cm	IN	AB= 10.5 cm CD= 10.4 cm	IN	AB= 7.0 cm CD= 7.2 cm	IN	A= 16.8 mm B= 12.8 mm C= 15 mm D= 17 mm
				SU	AB= 10 cm CD= 10.1 cm	SU	AB= 6.9 cm CD= 7.3 cm	SU	A= 14 mm B= 14.5 mm C= 13 mm D= 15.6 mm
I	10	C	10cm	IN	AB= 10.7 cm CD= 10.8 cm	IN	AB= 7.2 cm CD= 7.4 cm	IN	A= 17.5 mm B= 16.6 mm C= 17 mm D= 18 mm
				SU	AB= 10.8 cm CD= 10.7 cm	SU	AB= 7.2 cm CD= 7.3 cm	SU	A= 20.5 mm B= 18 mm C= 16.5 mm D= 17 mm
I	11	C	10cm	IN	AB= 10.5 cm CD= 10.5 cm	IN	AB= 6.8 cm CD= 6.8 cm	IN	A= 16 mm B= 20 mm C= 17.3 mm D= 18.5 mm
				SU	AB= 10.1 cm CD= 10.1 cm	SU	AB= 6.8 cm CD= 6.8 cm	SU	A= 15 mm B= 17 mm C= 15.6 mm D= 17 mm
I	12	C	10cm	IN	AB= 10.3 cm CD= 10.3 cm	IN	AB= 7.3 cm CD= 7.2 cm	IN	A= 14.4 mm B= 15.5 mm C= 15.6 mm D= 15 mm
				SU	AB= 10 cm CD= 9.9 cm	SU	AB= 7.3 cm CD= 7.2 cm	SU	A= 12.5 mm B= 13.4 mm C= 13.4 mm D= 13 mm

Anexo 2. Ensayos Compresión, corte y flexión Zona Pacho

Ensayo de compresión con probetas zona pacho

NÚMERO DE PROBETA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Carga en Kn	1.8	1.2	0,94	0,89	9,5	0,84	1,6	1,19	1,02	0,82	0,65	1,17
	2.8	3.2	1,07	0,94	14,6	0,99	3,1	1,63	1,03	1,06	0,85	1,25
	3.7	4.9	1,27	1,03	24,3	1,02	4,2	1,89	1,04	1,25	1,03	1,75
	6.2	7.8	1,56	1,10	39,0	1,14	5,1	2,48	1,03	1,73	2,22	1,91
	10.2	13.9	2,22	1,15	56,2	1,28	6,4	2,79	1,02	2,29	3,34	2,08
	18.8	20.2	3,12	1,22	77,8	1,78	7,7	3,00	1,25	2,87	4,25	2,65
	36.2	27.2	4,02	1,46	97,3	2,23	9,5	3,45	1,58	3,12	9,22	3,62
	52.0	34.3	5,91	1,79	104	2,95	12,9	3,92	2,03	3,63	20,0	7,28
	66.2	44.2	7,45	2,22	falla	3,29	15,9	4,62	2,48	4,29	59,2	36,4
	80.3	54.6	9,42	2,93	81,2	4,52	24,5	5,79	2,88	5,31	89,0	81,2
	91.2	63.2	10,2	3,85	81,3	5,60	64,1	7,25	3,53	5,97	143,2	113,0
	99.3	70.1	12,5	4,9	81,3	28,2	93,2	99,0	4,24	6,72	falla	114,2
	103.1	76.0	17,2	6,52	82,3	44,2	99,2	12,2	5,09	9,52	138,0	115,0
	falla	83.1	24,3	8,32	82,1	falla	101,8	22,3	6,42	10,7	127,2	116,2
		87.2	29,2	10,2	83,3		falla	29,0	7,85	11,6	120,2	117,2
		91.3	37,4	17,9	84,4		101,4	45,2	9,72	12,2	117,2	falla
		94.0	45,2	31,3	85,0		100,7	66,2	11,2	12,6	118,3	
		98.0	53,1	41,4	85,6		100,8	94,0	15,9	12,8	118,2	
		100	62,3	59,4	86,1		96,4	109,4	22,3	13,0	118,4	
		falla	71,3	71,3	86,5		93,4	111,5	49,0	17,8		
			83,4	80,2	86,4			112,3	72,0	18,6		
			86,4	87,3	85,9			112,4	96,2	21,5		
			falla	91,5	85,0			falla	120,2	44,8		
				95,3	83,0				127,2	56,7		
				98,0	82,4				131,7	62,8		
				100,3	82,0				133,5	75,8		
			falla	81,8				134,2	83,2			
				81,7				falla	100,5			
				81,2					105,8			
									falla			

Contenido de humedad probetas Pacho ensayo compresión

Número de probeta	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Peso antes de falla	290	301	275	300	323	296	296	305	415	468	506	445
Peso después de falla	172	175	165	172	190	173	159	167	238	257	266	247

Ensayo de corte con nudo probetas de Pacho

Número de probeta	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Max Carga En Kn	31	20	29	27	26	24	28	45	31	27	38	36	33	29.5	40.2

Contenido de humedad probetas Pacho ensayo corte con nudo

Número de probeta	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Peso antes de falla	319	278	352	314	298	336	343	410	372	284	415	502	417	367	412
Peso después de falla	187	166	204	179	180	197	196	232	214	171	238	562	236	209	234

Ensayo de corte sin nudo probetas de Pacho

Número de probeta	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Max Carga En Kn	26	17	37	30	31	29	37	33	32	38	38	49	35	43	32

Contenido de humedad probetas Pacho ensayo corte sin nudo

Número de probeta	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Peso antes de falla	229	212	268	256	225	307	291	320	274	303	312	379	337	378	366
Peso después de falla	127	135	162	152	141	177	174	180	163	176	184	218	198	221	217

Ensayo de flexión probetas zona Pacho

NUMERO DE PROBETA	P1		P2		P3		P4
Carga en Kn	2,40	12,65	2,48	7,35	2,33	9,96	2,20
	2,66	12,75	2,55	7,39	2,43	9,99	2,49
	2,85	12,87	2,67	7,43	2,57	10,04	2,70
	3,04	12,97	2,75	7,46	2,76	10,10	2,81
	3,22	13,06	2,84	7,49	2,96	10,16	2,98
	3,40	13,12	2,88	7,51	3,10	10,20	3,12
	3,56	13,21	3,00	7,54	3,24	10,26	3,27
	3,75	13,33	3,10	7,57	3,40	10,29	3,43
	3,89	13,40	3,17	falla	3,59	10,33	3,57
	4,05	13,49	3,22		3,68	10,36	3,69
	4,22	13,50	3,42		3,83	10,38	3,83
	4,40	13,64	3,54		3,98	falla	3,94
	4,57	13,75	3,66		4,12		4,12
	4,74	13,80	3,73		4,22		4,24
	4,91	13,85	3,79		4,42		4,31
	5,10	13,92	3,90		4,59		4,54
	5,25	13,98	3,98		4,69		4,69
	5,42	14,04	4,05		4,87		4,81
	5,57	14,08	4,14		5,01		4,95
	5,75	14,11	4,24		5,14		5,09
	5,92	14,19	4,35		5,31		5,10
	6,07	14,23	4,44		5,44		5,35
	6,25	14,32	4,59		5,60		5,47
	6,42	14,39	4,72		5,74		5,49
	6,60	14,46	4,81		5,91		5,77
	6,75	14,52	4,86		6,05		5,86
	6,92	14,58	4,95		6,29		6,01
	7,10	14,62	5,04		6,40		6,17
	7,27	14,67	5,12		6,47		6,35
	7,44	14,73	5,25		6,66		6,49
	7,65	14,78	5,30		6,80		6,65
	7,79	14,82	5,32		6,94		6,83
	7,97	14,88	5,47		7,08		7,01
	8,12	14,91	5,55		7,28		7,15
	8,35	14,96	5,64		7,37		7,27
	8,48	15,01	5,73		7,51		7,43
	8,63	Falla	5,83		7,65		7,63
	8,81		5,92		7,77		7,72
	8,99		6,03		7,93		7,82
	9,19		6,11		8,05		7,94
	9,34		6,20		8,18		8,06
	9,52		6,27		8,32		8,15
9,68		6,37		8,41		8,26	
9,83		6,44		8,58		8,33	
10,03		6,50		8,65		8,39	
10,17		6,56		8,75		8,41	
10,33		6,60		8,86		8,44	
10,49		6,67		8,94		Falla	
10,65		6,72		9,05		843	
10,88		6,79		9,13		834	
11,00		6,80		9,24		822	
11,15		6,85		9,33		804	
1136		6,86		9,39		799	
11,48		6,92		9,46		782	
11,65		6,96		9,52		772	
11,79		7,00		9,60		760	
11,90		7,06		9,65		754	
12,05		7,10		9,68		741	
12,18		7,14		9,74		731	
12,31		7,18		9,81			
12,42		7,24		9,88			
12,55		7,27		9,92			

Anexo 3. Ensayos de compresión, corte y flexión zona Sylvania

Ensayo de compresión probetas zona Sylvania

NÚMERO DE PROBETA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	
Carga en Kn	1.1	0.7	2.1	3.1	1.3	4.9	0.1	0.7	1.3	0.98	1.15	0.92	
	1.6	1.3	3.5	9.1	2.6	11.9	0.4	2.0	2.4	1.42	1.17	1.8	
	2.5	2.8	5.2	10.5	4.1	23.2	0.7	9.2	2.5	2.02	1.19	2.4	
	3.2	4.9	7.3	11.8	5.0	42.1	1.1	31.0	4.8	3.1	1.23	4.9	
	4.0	9.5	11.0	14.2	6.1	56.6	1.5	71.0	6.9	3.9	1.32	7.9	
	5.0	17.0	24.0	17.6	7.4	66.7	2.1	82.0	9.7	4.9	1.48	8.4	
	6.5	33.0	39.0	24.8	9.3	76.1	3.2	87.0	15.0	6.2	1.67	11.9	
	8.7	56.0	71.0	35.4	11.9	83.7	6.0	90.2	34.0	7.6	2.58	12.2	
	13.0	73.0	78.0	54.9	17.6	89.6	14.0	91.7	69.0	10.1	3.22	29.4	
	23.0	75.6	80.0	66.5	28.1	93.2	35.0	92.9	89.0	16.1	4.42	46.5	
	32.0	75.9	82.7	78.4	45.0	96.4	53.0	94.0	111	31.0	5.52	67.6	
	43.0	falla	83.3	89.4	54.0	98.3	73.0	94.5	119	45.2	6.07	73.8	
	61.0		87.7	93.4	63.0	100.5	87.0	95.0	122.2	68.4	8.9	83.1	
	66.4	falla		falla	falla	72.0	102.1	94.0	123.4	101	11.9	94.6	
						81.0	103.1	98.0	123.5	160	16.9	99.4	
						90.0	104.2	100	96.3	falla	170	29.0	102.8
						falla	104.7	101	96.7		174	46.0	104.9
							105.2	102.9	97.1		176	113	falla
							105.7	103.4	97.5		177	falla	
							106.2	104.1	97.8		178.3		
							106.6	104.2	98.1		178.9		
							106.9	104.3	98.4		179.8		
							107.1	falla	98.6		falla		
							107.2		98.9				
							107.4		99.2				
							107.5		99.3				
							falla		100.1				
								101.2					
								falla					

Contenido de humedad probetas Sylvania ensayo compresión

Número de probeta	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Peso en gr. antes de falla	294	350	297	299	345	445	382	384	452	557	476	403
Peso en gr. después de falla	144	161	185	186	202	250	209	216	252	332	251	229

Ensayo de corte con nudo probetas de Sylvania

Número de probeta	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Max Carga En Kn	29	29	27	31	30	30	23	40	32	34	40	44	70	61	61

Contenido de humedad probetas Sylvania ensayo corte con nudo

Número de probeta	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Peso en gr. antes de falla	301	355	332	390	317	458	457	501	409	454	633	467	632	566	595
Peso en gr. después de falla	167	180	170	187	168	246	248	259	234	248	383	260	367	357	375

Ensayo de corte sin nudo probetas de Sylvania

Número de probeta	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Max Carga En Kn	25	33	22	29	28	37	38	24	27	36	37	35	40	35	36

Contenido de humedad probetas Sylvania ensayo corte sin nudo

Número de probeta	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Peso en gr. antes de falla	230	243	269	301	255	270	315	330	302	337	356	370	418	461	492
Peso en gr. después de falla	125	131	136	145	136	172	197	198	191	186	238	259	243	292	310

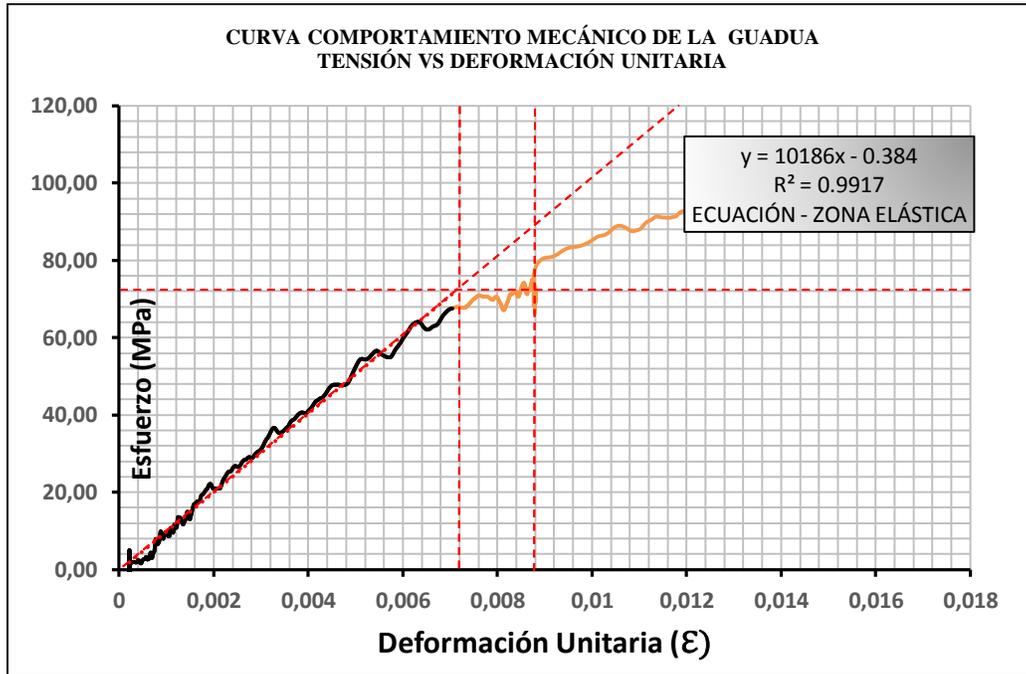
Ensayo de flexión zona Sylvania

NÚMERO DE PROBETA	P1		P2		P3	P4
Carga en Kn	0.04	8.49	1.38	8.73	1.58	1.74
	0.06	8.57	1.52	8.76	1.74	1.96
	01.2	8.66	1.61	8.78	1.92	2.15
	1.40	8.79	1.84	8.80	2.10	2.34
	1.55	8.88	2.04	8.82	2.36	2.64
	1.70	8.97	2.17	8.83	2.53	2.88
	1.82	9.08	2.55	8.85	2.76	3.06
	1.92	9.19	2.67	8.86	2.98	3.28
	2.07	9.26	2.91	falla	3.17	3.44
	2.20	9.28	3.07		3.33	3.64
	2.32	9.44	3.27		3.52	3.84
	2.43	9.55	3.46		3.70	4.04
	2.58	9.62	3.69		3.89	4.13
	2.72	9.72	3.89		4.08	4.33
	2.83	9.81	4.07		4.20	4.52
	2.96	9.91	4.25		4.40	4.65
	3.06	9.98	4.43		4.57	4.81
	3.23	10.01	4.62		4.78	4.99
	3.36	10.15	4.78		4.98	5.15
	3.45	1.24	4.97		5.12	5.30
	3.52	10.33	5.14		5.22	5.41
	3.67	10.40	5.30		5.37	5.55
	3.78	10.49	5.47		5.51	5.68
	3.90	10.55	5.64		5.71	5.83
	4.01	10.62	5.80		5.85	5.92
	4.20	10.72	5.95		5.99	6.04
	4.32	10.79	6.10		6.12	6.13
	4.43	10.87	6.24		6.28	6.24
	4.57	10.92	6.38		6.44	6.31
	4.69	11.02	6.52		6.66	6.39
	4.81	11.08	6.65		6.73	6.47
	4.92	11.15	6.78		6.82	6.57
	5.10	11.20	6.91		6.92	6.69
	5.20	11.28	7.02		7.00	6.77
	5.32	11.33	7.12		7.10	6.82
	5.49	11.41	7.23		7.18	6.87
	5.58	11.47	7.32		7.25	6.92
	5.70	11.54	7.42		7.32	6.97
	5.81	11.59	7.51		7.39	7.00
	5.92	11.66	7.59		7.45	7.05
6.13	11.72	7.65		7.51	7.08	
6.28	11.81	7.72		7.58	falla	
6.37	11.87	7.80		7.66		
6.42	11.93	7.86		7.70		
6.60	11.94	7.92		7.75		
6.68	11.95	8.00		7.88		
6.80	11.99	8.05		7.82		
6.91	12.00	8.12		7.89		
7.01	12.02	8.18		7.94		
7.15	12.04	8.25		falla		
7.27	12.09	8.28				
7.32	12.12	8.34				
7.49	12.13	8.39				
7.62	12.14	8.44				
7.70	falla	8.50				
7.84		8.56				
7.91		8.59				
8.08		8.63				
8.15		8.66				
8.26		8.69				
8.40		8.71				

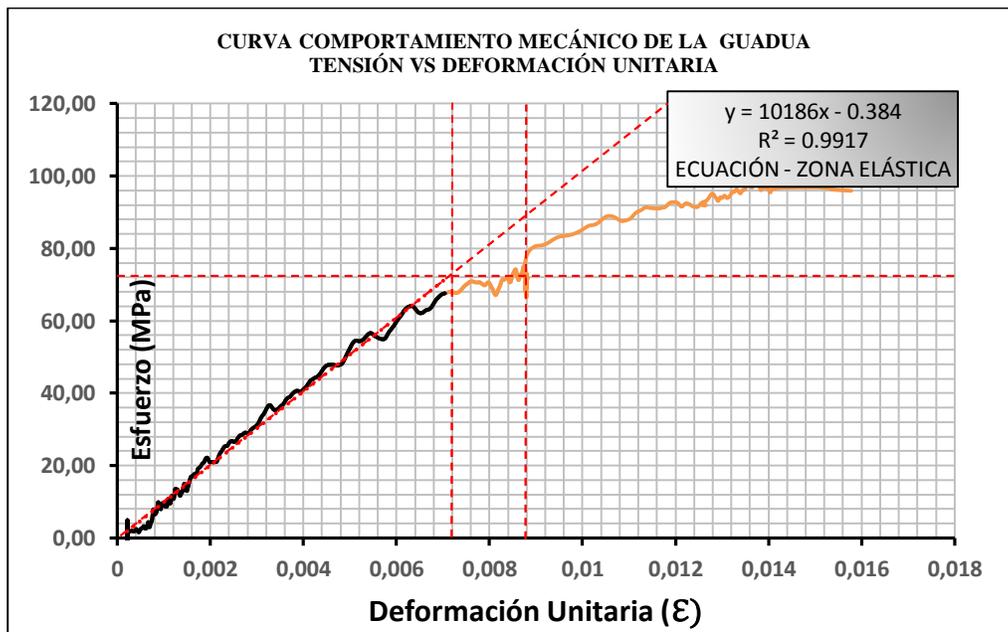
**Contenido de humedad ensayo de flexión
Silvania**

Número de probeta	P1	P2	P3	P4
Peso en gr. antes de falla	168	131	327	326
Peso en gr. después de falla	110	93	220	206

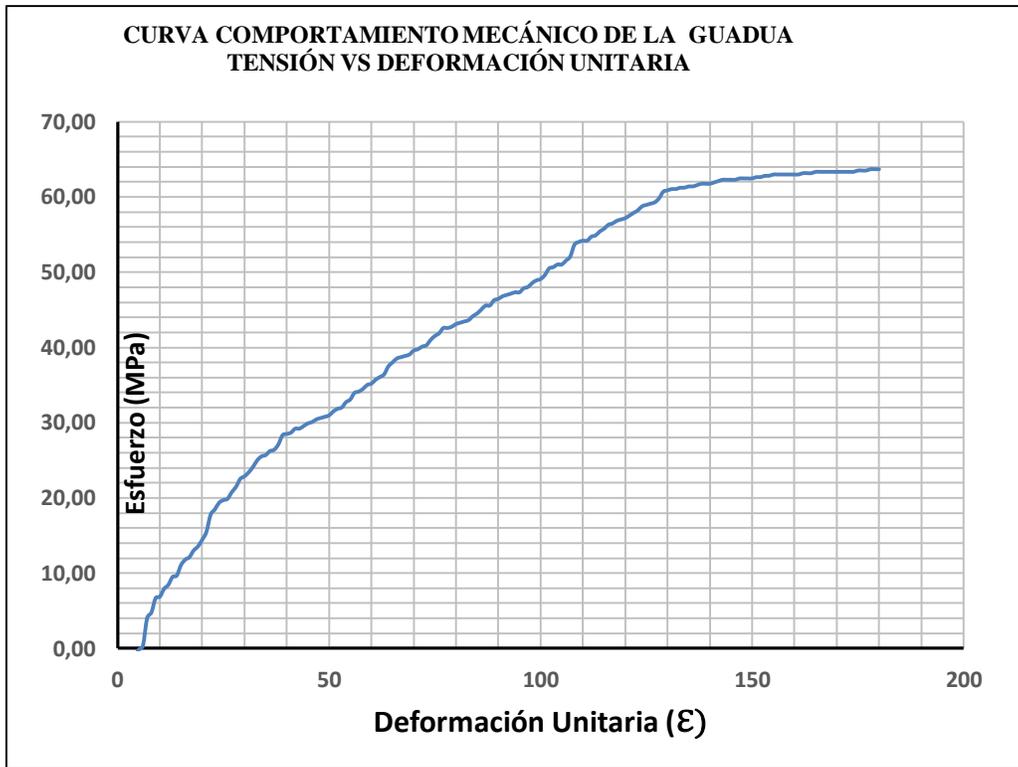
Anexo 4. Diagramas del ensayo a tensión zonas Sylvania y Pacho



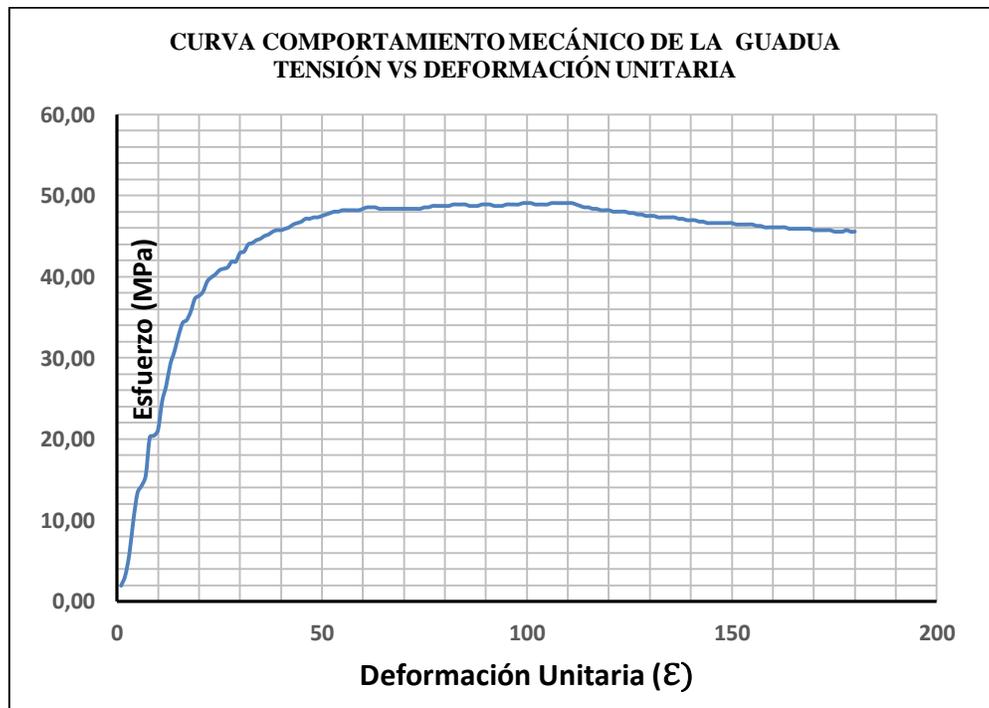
Gráfica 1. Probeta 1 zona Sylvania



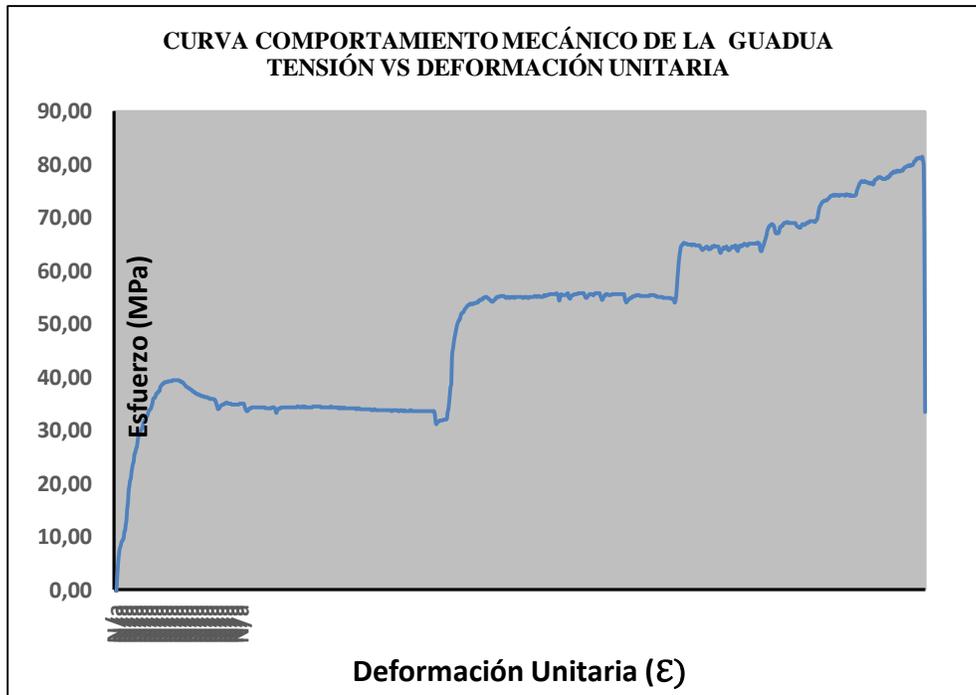
Gráfica 2. Probeta 2 zona Sylvania



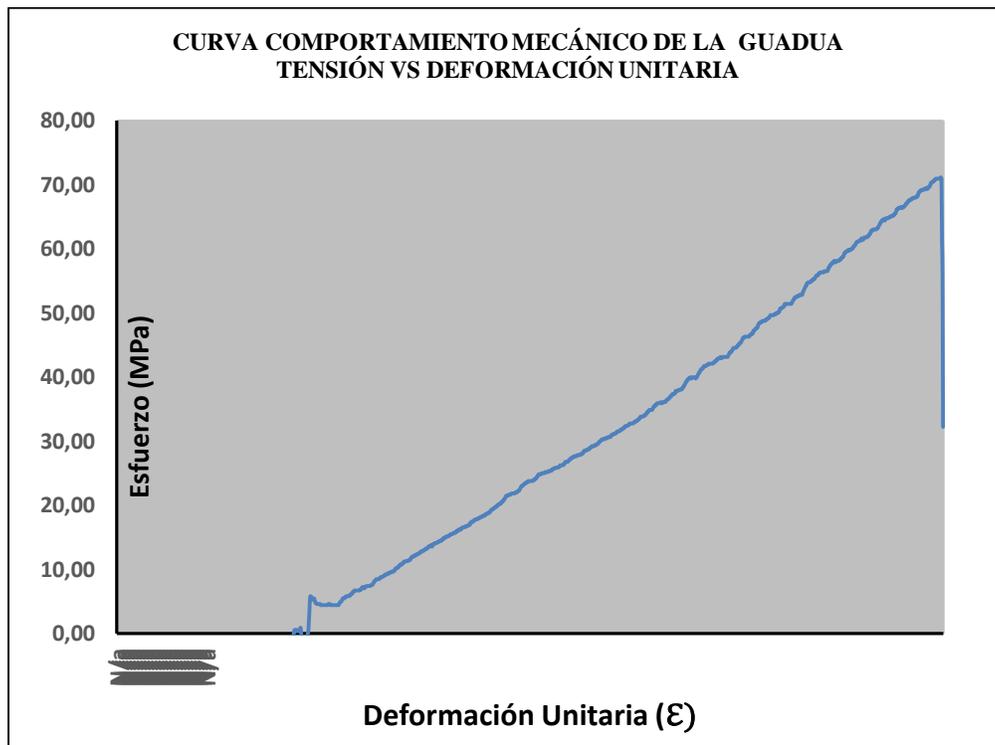
Gráfica 3. Probeta 3 zona Sylvania



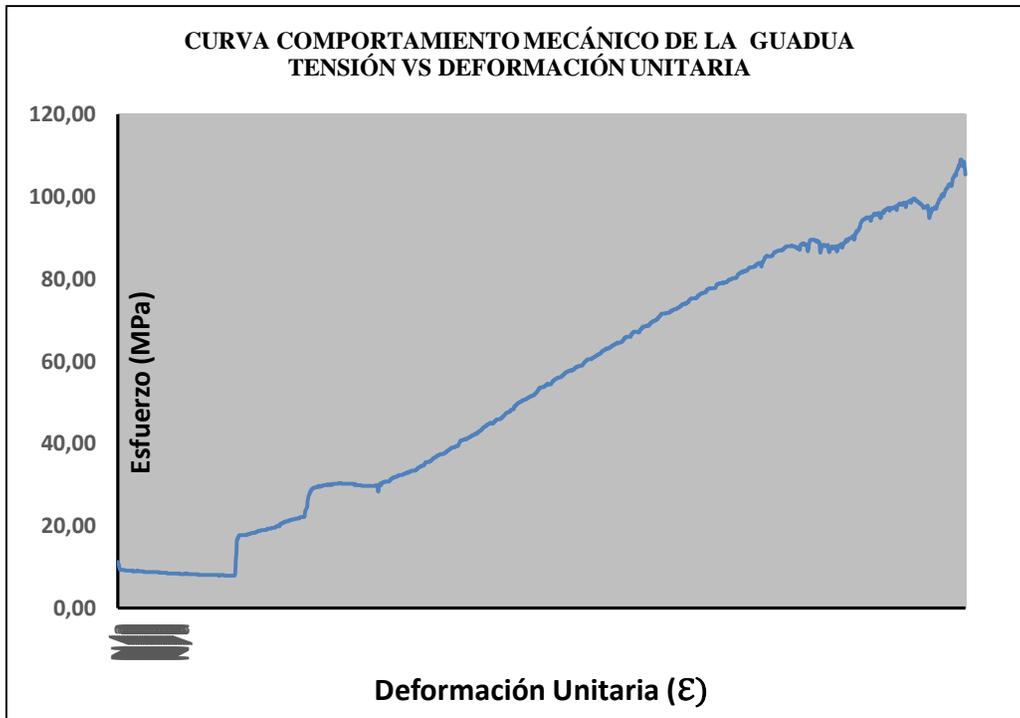
Gráfica 4. Probeta 4 zona Sylvania



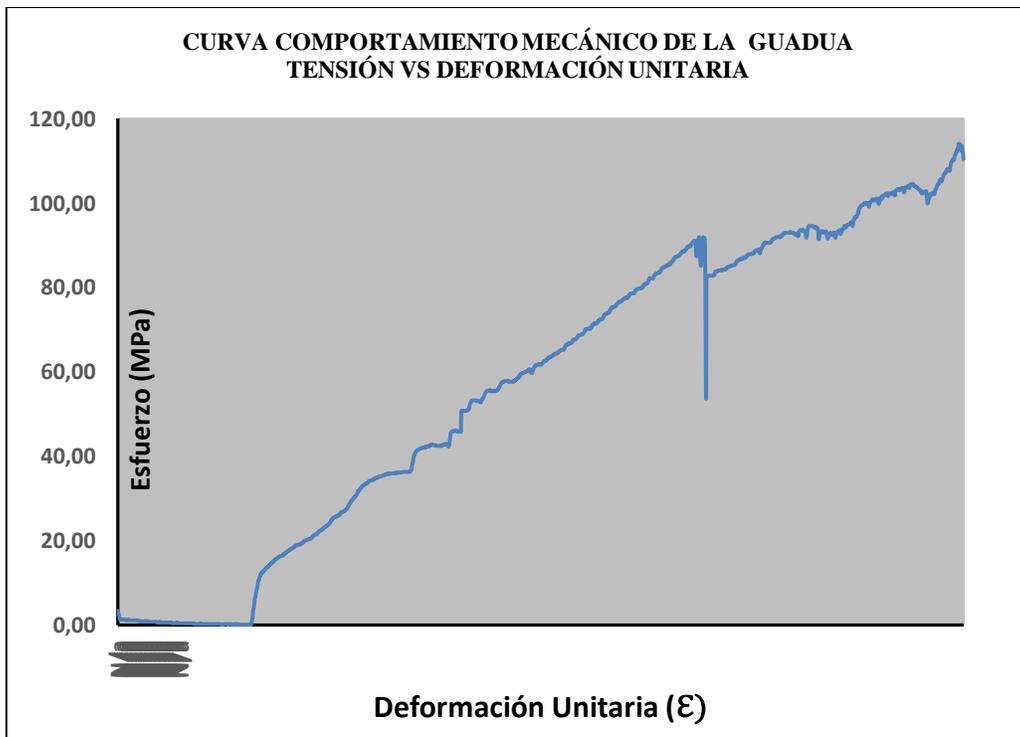
Gráfica 5. Probeta 5 zona Sylvania



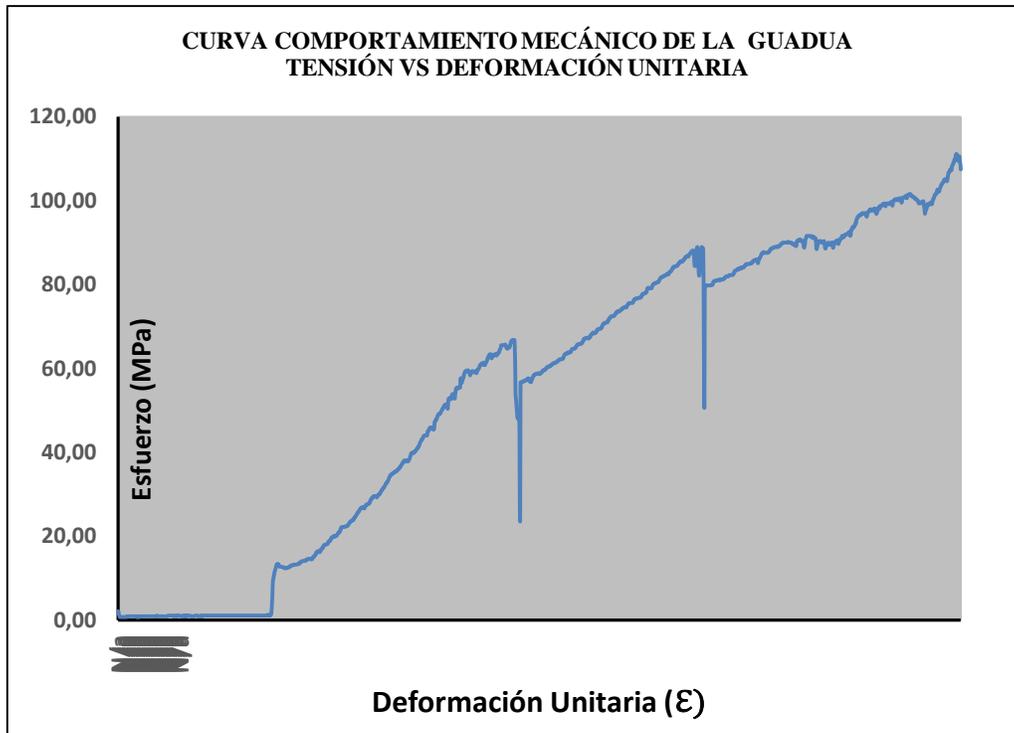
Gráfica 6. Probeta 6 zona Sylvania



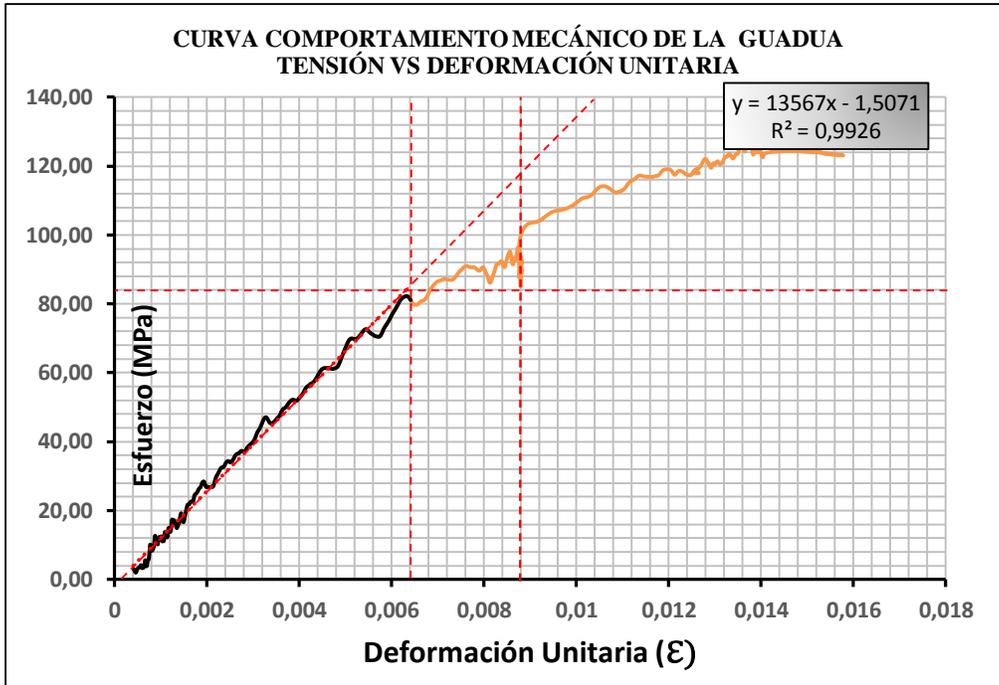
Gráfica 7. Probeta 7 zona Sylvania



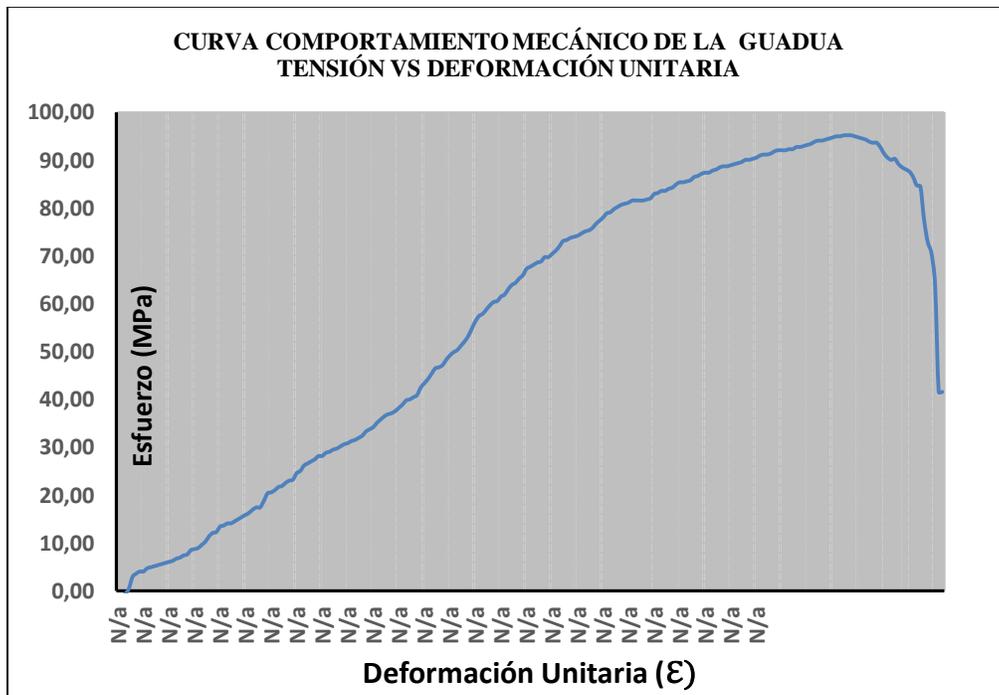
Gráfica 8. Probeta 8 zona Sylvania



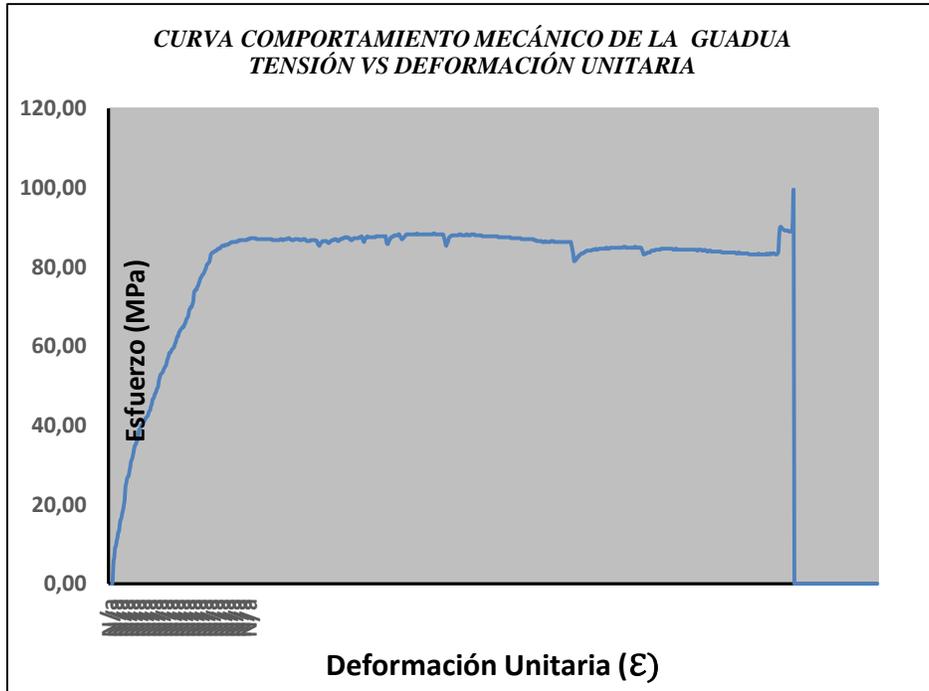
Gráfica 9. Probeta 9 zona Sylvania



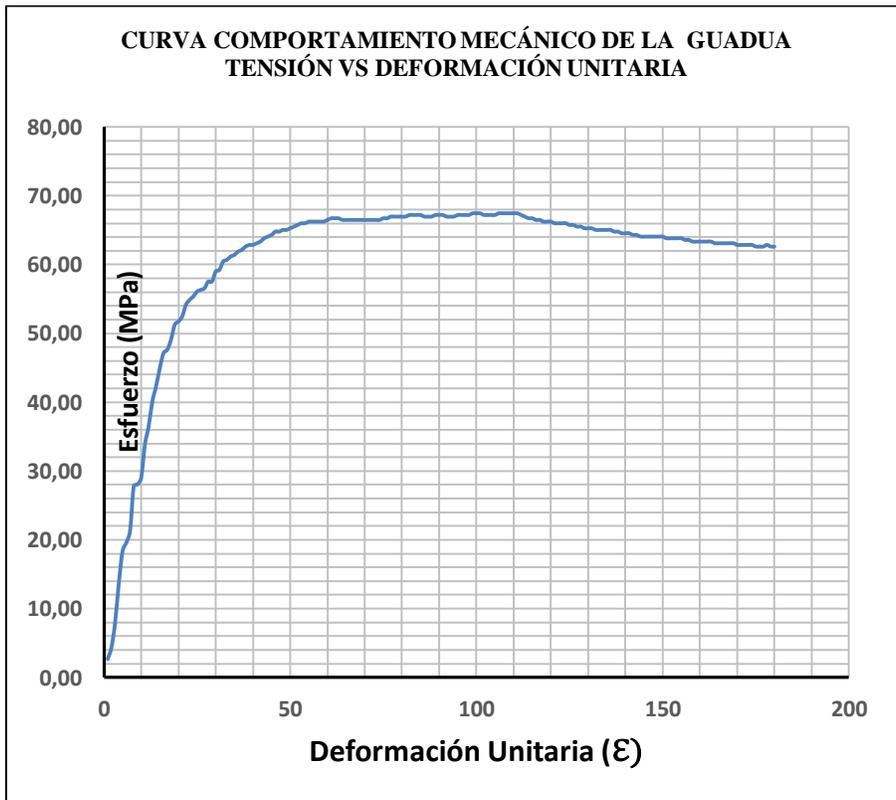
Gráfica 10. Probeta 1 zona Pacho



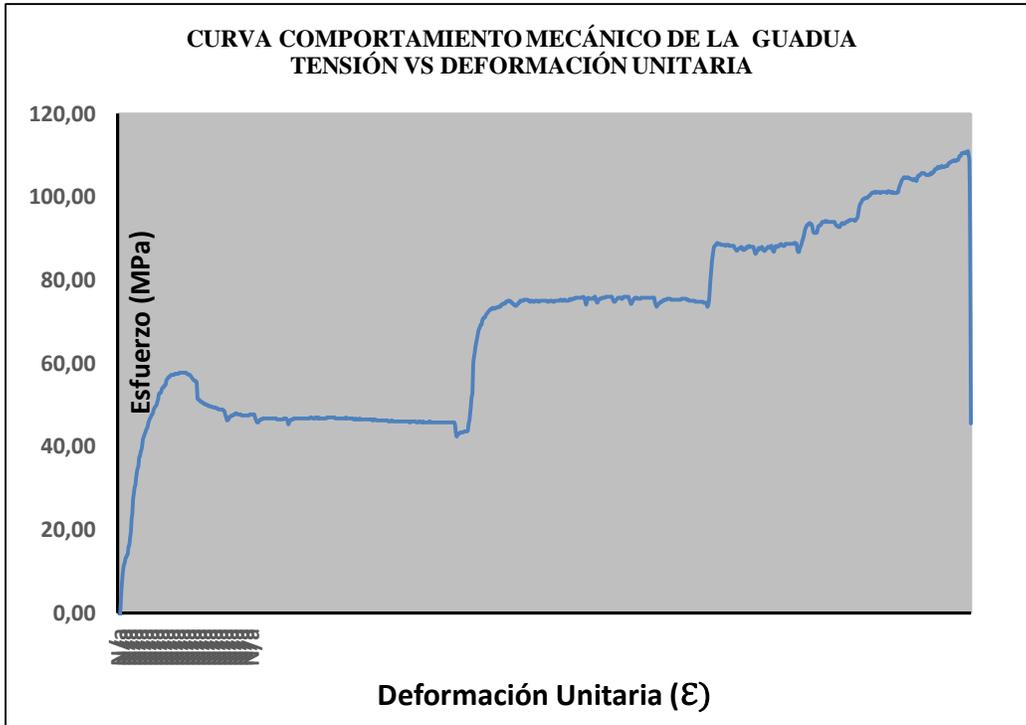
Gráfica 11. Probeta 2 zona Pacho



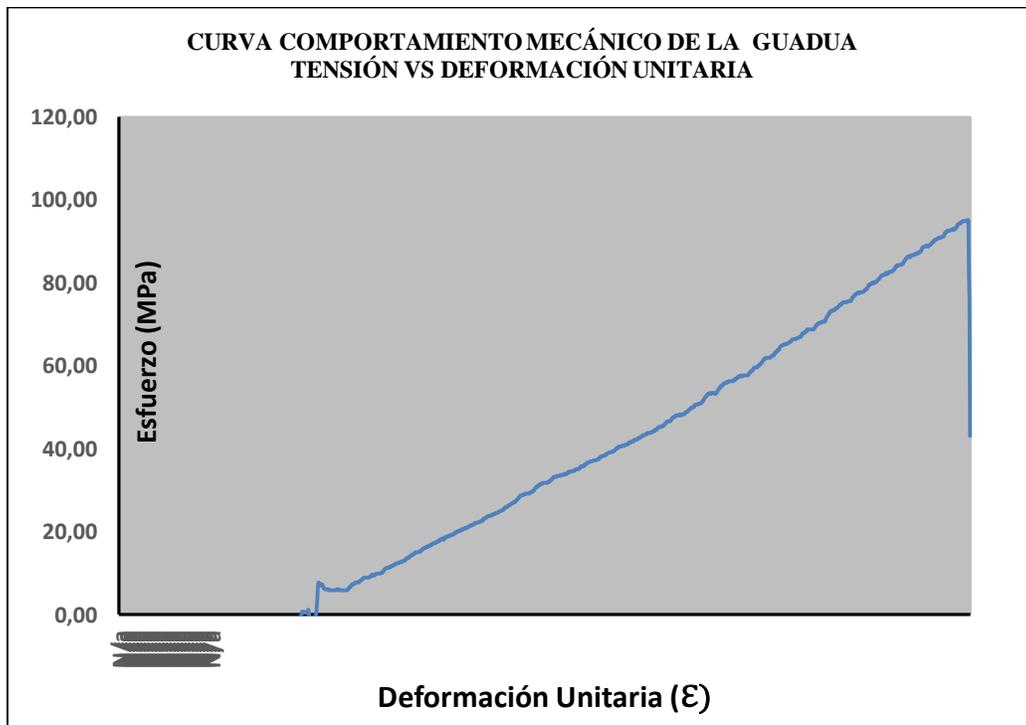
Gráfica 12. Probeta 3 zona Pacho



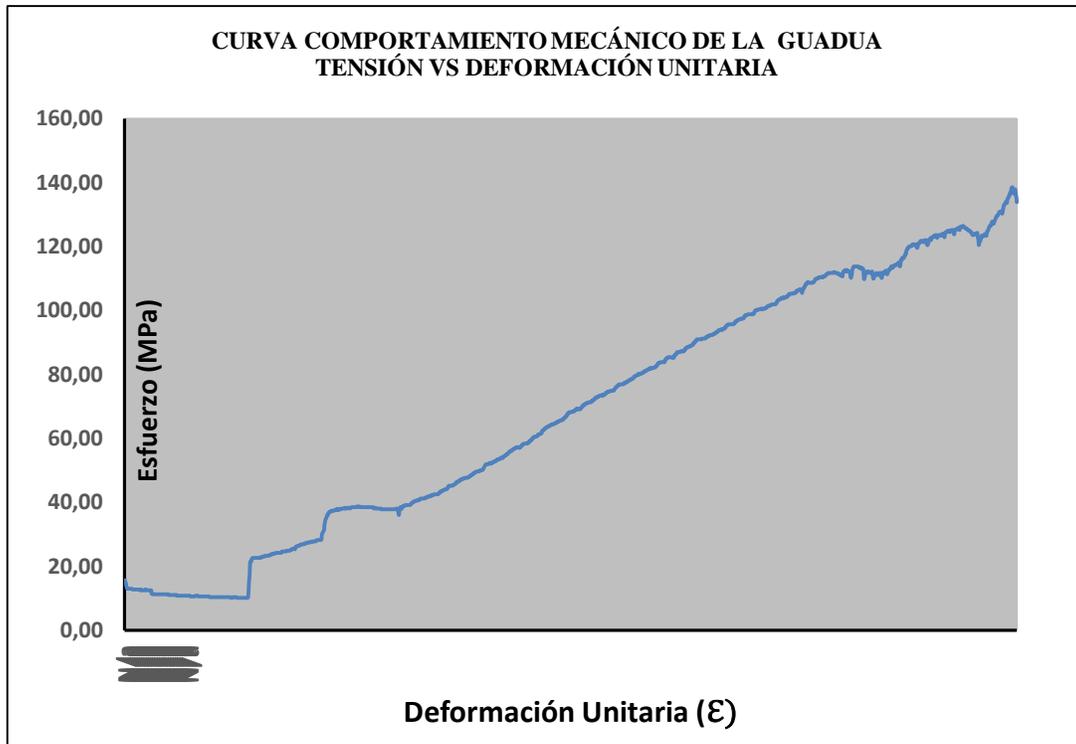
Gráfica 13. Probeta 4 zona Pacho



Gráfica 14. Probeta 5 zona Pacho

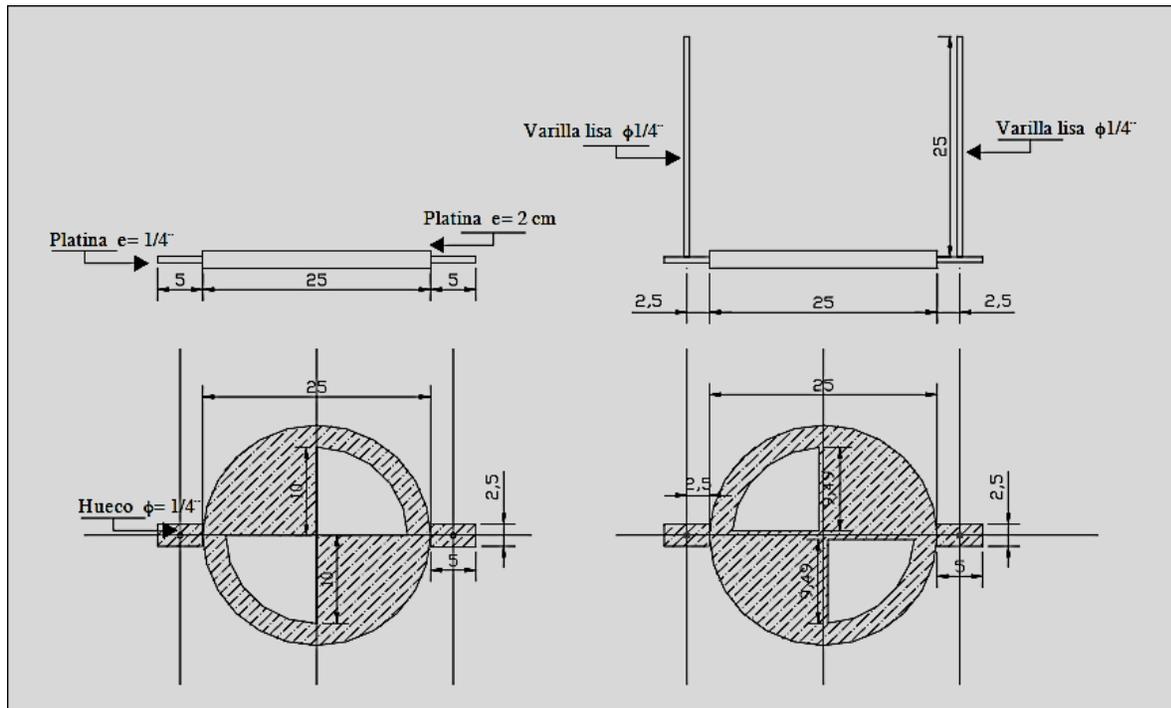


Gráfica 15. Probeta 6 zona Pacho

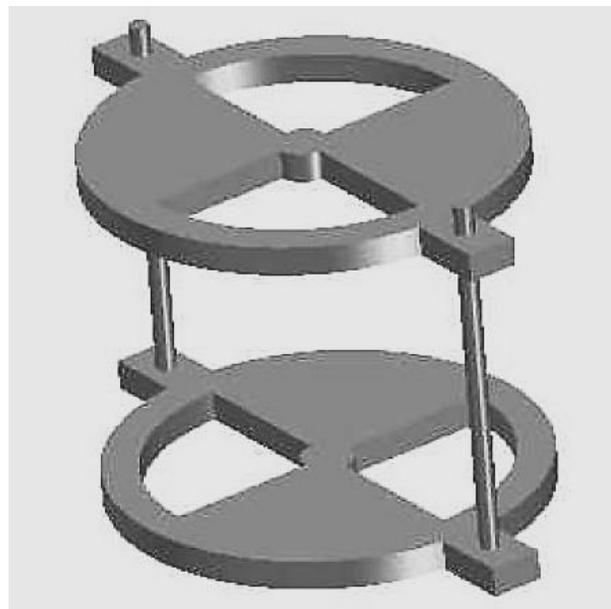


Gráfica 16. Probeta 7 zona Pacho

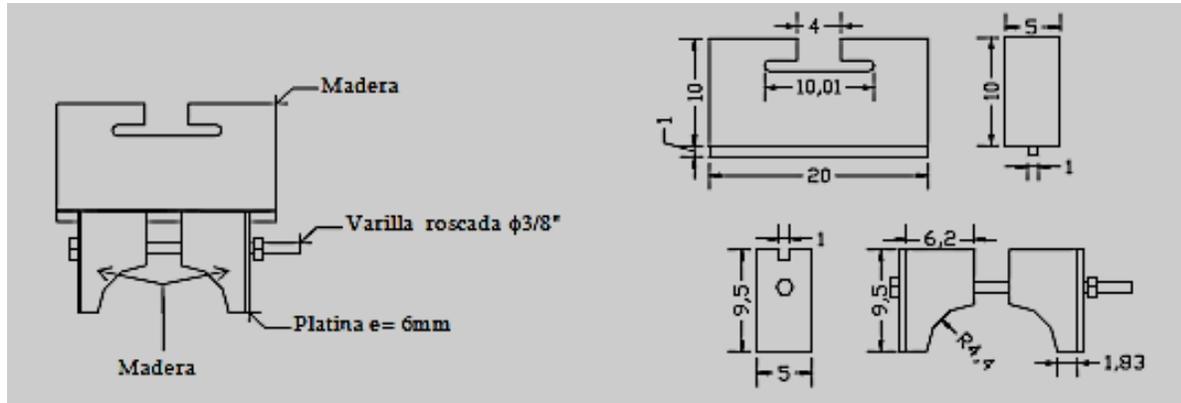
Anexo 5. Planos para la fabricación de dispositivos para corte y flexión



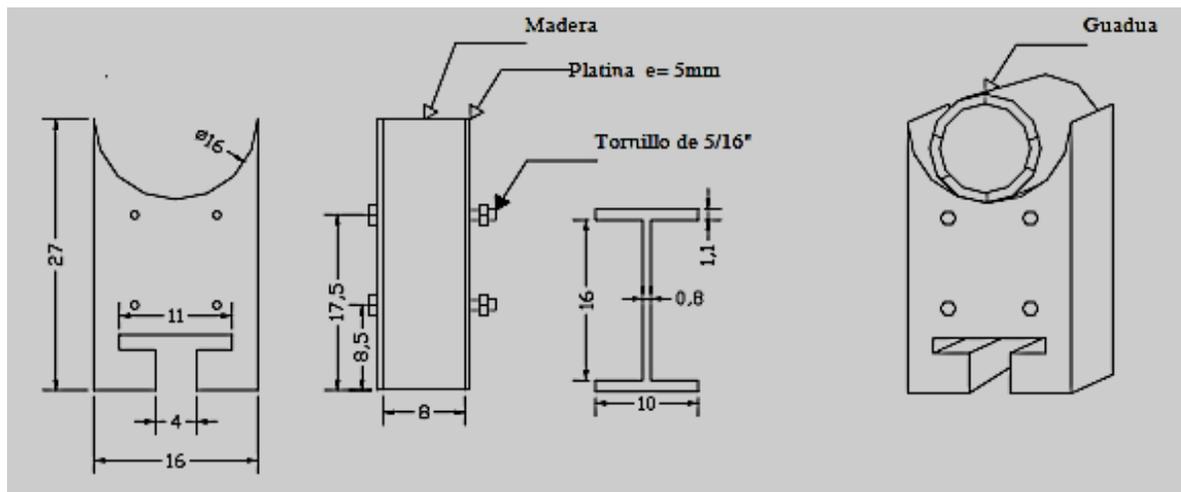
Gráfica 17. Dispositivos de ensayos para corte paralelo a la fibra.
Tomado de: Castrillón y Malaver 2004.



Gráfica 18 Vista 3D. Dispositivo de ensayo.
Tomado de: Castrillón y Malaver 2004.



Gráfica 19 Dispositivos de carga para ensayos de guadua a flexión. Dimensiones en cm.
Tomado de: Castrillón y Malaver 2004.



Gráfica 20 Dispositivos de apoyo para ensayos de guadua a flexión. Dimensiones en cm.
Tomado de: Castrillón y Malaver 2004.



*Gráfica 21 Vista 3D. Dispositivo de apoyo y de carga.
Tomado de: Castrillón y Malaver 2004.*