

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA GUADUA EXPUESTA
Y NO EXPUESTA A RAYOS UV MEDIANTE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS**

**CARLOS FERNANDO RAMÍREZ GÁLVEZ
CÓDIGO: 504563**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD AUXILIAR DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D.C
2019**

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA GUADUA EXPUESTA
Y NO EXPUESTA A RAYOS UV MEDIANTE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS**

**CARLOS FERNANDO RAMÍREZ GÁLVEZ
CÓDIGO: 504563**

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

**Directora
OLGA LUCÍA VANEGAS ALFONSO
Ingeniera Civil
Líder del semillero SiGesCo**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD AUXILIAR DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D.C
2019**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., septiembre de 2019

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. GENERALIDADES	20
1.1 ANTECEDENTES	20
1.1.1 Compression resistance and shear strength of guadua angustifolia culms after drilling of the node diaphrag	20
1.1.2 Determinación de la resistencia a tensión y cizalladura de la guadua angustifolia kunth	21
1.1.3 Estudio de las propiedades físico mecánicas de la guadua angustifolia kunth de Loja, e implementación de este como material de construcción	21
1.1.4 Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructura	22
1.1.5 Análisis de las propiedades mecánicas de la guadua angustifolia mediante técnicas estadísticas y redes neuronales	23
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	23
1.3 OBJETIVOS	24
1.3.1 Objetivo general	24
1.3.2 Objetivos específicos	24
1.4 JUSTIFICACIÓN	24
1.5 DELIMITACIÓN	25
1.6 MARCO DE REFERENCIA	26
1.6.1 Marco Teórico	26
1.6.1.1 Guadua o bambú	26
1.6.1.2 Máquina de prueba universal multi-parámetros MTS	28
1.6.1.3 Radiación ultravioleta	29
1.6.1.4 Normas técnicas colombianas para la guadua	30
1.6.2 Marco conceptual	31
1.6.2.1 Ensayo de compresión paralela a la fibra	32
1.6.2.2 Ensayo de compresión perpendicular a la fibra	33
1.6.2.3 Exposición a rayos UV	34
1.6.2.4 Determinación del contenido de humedad	35
1.6.3 Estado del arte	36
1.7 METODOLOGÍA	37
1.7.1 Tipo de investigación	37

1.7.2 Fuentes de información	38
1.7.2.1 Fuentes de información primarias	38
1.7.2.2 Fuentes de información secundarias	38
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO	38
1.8.1 Fase 1	38
1.8.1.1 Etapa 1	38
1.8.1.2 Etapa 2	38
1.8.2 Fase 2	38
1.8.2.1 Etapa 1	39
1.8.2.2 Etapa 2	39
1.8.3 Fase 3	39
1.8.3.1 Etapa 1	39
1.8.3.2 Etapa 2	39
2. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL	40
3. EXPOSICIÓN A RAYOS UV	46
4. ENSAYOS DE LABORATORIO	49
4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA	51
4.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA	53
4.3 PORCENTAJE DE HUMEDAD	56
5. RESULTADOS	59
5.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA	59
5.1.1 Muestras expuestas a rayos UV	59
5.1.1.1 Muestra 061_A_S_VIII	59
5.1.1.2 Muestra 072_A_N_VIII	61
5.1.1.3 Muestra 086_B_S_VIII	63
5.1.1.4 Muestra 092_B_N_VIII	65
5.1.1.5 Muestra 101_C_S_VIII	67
5.1.1.6 Muestra 104_C_N_VIII	69
5.1.2 Muestras no expuestas a rayos UV	71
5.1.2.1 Muestra 070_A_S_VIII	71
5.1.2.2 Muestra 075_A_N_VIII	73
5.1.2.3 Muestra 085_B_S_VIII	75
5.1.2.4 Muestra 095_B_N_VIII	77
5.1.2.5 Muestra 105_C_S_VIII	79

5.1.2.6 Muestra 107_C_N_VIII	81
5.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA	83
5.2.1 Muestras expuestas a rayos UV	83
5.2.1.1 Muestra 067_A_S_VIII	83
5.2.1.2 Muestra 079_A_N_VIII	85
5.2.1.3 Muestra 081_B_S_VIII	87
5.2.1.4 Muestra 100_B_N_VIII	89
5.2.1.5 Muestra 102_C_S_VIII	91
5.2.1.6 Muestra 103_C_N_VIII	93
5.2.2 Muestras no expuestas a rayos UV	96
5.2.2.1 Muestra 069_A_S_VIII	96
5.2.2.2 Muestra 080_A_N_VIII	98
5.2.2.3 Muestra 088_B_S_VIII	100
5.2.2.4 Muestra 098_B_N_VIII	102
5.2.2.5 Muestra 106_C_S_VIII	104
5.2.2.6 Muestra 108_C_N_VIII	106
5.3 CONTENIDO DE HUMEDAD	108
5.3.1 Contenido de humedad de las muestras expuestas a rayos ultravioleta	108
5.3.2 Contenido de humedad de las muestras no expuesta a rayos ultravioleta	109
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	110
6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA	110
6.1.1 Histogramas de frecuencia para la compresión paralela a la fibra	115
6.1.1.1 Histograma de frecuencia para la resistencia a la compresión	116
6.1.1.2 Histograma de frecuencias para el módulo de elasticidad	117
6.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA	119
6.2.1 Histogramas de frecuencia para la compresión perpendicular a la fibra	122
6.2.1.1 Histograma de frecuencia para la resistencia a la compresión	122
6.2.1.2 Histograma de frecuencias para el módulo de elasticidad	124
7. CONCLUSIONES	127
8. RECOMENDACIONES	128
Bibliografía	129
ANEXOS	132

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes de un culmo de guadua	27
Figura 2. Equipo Exceed E45	28
Figura 3. Categorías de exposición a la radiación UV	30
Figura 4. Almacenamiento del material en la Universidad Católica de Colombia ..	40
Figura 5. Muestras de diferentes diámetros.....	41
Figura 6. Nomenclatura para identificación de muestras	41
Figura 7. Muestra identificada con nudo	42
Figura 8. Muestra identificada sin nudo	42
Figura 9. Culmo marcado para división en cuartos y toma de medidas.....	43
Figura 10. Proceso de medición	44
Figura 11. Medición de longitud	44
Figura 12. Medición de diámetro.....	45
Figura 13. Medición de espesor de pared.....	45
Figura 14. Tubos UV-B marca ReptiSun.....	46
Figura 15. Montaje de las lámparas.....	47
Figura 16. Distribución del material bajo las lámparas.....	47
Figura 17. Muestras sometidas a rayos UV	48
Figura 18. Incubadora.....	48
Figura 19. Equipo MTS del laboratorio de materiales de la UC de C.....	49
Figura 21. Balanza digital	50
Figura 22. Horno	50
Figura 23. Ensayo a compresión muestra de 5 cm de diámetro	52
Figura 24. Ensayo a compresión muestra de 10 cm de diámetro	52
Figura 25. Ensayo a compresión muestra de 15 cm de diámetro	53
Figura 26. Ensayo a compresión perpendicular muestra de 5 cm de diámetro	55
Figura 27. Ensayo a compresión perpendicular muestra de 10 cm de diámetro ...	55
Figura 28. Ensayo a compresión perpendicular muestra de 15 cm de diámetro ...	56
Figura 29. Pesaje de muestra	57
Figura 30. Muestras en horno de secado	57
Figura 31. Muestras en horno de secado -2-	58
Figura 32. Formato caracterización probeta de 5cm sin nudo	132
Figura 33. Formato caracterización probeta de 5cm con nudo	133
Figura 34. Formato caracterización probeta de 10 cm sin nudo	134
Figura 35. Formato caracterización probeta de 10 cm con nudo	135
Figura 36. Formato caracterización probeta de 15cm sin nudo	136
Figura 37. Formato caracterización probeta de 15 cm con nudo	137
Figura 38. Registro fotográfico ensayo a compresión paralela, probetas de 5 cm	142
Figura 39. Registro fotográfico ensayo a compresión paralela, probetas de 10 cm	143
Figura 40. Registro fotográfico ensayo a compresión paralela, probetas de 15 cm	144

Figura 41. Registro fotográfico ensayo a compresión perpendicular a la fibra, probetas de 5 cm145

Figura 42. Registro fotográfico ensayo a compresión perpendicular a la fibra, probetas de 10 cm146

Figura 43. Registro fotográfico ensayo a compresión perpendicular a la fibra, probetas de 15 cm147

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Diagrama esfuerzo vs deformación (061_A_S_VIII).....	60
Gráfica 2. Diagrama sección elástica para módulo de Young (061_A_S_VIII)	61
Gráfica 3. Diagrama esfuerzo vs deformación (072_A_N_VIII)	62
Gráfica 4. Diagrama sección elástica para módulo de Young (072_A_N_VIII)	63
Gráfica 5. Diagrama esfuerzo vs deformación (086_B_S_VIII).....	64
Gráfica 6. Diagrama sección elástica para módulo de Young (086_B_S_VIII)	65
Gráfica 7. Diagrama esfuerzo vs deformación (092_B_N_VIII)	66
Gráfica 8. Diagrama sección elástica para módulo de Young (092_B_N_VIII)	67
Gráfica 9. Diagrama esfuerzo vs deformación (101_C_S_VIII)	68
Gráfica 10. Diagrama sección elástica para módulo de Young (101_C_S_VIII)	69
Gráfica 11. Diagrama esfuerzo vs deformación (104_C_N_VIII)	70
Gráfica 12. Diagrama sección elástica para módulo de Young (104_C_N_VIII)....	71
Gráfica 13. Diagrama esfuerzo vs deformación (070_A_S_VIII).....	72
Gráfica 14. Diagrama sección elástica para módulo de Young (070_A_S_VIII)	73
Gráfica 15. Diagrama esfuerzo vs deformación (075_A_N_VIII)	74
Gráfica 16. Diagrama sección elástica para módulo de Young (075_A_N_VIII)....	75
Gráfica 17. Diagrama esfuerzo vs deformación (085_B_S_VIII).....	76
Gráfica 18. Diagrama sección elástica para módulo de Young (085_B_S_VIII)	77
Gráfica 19. Diagrama esfuerzo vs deformación (095_B_N_VIII)	78
Gráfica 20. Diagrama sección elástica para módulo de Young (095_B_N_VIII)	79
Gráfica 21. Diagrama esfuerzo vs deformación (105_C_S_VIII)	80
Gráfica 22. Diagrama sección elástica para módulo de Young (105_C_S_VIII)	81
Gráfica 23. Diagrama esfuerzo vs deformación (107_C_N_VIII)	82
Gráfica 24. Diagrama sección elástica para módulo de Young (107_C_N_VIII)....	83
Gráfica 25. Diagrama carga vs deformación (067_A_S_VIII)	85
Gráfica 26. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (067_A_S_VIII)	85
.....	
Gráfica 27. Diagrama carga vs deformación (079_A_N_VIII)	87
Gráfica 28. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (079_A_N_VIII)	87
.....	
Gráfica 29. Diagrama carga vs deformación (081_B_S_VIII)	89
Gráfica 30. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (081_B_S_VIII)	89
.....	
Gráfica 31. Diagrama carga vs deformación (100_B_N_VIII)	91
Gráfica 32. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (100_B_N_VIII)	91
.....	
Gráfica 33. Diagrama carga vs deformación (102_C_S_VIII)	93
Gráfica 34. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (102_C_S_VIII)	93
.....	
Gráfica 35. Diagrama carga vs deformación (103_C_N_VIII)	95
Gráfica 36. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (103_C_N_VIII)	95
.....	
Gráfica 37. Diagrama carga vs deformación (069_A_S_VIII)	97

Gráfica 38. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (069_A_S_VIII)	97
Gráfica 39. Diagrama carga vs deformación (080_A_N_VIII)	99
Gráfica 40. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (080_A_N_VIII)	99
Gráfica 41. Diagrama carga vs deformación (088_B_S_VIII)	101
Gráfica 42. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (088_B_S_VIII)	101
Gráfica 43. Diagrama carga vs deformación (098_B_N_VIII)	103
Gráfica 44. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (098_B_N_VIII)	103
Gráfica 45. Diagrama carga vs deformación (106_C_S_VIII)	105
Gráfica 46. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (106_C_S_VIII)	105
Gráfica 47. Diagrama carga vs deformación (108_C_N_VIII)	107
Gráfica 48. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (108_C_N_VIII)	107
Gráfica 49. Histograma de frecuencias. Resistencia a la compresión paralela a la fibra para el total de datos	116
Gráfica 50. Histograma de frecuencias. Resistencia a la compresión paralela a la fibra. Muestras expuestas a rayos UV	117
Gráfica 51. Histograma de frecuencias. Resistencia a la compresión paralela a la fibra. Muestras no expuestas a rayos UV	117
Gráfica 52. Histograma de frecuencias. Módulo de elasticidad para el total de datos	118
Gráfica 53. Histograma de frecuencias. Módulo de elasticidad. Muestras expuestas a rayos UV	119
Gráfica 54. Histograma de frecuencias. Módulo de elasticidad. Muestras no expuestas a rayos UV	119
Gráfica 55. Histograma de frecuencias. Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra para el total de datos	123
Gráfica 56. Histograma de frecuencias. Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra. Muestras expuestas a rayos UV	124
Gráfica 57. Histograma de frecuencias. Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra. Muestras no expuestas a rayos UV	124
Gráfica 58. Histograma de frecuencias. Módulo de elasticidad circunferencial para el total de datos	125
Gráfica 59. Histograma de frecuencias. Módulo de elasticidad circunferencial. Muestras expuestas a rayos UV	126
Gráfica 60. Histograma de frecuencias. Módulo de elasticidad circunferencial. Muestras no expuestas a rayos UV	126

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación rayos UV según longitud de onda	29
Tabla 2. Identificación de la muestra y datos iniciales (061_A_S_VIII).....	59
Tabla 3. Resumen de resultados (061_A_S_VIII).....	60
Tabla 4. Identificación de la muestra y datos iniciales (072_A_N_VIII).....	61
Tabla 5. Resumen de resultados (072_A_N_VIII).....	62
Tabla 6. Identificación de la muestra y datos iniciales (086_B_S_VIII).....	63
Tabla 7. Resumen de resultados (086_B_S_VIII).....	64
Tabla 8. Identificación de la muestra y datos iniciales (092_B_N_VIII).....	65
Tabla 9. Resumen de resultados (092_B_N_VIII).....	66
Tabla 10. Identificación de la muestra y datos iniciales (101_C_S_VIII).....	67
Tabla 11. Resumen de resultados (101_C_S_VIII).....	68
Tabla 12. Identificación de la muestra y datos iniciales (104_C_N_VIII)	69
Tabla 13. Resumen de resultados (104_C_N_VIII)	70
Tabla 14. Identificación de la muestra y datos iniciales (070_A_S_VIII).....	72
Tabla 15. Resumen de resultados (070_A_S_VIII).....	72
Tabla 16. Identificación de la muestra y datos iniciales (075_A_N_VIII).....	73
Tabla 17. Resumen de resultados (075_A_N_VIII).....	74
Tabla 18. Identificación de la muestra y datos iniciales (085_B_S_VIII).....	75
Tabla 19. Resumen de resultados (085_B_S_VIII).....	76
Tabla 20. Identificación de la muestra y datos iniciales (095_B_N_VIII).....	77
Tabla 21. Resumen de resultados (095_B_N_VIII).....	78
Tabla 22. Identificación de la muestra y datos iniciales (105_C_S_VIII).....	79
Tabla 23. Resumen de resultados (105_C_S_VIII).....	80
Tabla 24. Identificación de la muestra y datos iniciales (107_C_N_VIII)	81
Tabla 25. Resumen de resultados (107_C_N_VIII)	82
Tabla 26. Identificación de la muestra y datos iniciales (067_A_S_VIII).....	84
Tabla 27. Resumen de resultados (067_A_S_VIII).....	84
Tabla 28. Identificación de la muestra y datos iniciales (079_A_N_VIII).....	86
Tabla 29. Resumen de resultados (079_A_N_VIII).....	86
Tabla 30. Identificación de la muestra y datos iniciales (081_B_S_VIII).....	88
Tabla 31. Resumen de resultados (081_B_S_VIII).....	88
Tabla 32. Identificación de la muestra y datos iniciales (100_B_N_VIII).....	90
Tabla 33. Resumen de resultados (100_B_N_VIII).....	90
Tabla 34. Identificación de la muestra y datos iniciales (102_C_S_VIII).....	92
Tabla 35. Resumen de resultados (102_C_S_VIII).....	92
Tabla 36. Identificación de la muestra y datos iniciales (103_C_N_VIII)	94
Tabla 37. Resumen de resultados (103_C_N_VIII)	94
Tabla 38. Identificación de la muestra y datos iniciales (069_A_S_VIII).....	96
Tabla 39. Resumen de resultados (069_A_S_VIII).....	96
Tabla 40. Identificación de la muestra y datos iniciales (080_A_N_VIII).....	98
Tabla 41. Resumen de resultados (080_A_N_VIII).....	98
Tabla 42. Identificación de la muestra y datos iniciales (088_B_S_VIII).....	100
Tabla 43. Resumen de datos (088_B_S_VIII)	100

Tabla 44. Identificación de la muestra y datos iniciales (098_B_N_VIII).....	102
Tabla 45. Resumen de resultados (098_B_N_VIII).....	102
Tabla 46. Identificación de la muestra y datos iniciales (106_C_S_VIII).....	104
Tabla 47. Resumen de resultados (106_C_S_VIII).....	104
Tabla 48. Identificación de la muestra y datos iniciales (108_C_N_VIII)	106
Tabla 49. Resumen de resultados (108_C_N_VIII)	106
Tabla 50. Resultado contenido de humedad de muestras expuestas a rayos UV	108
Tabla 51. Resultado contenido de humedad de muestras no expuestas a rayos UV	109
Tabla 52. Número de muestras medidas y no medidas para ensayo de compresión paralela	110
Tabla 53. Número de muestras según su diámetro, para ensayo de compresión paralela	111
Tabla 54. Valores estadísticos correspondientes al cálculo del módulo de elasticidad para cada probeta expuesta a rayos UV	112
Tabla 55. Resumen estadístico para la resistencia a la compresión paralela en guadua expuesta a rayos UV	113
Tabla 56. Valores estadísticos correspondientes al cálculo del módulo de elasticidad para cada probeta no expuesta a rayos UV	114
Tabla 57. Resumen estadístico para la resistencia a la compresión paralela en guadua no expuesta a rayos UV	115
Tabla 58. Número de muestras medidas y no medidas para ensayo de compresión perpendicular	120
Tabla 59. Número de muestras según su diámetro, para ensayo compresión perpendicular	120
Tabla 60. Resumen estadístico para la resistencia a la compresión perpendicular en guadua expuesta a rayos UV	121
Tabla 61. Resumen estadístico para la resistencia a la compresión perpendicular en guadua no expuesta a rayos UV	122
Tabla 62. Resultado ensayo compresión paralela a la fibra, muestras expuestas a rayos UV	138
Tabla 63. Resultado ensayo compresión paralela a la fibra, muestras no expuestas a rayos UV	139
Tabla 64. Resultado ensayo compresión perpendicular a la fibra, muestras expuestas a rayos UV	140
Tabla 65. Resultado ensayo compresión perpendicular a la fibra, muestras no expuestas a rayos UV	141

GLOSARIO

BASA: Es una parte de la guadua angustifolia kunth; es la parte del culmo de la guadua que más se utiliza; tiene una longitud aproximada de 11 metros; el diámetro es intermedio y la distancia entre nudos es mayor que en la cepa¹.

CEPA: Es una parte de la guadua angustifolia kunth; es la parte del culmo con mayor diámetro y espesor de paredes mayores; posee una longitud de 4 metros. Las distancias entre nudos son las más cortas y en la construcción se les utiliza como columna.

CULMO: El culmo originalmente se refiere a un falso tallo de cualquier tipo de planta. Deriva del latín culmus, y específicamente se refiere a tallo encima de la tierra o área de pastos y ciperáceas².

GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH: Hace referencia a un tipo de guadua en particular, la especie Guadua angustifolia sobresale dentro del género por sus propiedades físico mecánicas y por el tamaño de sus culmos.

MÓDULO DE YOUNG: También llamado módulo de elasticidad, es la constante que relaciona el esfuerzo de tracción o compresión con el respectivo aumento o disminución longitudinal que tiene el objeto sometido a estas fuerzas³.

MONOPODIAL: Hace referencia al sistema monopódico, es un sistema básico de ramificación de las plantas, el eje principal crece más intensamente que los ejes laterales de primer orden, y estos a su vez más intensamente que los de segundo orden, y así sucesivamente⁴.

SIMPODIAL: Hace referencia al sistema simpódico, es un sistema básico de ramificación de las plantas; las ramas laterales se desarrollan más rápido que el eje principal. El eje madre puede incluso interrumpir por completo su crecimiento, para favorecer a las ramificaciones axilares⁵.

¹ TENECHE, Gustavo. 2013. Guadua Bambu Colombia. [En línea] 19 de marzo de 2013. [Citado el: 16 de septiembre de 2019.] <https://guaduabambucolombia.com/2013/03/19/partes-de-la-guadua-angustifolia-kunth/>.

² PRADO Mauricio, MAGDA Liliana. 2019. Módulo 3: Control oportuno de malezas en cultivo. [En línea] CORPOICA Y UNIPAMPLONA, 2019. [Citado el: 16 de septiembre de 2019.] http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_4/mod_virtuales/modulo3/glosario1.html.

³ ZAPATA, Fanny. 2014. lifeder.com. [En línea] 2014. [Citado el: 16 de septiembre de 2019.] <https://www.lifeder.com/modulo-de-young/>.

⁴ Facultad de ciencias agrarias. 2001 - 2013. Morfología de plantas vasculares. [En línea] Universidad Nacional del Nordeste, 2001 - 2013. [Citado el: 16 de 9 de 2019.] <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema1/1-4ramifi.htm>.

⁵ Ibíd.

SOBREBASA: Es una parte de la *guadua angustifolia kunth*; el diámetro es menor y la distancia entre nudos es un poco mayor, comparado con la basa, la longitud es de aproximadamente 4 metros.

RESUMEN

La guadua es un material natural, abundante en muchas regiones del país, de rápido crecimiento y utilizado a través de la historia como elemento para la construcción. Esta presenta extraordinarias cualidades físicas, por esto, por su bajo costo, por ser amigable con el medio ambiente, y por su fácil disponibilidad, se ha convertido en uno de los materiales para construcción de uso más diversificado. Debido a estas cualidades, es una opción viable para emplear en el desarrollo de las actividades relacionadas con la ingeniería civil, razón por la cual se deben conocer sus características más a fondo, y su resistencia a los esfuerzos a los cuales se pueda exponer.

El análisis de las propiedades mecánicas de la guadua, se ha venido realizando con frecuencia en las últimas décadas, sin embargo, debido a su morfología y a la cantidad de variables, en la mayoría de los casos, ambientales, que influyen en el comportamiento de estas, aún genera incertidumbre sobre su utilización en procesos constructivos de mediana y gran magnitud.

En este trabajo se realizaron las pruebas de resistencia a la compresión paralela a la fibra y de compresión perpendicular a la fibra, sobre dos grupos de guaduas previamente clasificadas (expuestas y no expuestas a rayos UV) y se implementó un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

Con el desarrollo de este trabajo se busca determinar si la resistencia a la compresión paralela a la fibra y la resistencia a la compresión perpendicular a la fibra de la guadua, se ven afectados por la exposición del material a rayos UV.

Palabras clave: Guadua, rayos UV, resistencia a la compresión, propiedades mecánicas.

ABSTRACT

Bamboo is a natural material, abundant in many regions of the country, fast growing and used throughout history as an element for construction. It has extraordinary physical qualities, for this reason, for its low cost, for being friendly to the environment, and for its easy availability, it has become one of the most diversified construction materials. Due to these qualities, it is a viable option to use in the development of civil engineering related activities, for this reason is important to know its characteristics and its resistance to the exposed efforts.

In recent decades, the mechanical properties of guadua has been frequently analyzed, however, due to its morphology and the amount of variables that influence its behavior, mostly environmental, still generates uncertainty about its use in construction processes of medium and large magnitude.

In this work, were performed the tests to analyze the compressive strength parallel to the fiber and the compressive strength perpendicular to the fiber, on two groups of guadua previously classified (exposed and not exposed to UV rays), also a statistical analysis of the results obtained was implemented.

The main subject of this work is to determine if the exposure of the material to UV rays affect the compressive strength parallel to the fiber and the indirect tensile strength of the guadua.

Keywords: Guadua, UV rays, compressive strength, mechanical properties.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de implementar materiales de bajo costo y que sean ambientalmente sostenibles es algo de vital importancia en la actualidad, sin embargo, cada día los recursos son más limitados; el bambú y especialmente la guadua, se presentan como una solución a este problema.

Por sus extraordinarias cualidades físicas, su forma y peso, el bambú ha sido el material de construcción de uso más diversificado que haya existido; por su bajo costo y fácil disponibilidad ha sido utilizado particularmente por la gente de escasos recursos económicos, en algunos países tanto asiáticos como latinoamericanos⁶.

La guadua ha sido utilizada durante muchos años en procesos constructivos pequeños, especialmente en lugares donde crece de manera natural, utilizándola como material estructural, esto se lleva a cabo de forma artesanal y los métodos para su implementación son transmitidos a partir de una tradición oral y su uso es prácticamente empírico.

La construcción en guadua por su parte, aún no cuenta con el desarrollo científico e investigativo suficiente para darle un tratamiento estructural con el mismo nivel de la confiabilidad de la madera, ya que un conocimiento profundo del comportamiento mecánico de los materiales es fundamental para el diseño confiable de cualquier estructura. Desde hace algunos años, la investigación en bambú se ha incrementado buscando convertirlos en materiales ampliamente aceptados y difundidos, considerando las grandes ventajas, estructurales, ambientales y sociales que conllevan⁷.

La guadua, al ser un material de origen natural, se ve expuesto a diversos factores externos que pueden afectar sus propiedades, en este caso en particular, se busca identificar una relación entre la exposición a los rayos UV y las propiedades mecánicas de la guadua, más específicamente, compresión paralela a la fibra y compresión perpendicular a la fibra (compresión perpendicular a la fibra). Para esto se realiza una caracterización física del material de prueba con sus respectivas dimensiones y registro fotográfico; el material seleccionado se divide en dos grupos, de los cuales uno se somete a la radiación UV durante 15 días continuos y sin interrupciones. Al terminar el periodo de exposición se llevan a cabo los ensayos de laboratorio (compresión paralela a la fibra y compresión perpendicular a la fibra) en ambos grupos del material, para así obtener los datos necesarios y ejecutar el análisis estadístico, esto con el fin de realizar una comparación entre los resultados de los dos grupos de muestras e identificar algún tipo de afectación que pudiera causar la exposición UV.

⁶ SALCEDO GONZALES, L. Octavio. 2001. Uso del bambú en el concreto reforzado. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 2001.

⁷ ALVARADO ROJAS, Javier Mauricio. 2013. Análisis de las propiedades mecánicas de la guadua angustifolia mediante técnicas estadísticas y redes neuronales. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2013.

Este proyecto hace parte un macro proyecto, con el cual se busca colaborar a la evaluación de los efectos de la radiación UV en la guadua – Fase 1, que llevan a cabo GEGI (Grupo de investigación - Gestión empresarial y gestión de innovación) y SiGesCo (Semillero ingeniería civil – Sistemas de gestión en construcción).

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Compression resistance and shear strength of guadua angustifolia culms after drilling of the node diaphragm. Dado que la guadua es un material natural, en la mayoría de los casos se le deben aplicar materiales para garantizar su preservación, uno de los procedimientos más utilizados, consta de perforar el diafragma de los nudos, para de esta manera facilitar la absorción de la solución preservante. En este artículo, se evalúa el efecto que pueda presentar la perforación del diafragma, en la resistencia al corte y a la compresión de los culmos.

El material utilizado fue cultivado en Pereira – Colombia, con un área de cultivo de aproximadamente 26 Ha, los culmos presentan un diámetro promedio de 12 cm y una altura promedio de 22 m, se decidió trabajar con muestras de una sola zona para evitar que la variación de las condiciones de diferentes sitios pudiera afectar los resultados.

El experimento fue definido con dos factores y dos variables. Para los factores, se tomaron la madurez de los culmos y la perforación del diafragma en el nudo (perforado y sin perforar). Las variables a estudiar fueron la resistencia al corte y la resistencia a la compresión.

Para evaluar cada una de las propiedades mecánicas, se obtuvieron 120 muestras, tomadas de 40 culmos (3 por culmo). Se empleó este criterio, ya que es el más utilizado en la comercialización de la guadua. Cada muestra presentó dos nudos en la parte central, con la altura de la muestra variando entre 35 y 70 cm. Las pruebas realizadas fueron acordes a ISO/TR 22157-2 (2004) y NTC 2007, métodos estandarizados internacionales, en el laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.

La perforación del diafragma no influenció el comportamiento del culmo en cuanto a resistencia a corte y a compresión se refiere. Aparentemente, esta membrana, no presenta ninguna función adicional que mejore las propiedades mecánicas de la guadua. Sin embargo, se encontró que la madurez de del culmo, es un factor clave para garantizar la calidad de estos para su aplicación en el área de estructuras⁸.

⁸ GARCÍA CAMARGO, Juan Carlos, SUAREZ FRANCO, Juan David. 2014. Compression resistance and shear strength of guadua angustifolia culms after drilling of the node diaphragm. 1, enero - junio de 2014, Colombia Forestal, Vol. 17.

1.1.2 Determinación de la resistencia a tensión y cizalladura de la guadua angustifolia kunth. El aumento en el uso de la guadua en estructuras, ha generado interés en el comportamiento de esta al ser sometida a diferentes a esfuerzo de tensión y cizalladura. Investigaciones ya realizadas presentan valores en torno a este material como elemento estructural, los cuales varían dependiendo de la muestra, el espesor de la pared y la sección utilizada.

El material utilizado en las pruebas fue tomado del municipio de Venecia – Antioquia (altura promedio 166 msnm, temperatura de 20°C, humedad relativa del 67%). El trabajo se realizó en los laboratorios de Productos Forestales de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Para llevar a cabo el estudio, se seleccionaron 18 elementos para las pruebas a cizalladura y 15 elementos a tensión paralela al grano, pertenecientes a la zona media del culmo, con diámetros externos entre 9 y 12 cm y espesores de pared entre 0.6 y 1.0 cm para tensión, y entre 0.7 y 1.5 cm para cizalladura.

Dado que el ensayo a tracción es fundamental al momento de dimensionar estructuras con guadua, se observaron diferencias significativas en los valores encontrados, aunque se siguieron las mismas normas (INBAR, 1999), estos varían hasta en un 82%. Esta diferencia se puede deber a la anisotropía del material, a las operaciones del ensayo y a condiciones ambientales de humedad relativa y temperatura.

Se recomienda estandarizar los procesos en las pruebas, sobre todo en los puntos de agarre, donde se presentó un leve desplazamiento de las probetas, lo cual pudo afectar los resultados⁹.

1.1.3 Estudio de las propiedades físico mecánicas de la guadua angustifolia kunth de Loja, e implementación de este como material de construcción. En los últimos años se ha presentado un incremento en materiales para la construcción con el fin de alivianar, abaratar y acelerar los procesos constructivos, sin embargo, no se ha tenido muy en cuenta la implementación de la Guadua Angustifolia Kunth, por esta razón se realiza la presente investigación, la cual está enfocada en comprobar las principales propiedades físico – mecánicas de la guadua.

Es fundamental conocer los valores que presentan los materiales para la construcción, tales como tracción, compresión, flexión, módulo de elasticidad, entre otros, para poder utilizar estos de una manera confiable en los procesos constructivos

⁹ CIRO VELÁSQUEZ, Héctor José, OSORIO SARAZ, Jairo Alexander y VÉLEZ RESTREPO, Juan Manuel. 2005. Determinación de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de la guadua angustifolia kunth. Bogotá: s.n., 2005.

Los trabajos desarrollados consisten en la caracterización físico – mecánica de la guadua, así como el análisis de sus componentes microscópicos mediante la anatomía de la sección. Presenta los parámetros y esfuerzos admisibles de diseño, las principales propiedades mecánicas y la aplicación de la normativa requerida. Se analizan las pruebas realizadas en laboratorio mediante software, y se aplican estos resultados en la modelación de un puente peatonal¹⁰.

1.1.4 Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural. El bambú guadua es un material natural abundante en Colombia, renovable, biodegradable, ambientalmente amigable, cuya resistencia mecánica se adquiere en pocos años. Su transformación a un material laminado pegado prensado podría incrementar y facilitar su uso como elemento estructural en la construcción de vivienda.

El objetivo principal del presente estudio fue caracterizar mecánicamente el material BGLPP, ante sollicitaciones de compresión, tensión, cortante y flexión, mediante ensayos experimentales de modelos físicos.

Inicialmente se realizaron ensayos de láminas de bambú guadua para determinar la resistencia a compresión y a flexión y los módulos elásticos longitudinales del material base. Posteriormente se realizaron ensayos de probetas de BGLPP ante diferentes sollicitaciones y en diferentes direcciones teniendo en cuenta su comportamiento como material ortótropo y se determinaron los valores de resistencia (a compresión y corte, paralelo y perpendicular a la fibra, a tensión perpendicular a la fibra y a flexión), de módulos elásticos (longitudinal y a cortante) y las relaciones de Poisson.

Finalmente se ensayaron elementos como vigas y columnas y se obtuvieron relaciones esfuerzo deformación en el primer caso y curvas de esfuerzo crítico en función de la relación de esbeltez en columnas¹¹

¹⁰ PILCO DÍAZ, Edgar Patricio. 2016. Estudio de las propiedades físico mecánicas de la guadua angustifolia kunth de Loja, e implementación de este como material de construcción. Loja, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja, 2016.

¹¹ Takeuchi, Caori Patricia. 2014. Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2014.

1.1.5 Análisis de las propiedades mecánicas de la guadua angustifolia mediante técnicas estadísticas y redes neuronales. Trabajo realizado con el fin de investigar la dependencia y comportamiento de las propiedades físico – mecánica de la guadua mediante análisis estadísticos y técnicas de inteligencia artificial, en el cual se relacionaron el contenido de humedad, la densidad, módulo de elasticidad, resistencia a la compresión, resistencia al corte, a la tensión y a la flexión. Se busca obtener modelos de predicción para las variables en estudio, de esta manera, identificar los valores medios de resistencia del material ante diferentes sollicitaciones.

Las muestras seleccionadas se extrajeron de 3 zonas: Quimbaya, Circasia y Montenegro (departamento del Quindío); Rionegro, Yacopí y Pacho (departamento de Cundinamarca); Buga (departamento del Valle del Cauca). El material presenta una edad entre 3 y 6 años, donde su resistencia se encuentra completamente desarrollada. Se realizó una identificación de cada probeta, en la cual se incluyó lugar de procedencia, parte de la guadua (cepa, basa o sobrebasa) y el número de entrenado.

Los ensayos de contenido de humedad, corte, compresión, flexión y tensión paralelos a la fibra fueron realizados de acuerdo a la NTC 5525 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2007). Para las pruebas restantes, se siguieron las recomendaciones expresadas en investigaciones previas realizadas en la Universidad Nacional de Colombia (Castrillón y Malaver, 2004) (Lamus, 2008). Al finalizar con los ensayos, se analizaron los resultados obtenidos, para así identificar los valores característicos y los esfuerzos admisibles para cada sollicitación de acuerdo con la ISO 22156 (International Organization for Standarization, 2011)¹².

1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La implementación de la guadua angustifolia varía en función de los factores culturales asociados al uso artesanal de esta, transmitidos de generación en generación y en la mayoría de los casos de manera oral. Esto advierte que, aunque se ha utilizado en pequeños procesos constructivos, en comparación a otros materiales empleados en la ingeniería civil no se cuenta con la misma cantidad de estudios sobre las propiedades de este material.

Sin embargo, desde hace varios años se han venido generando investigaciones que resaltan el comportamiento de la guadua angustifolia, con el fin de fomentar su uso, aun así, este material sigue causando incertidumbre en muchos casos, por ello se hace importante continuar desarrollando investigaciones que puedan dar unas bases más sólidas sobre las propiedades físicas y mecánicas, buscando que se incremente su empleo en procesos constructivos.

¹² ALVARADO, op. cit.

Al ser la guadua un material natural, está expuesto a sufrir daños causados por agentes medio ambientales, entre ellos la radiación UV, la cual puede afectar sus propiedades mecánicas, de tal manera que se vea condicionado su uso en procesos constructivos, esto dado el efecto de envejecimiento que causa la radiación UV en los materiales naturales.

¿Es la exposición a los rayos UV un factor determinante en el comportamiento de las propiedades mecánicas de la guadua?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Realizar un análisis de la posible influencia que pueda ejercer la exposición a los rayos UV sobre las propiedades mecánicas de la guadua, esto mediante el uso de técnicas estadísticas.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Realizar la correspondiente caracterización de las muestras de guadua seleccionadas para el desarrollo del proyecto, reportando cada una de las dimensiones correspondientes.
- Evaluar las propiedades de compresión paralela a la fibra y compresión perpendicular a la fibra, en muestras de guadua expuesta y no expuesta a los rayos UV.
- Estudiar las características de esfuerzo último (a compresión y a tracción) y módulo de elasticidad del material expuesto y no expuesto a rayos UV.
- Analizar los resultados de laboratorio para identificar posibles patrones en el comportamiento de las probetas, expuestas y no expuestas a rayos UV, que puedan dar una mayor idea de cómo la exposición a estos afecta sus propiedades.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se realiza con el seguimiento y apoyo del semillero de investigación, donde se plantea la “Evaluación de los efectos de la radiación UV en la guadua – Fase 1” de la Universidad Católica de Colombia, el cual se encamina a presentar una caracterización de la guadua y observar la incidencia de la radiación en sus propiedades.

Se sabe que, en la actualidad cada día los recursos son más limitados, por lo cual la utilización de aquellos materiales, que sean de bajo costo y ambientalmente sostenibles, se ha convertido en una necesidad alrededor del mundo.

Aunque la guadua se ha empleado durante muchos años como material estructural en ciertos tipos de procesos constructivos, como lo son cabañas, quioscos, viviendas de poca altura, cubiertas o puentes de luces cortas, ha sido gracias a una tradición oral y artesanal, y en la mayoría de los casos, su uso casi es exclusivo de las regiones en las cuales esta se cultiva.

Actualmente se han realizado varios proyectos que tienen como objetivo analizar el comportamiento de este material estructuralmente, sin embargo, en muchos de ellos los resultados obtenidos presentan datos atípicos, esto debido a la cantidad de variables que influyen en las propiedades mecánicas de la guadua.

Adicionalmente, se sabe que este material de origen natural, en la mayoría de los casos en los cuales se emplea, se encuentra expuesto a la radiación UV, y si bien se conocen los efectos de estos rayos en las propiedades físico-químicas de la guadua, se hace pertinente observar la afectación que se presenta en las propiedades mecánicas del mismo.

Es por esto, que se hace necesario realizar más estudios a este material, a sus propiedades, su comportamiento y a los factores que puedan afectar la estabilidad del mismo, para así fomentar su producción e implementación en procesos constructivos de mayor magnitud, además, se busca incentivar futuras investigaciones en el área.

1.5 DELIMITACIÓN

En el comienzo de la segunda etapa del proyecto, no se contaba con el equipo necesario para realizar la exposición UV, adicional a esto, las lámparas necesarias para tal fin no se conseguían en Colombia, por lo tanto, debieron ser importadas. Posteriormente, se debió adecuar un espacio, para de manera artesanal, construir una incubadora para la exposición del material.

El periodo establecido inicialmente para el desarrollo de la exposición y de los ensayos fue el estipulado en el calendario de la Universidad para trabajos de grado (aproximadamente 3 meses), pero debido a la falta del equipo necesario para la exposición a rayos UV, se vio en la necesidad de extender este periodo, ya que adicional a la exposición, se debían realizar los ensayos pertinentes para el análisis de las propiedades mecánicas. Esto también afectó considerablemente el número de muestras que iban a ser utilizadas para el desarrollo del proyecto.

Los alcances fueron la determinación del esfuerzo de compresión paralela a la fibra y el esfuerzo a compresión perpendicular a la fibra en las muestras expuestas y no expuestas a rayos UV, el primero se llevó a cabo siguiendo los lineamientos del Instituto Colombiano de Normas Técnicas, el segundo se desarrolló basado en procedimientos realizados en investigaciones previas, para luego realizar la

comparación respectiva de los resultados obtenidos y el análisis estadístico utilizando medidas de tendencia central y dispersión.

Como complemento se realizó un documento y un artículo con el análisis de los resultados obtenidos.

1.6 MARCO DE REFERENCIA

1.6.1 Marco Teórico.

1.6.1.1 Guadua o bambú. El bambú se conoce como el oro verde del siglo XXI y se ha convertido en una alternativa para mitigar los efectos causados por el cambio climático y como una solución energética para el gran déficit mundial actual. Es una planta auto-sostenible, de rápido crecimiento que trabaja en red. Con el bambú se pueden solucionar los problemas ambientales, sociales y económicos que afectan, a un lugar, un país o una región. En Colombia las especies del género *Guadua* son las más utilizadas por las comunidades que habitan entre 0 – 1500 metros de altitud.

Las investigaciones principalmente se han enfocado en la especie *Guadua Angustifolia* a la cual se la han hecho estudios en el área de la taxonomía, genética molecular, fenología, fisiología, biotecnología, ecología, flora y fauna asociada, biomasa, cuantificación de servicios ambientales, captura de CO₂, inventarios forestales, métodos de propagación, distancia de siembra, fertilización, calidades de sitio, manejo y regímenes de aprovechamiento, preservación y secado, propiedades físicas y mecánicas, comportamiento estructural, uniones y estudios de mercadeo¹³.

El bambú es una de las plantas de más rápido crecimiento en el mundo, la cual puede crecer 10 – 30 metros en 40 – 60 días, y alcanzar su altura completa y diámetro completo en una temporada. De acuerdo a su fenotipo, hay dos tipos principales de bambú. El primero es el bambú simpodial, el cual tiende a ser encontrado en zonas tropicales y subtropicales, con tallos subterráneos que brotan verticales mucho más cerca de sus plantas parentales y crecen lentamente hacia afuera. El otro tipo de bambú es el bambú monopodial, encontrado principalmente en regiones templadas, el cual a menudo envía tallos subterráneos a varias distancias y envía brotes verticales¹⁴.

Una forma de entender la velocidad de desarrollo del bambú, es realizando una comparación con los árboles; el bambú alcanza su crecimiento en altura durante 2 – 4 meses, lo cual es relativamente corto; el crecimiento en altura depende

¹³ LONDOÑO, Ximena. 2011. El bambú en Colombia. 3, Julio - septiembre de 2011, Biotecnología Vegetal, Vol. 11, págs. 143 - 154. ISSN 1609-1841.

¹⁴ BENHUA, Fei, ZHIMIN, Gao y ZHIJIA, Liu. 2016. Biological, Anatomical, and Chemical Characteristics of Bamboo. [aut. libro] Kim Yoon Soo, Funada Ryo y P., Singh Adya. Secondary Xylem Biology. Beijing: Elsevier, 2016.

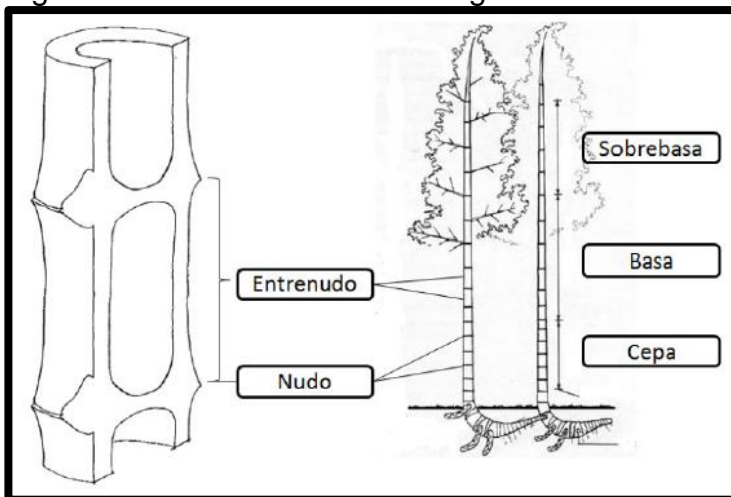
principalmente del meristemo intercalar que se mantiene durante toda la fase de crecimiento. Los árboles continúan creciendo en altura durante toda su vida; el crecimiento en altura de los árboles depende principalmente del meristemo primordial en la punta de estos¹⁵.

La guadua es un material poroso de origen vegetal y constituido por fibras largas dispuestas longitudinalmente y embebidas en una matriz de lignina y hemicelulosa. Sus propiedades físicas y mecánicas varían según su sentido o plano considerado. Presenta cambio de sus dimensiones debido a la expansión térmica y cambio de volumen a causa de la humedad¹⁶.

Las fibras de la guadua están densamente distribuidas en la región superficial externa y escasamente distribuidas en la región superficial interna. Las propiedades mecánicas del bambú, y por lo tanto de la guadua, están íntimamente relacionadas con su estructura y la densidad de las fibras que la conforman¹⁷.

Morfológicamente, la guadua se encuentra compuesta por 5 partes: raíz, tallo, hojas, flores y frutos; sin embargo, para aplicaciones estructurales, el tallo es la parte que se emplea, más específicamente, el culmo. Este es una especie de cilindro hueco en el cual se distinguen 3 secciones: la cepa, la basa y la sobrebasa, cada una de las cuales se encuentra dividida en segmentos o entrenudos de entre 10 y 15 cm. de altura, separados por diafragmas (nudos) (ver figura 1)¹⁸.

Figura 1. Partes de un culmo de guadua



Fuente. Rojas Alvarado, 2013.

¹⁵ JIANG, Zehui y PENG, Zhenhua. 2007. Bamboo and Rattan un the world. Beijing: China Forestry Publishing House, 2007.

¹⁶ GONZALES, L. O. 2006. Elementos para la caracterización mecánica de la guadua angustifolia kunth. Bogotá: Revista Virtual Forestal, 2006.

¹⁷ AMADA, Shigeyasu y UNTAO, Sun. 2001. Fracture Properties of Bamboo. 2001, Composites Part B: Engineering, págs. 451-459.

¹⁸ ALVARADO, op. cit,

La guadua posee fibras longitudinales con una alta resistencia a la tracción. Se ha llegado a encontrar en ensayos de probetas de guadua tomadas de la pared externa sin incluir los nudos, que esta presenta resistencias incluso superiores al acero A36.

La resistencia a la tracción es más alta cuando se hace el ensayo con probetas sacadas de la pared externa que con probetas sacadas de la pared completa, debido a dos razones: la primera de ellas es que la parte exterior es dura debido a incrustaciones de sílice, lignina y cutina, y la segunda se debe a que la cantidad de fibras es mayor en la parte externa de la guadua que en la parte interna¹⁹.

1.6.1.2 Máquina de prueba universal multi-parámetros MTS. El Exceed E45 es una máquina de prueba universal fabricada por MTS. Esta máquina es capaz de manejar cargas de 50kN hasta 300kN. Realiza prueba tales como tensión, compresión, cizallamiento, flexión y más. Este dispositivo fácil de operar se asegura de resolver la amplia selección de los requisitos de prueba de la producción monotónica.

La unidad emplea impulsiones electroquímicas de alta velocidad y baja vibración, e integra controles digitales a circuito cerrado, para pruebas en control de la carga y la posición. Está disponible con 2 configuraciones de columnas robustas apoyadas en el piso, adecuado para pruebas de fuerza media a alta. Opera utilizando el software Test Suite TW, un creciente almacenamiento de métodos de prueba que cumplen con los estándares, con un complemento completo de partes suplementarias que amplían la utilidad (Figura 2).

Figura 2. Equipo Exceed E45



Fuente. Direct Industry, 2019

¹⁹ TAKEUCHI TAM, Caori Patricia. 2004. Comportamiento estructural de la guadua. Uniones en guadua. Septiembre de 2004, Ingeniería e investigación, Vol. 55, págs. 3-7.

1.6.1.3 Radiación ultravioleta. La radiación solar ultravioleta o radiación UV es una parte de la energía radiante (o energía de radiación) del sol. Esta luz solar es energía radiante electromagnética, la cual está compuesta principalmente por el espectro de luz ultravioleta, la luz invisible e infrarroja que se transmite en forma de ondas electromagnéticas en cantidad casi constante.

Estas radiaciones son modificadas de manera importante por su paso a través de la atmosfera y solamente dos tercios de esta energía penetra en la tierra. Los diferentes tipos de rayos o radiación ultravioleta, A, B y C presentan una longitud de onda de 100nm a 400nm, en forma de energía que no puede ser percibida por ningún órgano de los sentidos²⁰.

Existen varios subtipos de rayos ultravioleta, estos se pueden distinguir según su longitud de onda como se observa a continuación.

Tabla 1. Clasificación rayos UV según longitud de onda

NOMBRE	ABREVIATURA	LONGITUD DE ONDA (nm)	ENERGÍA POR FOTÓN (eV)
Ultravioleta A (onda larga)	UVA	400 - 315	3.10 - 3.94
Ultravioleta B (onda media)	UVB	315 - 280	3.94 - 4.43
Ultravioleta C (onda corta)	UVC	280 - 100	4.43 - 12.40
Ultravioleta cercano (near)	NUV	400 - 300	3.10 - 4.13
Ultravioleta medio (middle)	MUV	300 - 200	4.13 - 6.20
Ultravioleta lejano (far)	FUV	200 - 122	6.20 - 10.16
Hidrógeno Lyman - alpha	H Lyman- α	122 - 121	10.16 - 10.25
Ultravioleta de vacío	VUV	200 - 10	6.20 - 124
Ultravioleta extremo	EUV	121 - 10	10.25 - 124

Fuente. ISO 21348, 2004²¹

²⁰ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2019. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [En línea] 2019. [Citado el: 26 de agosto de 2019.] <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=687:pl>.

²¹ Space Environment Technologies. Space Environment Technologies. [En línea] [Citado el: 25 de agosto de 2019.] http://www.spacewx.com/pdf/SET_21348_2004.pdf.

El indicador que se asocia a la intensidad de la radiación solar ultravioleta (UVB) incidente sobre la superficie terrestre es denominado el índice de radiación UV (IUV). Este es una medida de orientación dirigida a promover en la población una exposición saludable al sol, ya que esta es necesaria para diversos procesos biológicos del organismo humano. Este indicador alcanza los niveles más altos alrededor del mediodía, se mide de 1 al 11+, en la que un mayor valor indica que existe un aumento en la probabilidad de las lesiones en la piel y los ojos²².

Figura 3. Categorías de exposición a la radiación UV

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL IUV
BAJA	< 2
MODERADA	3 A 5
ALTA	6 A 7
MUY ALTA	8 A 10
EXTREMADAMENTE ALTA	11+

Fuente. Organización mundial de la salud, 2013²³

1.6.1.4 Normas técnicas colombianas para la guadua. Con el acompañamiento del ICONTEC, del Comité Colombiano para la Normalización del Bambú-Guadua, de la Sociedad Colombiana del Bambú y de diferentes instituciones del sector gubernamental, del sector privado y del sector académico, se han elaborado y aprobado hasta el momento nueve (9) Normas Técnicas Colombianas:

- **NTC 5300.** Cosecha y postcosecha de los culmos de guadua angustifolia Kunth.
- **NTC 5301.** Secado e inmunizado de los culmos de guadua angustifolia Kunth.
- **NTC 5405.** Propagación vegetativa de guadua angustifolia Kunth.
- **NTC 5407.** Uniones para estructuras construidas en guadua angustifolia Kunth.
- **NTC 5458.** Artesanías y muebles con culmos maduros de guadua angustifolia Kunth.
- **NTC 5525.** Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia Kunth.

²² Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, op. cit.

²³ Organización Mundial de la Salud. 2013. World Health Organization. World Health Organization. [En línea] 2013. [Citado el: 25 de agosto de 2019.] <https://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf>.

- **NTC 5726.** Mensura e inventario de rodales de guadua angustifolia Kunth para aprovechamientos con fines comerciales.
- **NTC 5727.** Terminología aplicada a la guadua y sus procesos.
- **NTC 5829.** Obtención de latas y tablillas de guadua angustifolia Kunth.

En 1998 el título E de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 fue revisado y actualizado por la AIS para incorporar los requisitos mínimos para el diseño y construcción de casas de uno y dos pisos de bahareque encementado de madera y guadua.

Posteriormente, el 19 de marzo de 2010 se sanciona la norma NSR-10. Esta norma empieza a regir a partir de diciembre de 2010, e impulsa la normatividad en el uso de materiales amigables con el medio ambiente, y amplía el uso de guaduas en construcciones de uno y dos pisos, lo cual se define en título G 'Estructuras de Madera y Estructuras de Guadua, capítulo G12 'Estructuras de guadua'²⁴.

1.6.2 Marco conceptual. La exposición a los rayos UV de los materiales de construcción, en especial los de origen natural, puede causar alteraciones en sus propiedades físico – mecánicas, estas son las encargadas de indicar el comportamiento del material respecto a los esfuerzos a los cuales este se verá sometido, por lo tanto, es fundamental conocer que impacto genera esta exposición a rayos UV sobre el material.

Dada la implementación de la guadua como material de construcción, y buscando darle mayor validez a esta para su uso en procesos de mayor envergadura, nace la necesidad de analizar sus propiedades mecánicas, para así observar su comportamiento. Entre las propiedades mecánicas más importantes de los materiales se tienen: resistencia, elasticidad, plasticidad, dureza, tenacidad, fragilidad, ductilidad y maleabilidad.

Los elementos de una estructura deben aguantar, además de su propio peso, otras fuerzas y cargas exteriores que actúan sobre ellos. Dependiendo de su posición dentro de la estructura y del tipo de fuerzas que actúan sobre ellos, los elementos o piezas de la estructura soportan diferentes tipos de esfuerzos. Una fuerza sobre un objeto tiende a deformarlo, la deformación producida dependerá de la dirección, sentido y punto de aplicación donde esté colocada esa fuerza. Estas fuerzas tienen distintos orígenes:

- Debido a su propio peso.

²⁴ LONDOÑO, op. cit

- Debido al peso, movimiento o vibraciones de los elementos que componen el conjunto del sistema técnico.
- Debido a agentes externos al propio sistema técnico.

Para efectos de la investigación, la propiedad analizada es la resistencia, la cual hace referencia a la capacidad de un material de soportar determinado esfuerzo exterior, asimismo, los esfuerzos que se aplican son de compresión paralela a la fibra y compresión perpendicular a la fibra, todo esto teniendo en cuenta la exposición a rayos UV.

1.6.2.1 Ensayo de compresión paralela a la fibra. La compresión es el esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de fuerzas que actúan en el mismo sentido, y tienden a acortarlo. Es lo contrario a la tracción y hace que se aproximen las diferentes partículas de un material, tendiendo a producir acortamiento o aplastamiento. Con esto se puede decir, que la compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección²⁵.

El ensayo de compresión paralela a la fibra, determina la resistencia a la compresión de las muestras de guadua, asimismo, los resultados se utilizan para hallar su módulo de elasticidad. Este consiste en aplicarle una carga de compresión de forma axial a la muestra de guadua, se realiza a una velocidad recomendada para una obtención más acertada de datos, esto se lleva a cabo hasta que se produzca la falla.

Los ensayos de compresión paralela a la fibra se realizaron siguiendo los lineamientos de la NTC5525 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2007).

- **Resistencia a la compresión.** Para determinar la resistencia a la compresión, se divide la carga máxima presentada durante el ensayo por el área de la sección transversal de la muestra de guadua.

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

Donde:

σ_{ult} : Es el esfuerzo de compresión paralela a la fibra.

F_{ult} : Es la carga de falla.

A : Es el área de la sección transversal de la muestra de guadua.

²⁵ Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía. 2011. Temas para la Educación. 15, Andalucía: s.n., 2011. 1989-4023.

- **Módulo de elasticidad o módulo de Young.** El módulo de elasticidad se halla mediante la determinación de la pendiente de la curva esfuerzo – deformación. Adicionalmente, también se halla mediante la aplicación de la ecuación:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad o módulo de Young.

σ : Esfuerzo.

ε : Deformación unitaria.

1.6.2.2 Ensayo de compresión perpendicular a la fibra. El ensayo de compresión perpendicular a la fibra, determina la resistencia a la compresión perpendicular de las muestras de guadua, asimismo, los resultados se utilizan para hallar su módulo de elasticidad. Este consiste en aplicarle una carga de compresión de forma perpendicular a la muestra de guadua, se realiza a una velocidad recomendada para una obtención más acertada de datos, esto se lleva a cabo hasta que se produzca la falla.

Este ensayo se realiza en base a investigaciones previas, de estas se aplica la metodología del procedimiento y las ecuaciones utilizadas para la determinación de la resistencia a la compresión perpendicular, y el módulo de elasticidad circunferencial, realizando unas variaciones en las dimensiones de las muestras de guadua.

- **Resistencia a la compresión perpendicular.** Para determinar la resistencia a la compresión perpendicular, se implementa la ecuación utilizada por Alvarado, en su trabajo *“Análisis de las propiedades mecánicas de la guadua Angustifolia mediante técnicas estadísticas y redes neuronales”*²⁶.

$$\sigma_{ult} = \frac{3DF}{2Lt^2}$$

Donde:

σ_{ult} : Esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra.

D: Diámetro externo promedio de la probeta.

F: Es la carga de falla.

L: Es la longitud promedio de la probeta.

²⁶ ALVARADO, op. cit

t^2 : Es el espesor promedio de la pared al cuadrado.

• **Módulo de elasticidad circunferencial.** Para el módulo de elasticidad circunferencial se implementa la metodología utilizada por Ghavami, García y Torres, en su artículo “*A transversely isotropic law for the determination of the circumferential young’s modulus of bamboo with diametric compression tests*”²⁷.

$$E_{\varphi} = \left(\frac{\pi R}{4A} + \frac{R^3}{I} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2}{\pi} \right) \right) * S$$

Donde:

R : Es el radio.

I : Es la inercia.

A : Área promedio de la sección comprimida.

S : Es la pendiente de la curva carga vs deflexión.

1.6.2.3 Exposición a rayos UV. La radiación solar es uno de los principales factores ambientales que afectan al planeta. Esta controla el funcionamiento de los ecosistemas terrestres y acuáticos por medio de procesos fotobiológicos a través de la fotosíntesis, estos se propagan con una mayor intensidad dependiendo de factores como humedad o temperatura.

La radiación que llega al planeta abarca una amplia gama del espectro electromagnético y aproximadamente el 40% de ella es la que conocemos como luz o radiación visible. Esta comprende longitudes de onda que van de los 400 a los 700 nm, rango que abarca los colores violeta, azul, amarillo, naranja y rojo, y que, por ser usado por los vegetales en el proceso de la fotosíntesis, también se le denomina radiación fotosintéticamente activa²⁸.

Con el debilitamiento de la capa de ozono los rayos ultravioleta entran a la tierra con mayor intensidad produciendo los siguientes efectos²⁹:

• **En la salud humana.** La exposición crónica a las radiaciones ultravioleta, ha sido vinculada con cambios en la coloración de la piel, quemaduras y presencia de arrugas prematuras. También puede generar disminución a la capacidad inmunológica, de esta manera el efecto de las vacunas puede verse disminuido. Se ha detectado que la exposición a la radiación UV proveniente del sol o de fuentes

²⁷ GHAVAMI, Khosrow, GARCÍA ALVAREZ, José Jaime y TORRES, Luis. 2007. *A transversely isotropic law for the determination of the circumferential young's modulud of bamboo with diametric compression test*. 2007.

²⁸ AGUIRRE MORA, Christian David. 2018. Efectos de la radiación UV en presencia de humedad y temperatura en la guadua. Bogotá: s.n., 2018. pág. 64. Trabajo de grado (Ingeniero Civil).

²⁹ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, op. cit,

artificiales como las cámaras de bronceo puede llegar a producir cáncer de piel, adicionalmente, provoca importantes lesiones en los ojos como cataratas y puede llevar a la ceguera.

- **En animales y plantas.** Reduce el crecimiento de las plantas y disminuye la productividad de los bosques, también produce cambios en la composición química de varias especies de plantas comestibles, disminuyendo la cantidad y calidad de las cosechas.

Produce daños a los organismos acuáticos, en especial a los más pequeños como plancton, plantas acuáticas, larvas de peces, camarones y cangrejos. En ganado, gatos, caballos, ovejas, cabras y perros, se ha reportado la presencia de carcinoma de células escamosas (un tipo de cáncer) asociado a la exposición solar ambiental.

- **En los ecosistemas.** Genera efectos adversos en el crecimiento, la fotosíntesis, la reproducción del fitoplancton, alterando la cadena alimenticia en los ecosistemas marinos y consecuentemente, reduciendo la producción pesquera mundial. Afecta las emisiones de dióxido y monóxido de carbono, así como los nutrientes minerales que circulan en la biosfera terrestre, de esta manera altera la dinámica de gases en la troposfera.

- **En los materiales.** El aumento de la radiación UV-B puede limitar la duración de los materiales y obligar a utilizar procesos de producción más costosos, generando pérdidas millonarias. Degrada los materiales empleados en la construcción, tales como pintura, gomas, madera y plásticos.

Para el desarrollo del proyecto se utiliza la radiación UV-B, la cual presenta un valor intermedio de intensidad, siendo los UV-A más débiles y los UV-C los más fuertes y dañinos³⁰.

Para este fin se utiliza ReptiSun 5.0 UVB T5 HO – High Output Linear Lamp de 54W, son unos bombillos de fabricación alemana, los cuales emiten la radiación deseada para los fines del proyecto, estos son utilizados frecuentemente para simular la luz solar en ambientes controlados con presencia de reptiles.

1.6.2.4 Determinación del contenido de humedad. También llamado porcentaje de humedad, consiste en calcular el contenido de humedad en el material, esto se realiza a partir de la pérdida de peso ocurrida cuando se elimina el agua que se encuentra contenida en la superficie y en el interior del mismo³¹.

³⁰ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, op. cit,

³¹ TAKEUCHI TAM, Caori Patricia y GUTIÉRREZ GONZÁLEZ, Mateo. 2014. Efecto del contenido de humedad en la resistencia a tensión paralela a la fibra del bambú guadua angustifolia Kunth. 3, Pereira: s.n., septiembre de 2014, Scientia et Technica, Vol. 19. ISSN 0122-1701.

Para determinar el contenido de humedad se emplea la siguiente ecuación:

$$CH\% = \frac{m - m_o}{m_o} * 100$$

Donde:

$CH\%$: Contenido de humedad del material (%).

m : Masa de la muestra previa al secado en horno.

m_o : Masa de la muestra después de secarse en el horno.

1.6.3 Estado del arte. Actualmente se llevan a cabo estudios e investigaciones sobre la guadua, estos se encuentran orientados especialmente a las propiedades físicas, mecánicas o químicas de esta; vistos desde la ingeniería civil, se realizan con el fin de observar su comportamiento como material estructural. Uno de los trabajos más completos respecto al análisis de las propiedades mecánicas de la guadua es el titulado “Análisis de las propiedades mecánicas de la guadua *Angustifolia* mediante técnicas estadísticas y redes neuronales”³², realizado en el 2013, en este trabajo, el autor efectuó un análisis utilizando técnicas estadísticas e inteligencia artificial sobre la relación de valores como el contenido de humedad, la densidad, la resistencia a varias solicitaciones y los módulos de elasticidad, con el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas. Los resultados demostraron la dificultad de obtener resultados confiables mediante técnicas estadísticas, esto debido a la gran dispersión de datos y alta variabilidad en los mismos.

En el 2014 se publicó un artículo titulado “Elastic Module study of the Radial Section of *guadua angustifolia* Kunth Variety Bicolor”³³, en este se buscaba estudiar el módulo de elasticidad de una sección radial de una muestra de guadua utilizando una técnica de propagación de ondas acústicas, el retraso en la señal se utilizó como parámetro de medición. Los resultados obtenidos indicaron que el módulo de elasticidad variaba de 2.5×10^7 hasta 1.6×10^9 Pa, mientras que la velocidad de propagación fue de 250 m/s hasta 1370 m/s. Estos demostraron que el comportamiento variable de los datos se debía a la falta de homogeneidad del material, la concentración de agua, la densidad de las fibras y la concentración de sílice.

Teniendo en cuenta ambos estudios, se identifica la dificultad de obtener valores correspondientes a las propiedades mecánicas de la guadua que se puedan considerar como una base sobre la cual partir para futuras investigaciones,

³² ALVARADO, op. cit,

³³ CARDENAS, J. I y VARGAS HERNANDEZ, C. 2014. Elastic Module of the Radial Section of *Guadua angustifolia* Kunth Variety Bicolor. Hindawi Publishing Corporation. Advanced in Materials Science and Engineering. Volume 2014. Article ID: 935206. pag 5.

adicionalmente, se evidencia la cantidad de factores que afectan el comportamiento de estos.

Por otro lado, se han llevado a cabo algunos estudios que buscan observar los efectos que puede tener la radiación UV en la guadua, sin embargo, estos se han realizado con el fin de observar sus cambios desde el punto de vista de la química.

En el 2018, se presentan dos proyectos de grado en la Universidad Católica de Colombia sobre efectos de la radiación UV en guadua. El primero de estos se titula “Efectos de la radiación UV en presencia de humedad y temperatura en la guadua”³⁴, en este el autor realiza un análisis documental y bibliográfico sobre la interacción que tiene la guadua con la radiación UV, y de como factores medioambientales como la humedad y temperatura influyen en su comportamiento. Mediante los resultados, el autor manifiesta que se observan cambios significativos en el contenido de humedad y en la temperatura, los cuales afectan directamente a la guadua en sus propiedades de resistencia mecánica.

El segundo proyecto se titula “Efectos de la radiación ultravioleta en la guadua”³⁵, en este se realiza una revisión de literatura y se lleva a cabo un estudio de los diferentes efectos que produce la radiación ultravioleta en la guadua como material para construcción, entre los cuales se denotan los cambios de color, efectos en el crecimiento, en el ciclo de calvin, cambios morfológicos, cambios anatómicos y ADN. El autor presenta en sus conclusiones que uno de los efectos negativos de la radiación UV-B está relacionado con la inhibición del crecimiento, también que afecta el ciclo de calvin, lo cual se ve reflejado de manera indirecta en la producción de glucosa.

Aunque se encontraron varios estudios sobre las propiedades mecánicas de la guadua, y sobre los efectos de los rayos UV en la guadua, no se pudo encontrar uno que relacione ambos, es decir, que realice la exposición a la radiación UV del material y luego evalúe la afectación de estos rayos en el comportamiento de sus propiedades.

1.7 METODOLOGÍA

1.7.1 Tipo de investigación. Este proyecto se desarrolló mediante una investigación experimental de carácter mixto, en la cual se llevaron a cabo diferentes pruebas de laboratorio y se implementaron técnicas estadísticas para el análisis de resultados, adicionalmente se utilizaron procesos para la recolección y análisis de datos con el fin de comprender el fenómeno estudiado.

³⁴ AGUIRRE MORA, op. cit,

³⁵ OLAYA ROJANO, Erlin Enrique. 2018. Efectos de la radiación ultravioleta en la guadua. Bogotá: s.n., 2018. pág. 73. Trabajo de grado (Ingeniero Industrial).

1.7.2 Fuentes de información.

1.7.2.1 Fuentes de información primarias. Normas colombianas relacionadas con el manejo de la guadua angustifolia kunth y con el desarrollo de los ensayos de laboratorio.

1.7.2.2 Fuentes de información secundarias. Se emplearon manuales, guías trabajos de grado, artículos y libros relacionados con el tema de investigación.

1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

El desarrollo del proyecto “Análisis de las propiedades mecánicas de la guadua expuesta y no expuesta a rayos UV mediante técnicas estadísticas” se realizó en tres fases, las cuales a su vez se dividieron en dos etapas cada una.

A manera general, se desarrolló el muestreo del material a utilizar, realizando una caracterización física de las dimensiones del mismo, inicialmente se caracterizaron 120 muestras de material, pero debido a inconvenientes en la adquisición e implementación de los equipos necesarios para el desarrollo del mismo, esta muestra se vio considerablemente reducida.

Posterior a la caracterización, se realizó la exposición del material seleccionado a los rayos UV durante 15 días, para luego continuar con los ensayos de laboratorio, obtención de resultados y análisis de los mismos.

1.8.1 Fase 1. La fase 1 corresponde a todo lo desarrollado en la propuesta de trabajo de grado.

1.8.1.1 Etapa 1. En la primera etapa de la fase 1, se llevó a cabo el análisis preliminar sobre las propiedades a evaluar, selección de las mismas y los ensayos a realizar, teniendo en cuenta el tiempo disponible y los posibles equipos a utilizar. También se realizó todo el trabajo correspondiente a la recolección de información y búsqueda bibliográfica, para sentar unas bases de investigación y desarrollo del proyecto.

1.8.1.2 Etapa 2. Esta etapa comprendió el muestreo y caracterización del material, esto con el fin de realizar una identificación y obtener las dimensiones del mismo, ya que estas son fundamentales en el comportamiento del material al momento de ser sometido a las pruebas de laboratorio.

1.8.2 Fase 2. La fase 2 corresponde a la exposición del material a los rayos ultravioleta y a la realización de los ensayos mecánicos.

1.8.2.1 Etapa 1. En la primera etapa se realizó la exposición del material a los rayos UV, esto durante 15 días continuos.

1.8.2.2 Etapa 2. En esta etapa se llevaron a cabo los ensayos de laboratorio de resistencia a la compresión paralela a la fibra, resistencia a la compresión perpendicular a la fibra y porcentaje de humedad.

1.8.3 Fase 3. La fase 3 es la última del desarrollo del proyecto, en esta se encuentran el reporte y análisis de resultados, elaboración del documento trabajo de grado y elaboración del medio de divulgación.

1.8.3.1 Etapa 1. La primera etapa de la tercera fase, constituye el reporte y análisis de resultados. Estos se pueden observar en el capítulo de RESULTADOS.

La metodología implementada para el análisis de estos se explica en el capítulo ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1.8.3.2 Etapa 2. Esta etapa es la parte final del proyecto, está conformada por la elaboración del documento de trabajo de grado y del medio de divulgación. Esto se realizó de acuerdo a los lineamientos estipulados por la Universidad Católica de Colombia para la creación de este tipo de documentos.

2. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

Para el desarrollo del proyecto se seleccionaron muestras provenientes del departamento del Quindío, el procedimiento de corte de los culmos de guadua se realizó tomando en cuenta los aspectos más importantes de acuerdo a los fines estructurales. El material seleccionado presenta una edad entre 3 y 6 años, tiempo en el cual su resistencia se encuentra completamente desarrollada. Este procedimiento de adquisición, preparación y almacenamiento del material, fue realizado previamente por la Universidad Católica de Colombia, quienes desde un principio pusieron el material a disposición de los estudiantes para su uso en la realización de los trabajos de grado.

Figura 4. Almacenamiento del material en la Universidad Católica de Colombia



Fuente. Autor, 2019

Se seleccionaron culmos de tres diferentes diámetros aproximados: 5 cm, 10 cm y 15 cm, el corte se realizó para generar las probetas de 30 cm de longitud, variando el lugar de corte, es decir, algunas se cortaron en los nudos y otras entre ellos, de esta manera las muestras quedaron divididas en las que tienen nudo intermedio y en las que no.

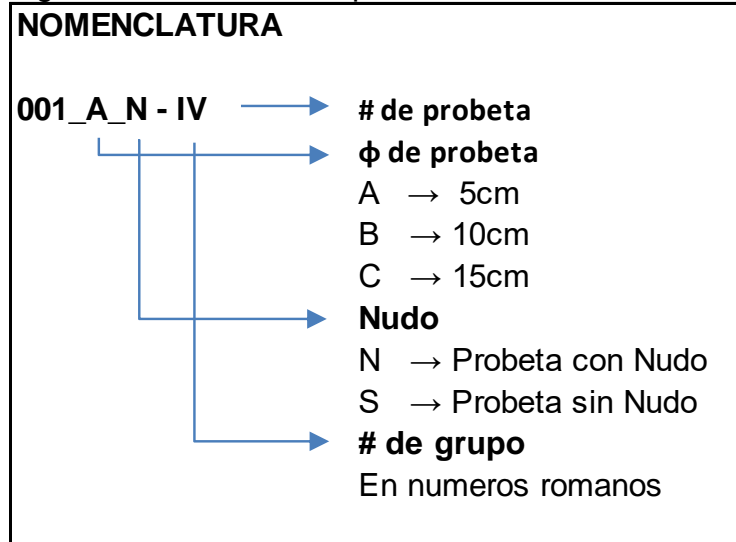
La identificación de las muestras se llevó a cabo utilizando una codificación para diferenciarlas según el número de probeta, su diámetro, presencia de nudo y grupo asignado al proyecto. Esto permitió llevar un control más adecuado del material.

Figura 5. Muestras de diferentes diámetros



Fuente. Autor, 2019

Figura 6. Nomenclatura para identificación de muestras



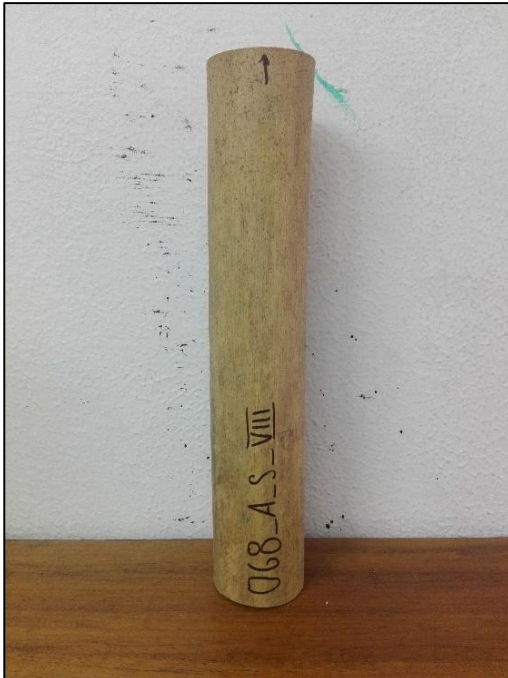
Fuente. Autor, 2019

Figura 7. Muestra identificada con nudo



Fuente. Autor, 2019

Figura 8. Muestra identificada sin nudo



Fuente. Autor, 2019

Una vez seleccionado e identificado el material, se continuó con la caracterización física del mismo. Primero se especificó el sentido de crecimiento y se marcó en la muestra, luego se identificaron puntos en las partes superior e inferior, de manera que quedara dividida en cuatro cuartos aproximadamente iguales, se le realizaron dos medidas de diámetros en la parte superior, dos en el centro (en el caso de presentar nudo, la medida se tomó en este) y dos en la parte inferior, estas se tomaron perpendiculares entre sí tomando como referencia los puntos previamente marcados.

Posteriormente se midieron los espesores de pared, esta medida se realizó en los puntos en los cuales se tomaron los diámetros (perpendiculares entre sí) en los extremos de la muestra de guadua, de esta manera se obtuvieron ocho datos correspondientes al espesor de pared, cuatro en la parte superior y cuatro en la parte inferior. Finalmente se toman cuatro longitudes, una por cada punto marcado; estos datos son reportados en los formatos de caracterización (ver anexo 1).

Este proceso se realizó para un total de 120 muestras, las cuales se clasificaron de la siguiente manera: 40 muestras de 5 cm de diámetro (20 con nudo y 20 sin nudo), 40 muestras de 10 cm de diámetro (20 con nudo y 20 sin nudo), y 40 muestras de 15 cm de diámetro (20 con nudo y 20 sin nudo), pero debido a los inconvenientes presentados por la demora en la adquisición de los equipos necesarios para el desarrollo del proyecto, finalmente se tomó la decisión de reducir la muestra a solo 24 unidades, esto con el fin de cumplir con el periodo de tiempo asignado para la entrega del trabajo.

Figura 9. Culmo marcado para división en cuartos y toma de medidas



Fuente. Autor, 2019

Figura 10. Proceso de medición



Fuente. Autor, 2019

Figura 11. Medición de longitud



Fuente. Autor, 2019

Figura 12. Medición de diámetro



Fuente. Autor, 2019

Figura 13. Medición de espesor de pared



Fuente. Autor, 2019

3. EXPOSICIÓN A RAYOS UV

Este proceso se realizó en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia, en el almacén donde se encuentra guardado el material del grupo de investigación. Luego de adquirir los tubos UV-B que se iban a utilizar para el proceso, se adecuó el montaje eléctrico de las lámparas y se arregló la distribución de las mismas de tal manera que se pudieran aprovechar al máximo. Se ubicaron de manera consecutiva, apoyadas sobre unos culmos de guadua que no se iban a utilizar y unas bases metálicas para dar estabilidad.

Con el montaje casi listo, se tomó el material y se distribuyó debajo de las lámparas de tal manera que se garantizara que la luz emitida alcanzara a llegar de una manera equitativa a todas las muestras. Posteriormente, se finalizó cubriendo todo el sistema con plástico grueso, esto para evitar que los rayos UV-B pudiesen llegar a afectar al material restante almacenado en el lugar.

La exposición se realizó durante 15 días continuos y sin interrupciones, es decir, aproximadamente 360 horas. Se tomó en cuenta que el extremo de las muestras sobre el suelo no recibiría la misma cantidad de rayos UV que si recibiría la parte superior, por esto, a los 8 días de comenzada la exposición, se volteó el material de tal manera que el extremo que estaba apoyado en el suelo, ahora estuviera en la parte superior, así se tendría el mismo tiempo de exposición para todo el material.

Finalmente tomando en consideración el peligro que suponía tener este sistema funcionando durante 15 días de manera consecutiva, y en un almacén lleno de muestras de guadua, se realizó el control y vigilancia del desarrollo de esta fase de manera diaria, exceptuando días no laborales.

Figura 14. Tubos UV-B marca ReptiSun



Fuente. Autor, 2019

Figura 15. Montaje de las lámparas



Fuente. Autor, 2019

Figura 16. Distribución del material bajo las lámparas



Fuente. Autor, 2019

Figura 17. Muestras sometidas a rayos UV



Fuente. Autor, 2019

Figura 18. Incubadora



Fuente. Autor, 2019

4. ENSAYOS DE LABORATORIO

Para el desarrollo de esta etapa, se seleccionaron los ensayos de resistencia a la compresión paralela a la fibra, resistencia a la compresión perpendicular a la fibra y porcentaje de humedad.

Para los ensayos se implementó la máquina de prueba universal multi parámetros fabricada por MTS. Esta máquina es capaz de manejar cargas de 50kN hasta 300kN. Para la determinación del porcentaje de humedad se utilizaron el horno y la balanza, todos estos equipos pertenecientes al laboratorio de materiales de la Universidad Católica de Colombia.

Figura 19. Equipo MTS del laboratorio de materiales de la UC de C



Fuente. Autor, 2019

Figura 20. Balanza digital



Fuente. Duarte & Rojas, 2017

Figura 21. Horno



Fuente. Autor, 2019

Para realizar los ensayos de compresión paralela a la fibra y de compresión perpendicular a la fibra, se dividieron por la mitad los dos grupos previamente clasificados (muestras expuestas y no expuestas a rayos UV), es decir, de las 12 probetas expuestas a rayos UV, la mitad se destinó para el ensayo a compresión paralela y la otra mitad para el ensayo de compresión perpendicular, mismo procedimiento se realizó con las 12 muestras que no fueron expuestas a los rayos

UV. Quedando así, 6 muestras expuestas a rayos UV y 6 muestras no expuestas a rayos UV para el ensayo a compresión, misma cantidad para el ensayo a tracción.

4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

Para el ensayo de resistencia a la compresión paralela a la fibra, se ubicaron las probetas de 10 y 15 cm de diámetro en unas bases especiales para este tipo de ensayo, las de 5 cm de diámetro no se vieron en la necesidad de utilizar las bases, luego se acomodaron en la MTS de forma vertical y se dio inicio. Este ensayo se realizó una probeta a la vez, con el equipo graduado a una velocidad de 1.3mm/min recomendada por la persona encargada de la configuración y manejo del equipo, esto con el fin de obtener una cantidad mayor de datos para un resultado más acertado. Se tomó registro fotográfico de todas las probetas (ver anexo 4).

Con los datos obtenidos, se realizaron los cálculos pertinentes con el fin de obtener la resistencia última del material a la compresión paralela y su módulo de elasticidad. Esto se llevó a cabo de acuerdo a lo ya descrito en el numeral 1.6.2.1.

Para determinar la resistencia a la compresión, se dividió la carga máxima presentada durante el ensayo por el área de la sección transversal de la muestra de guadua, aplicando la siguiente ecuación:

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

Donde:

σ_{ult} : Es el esfuerzo de compresión paralela a la fibra.

F_{ult} : Es la carga de falla.

A : Es el área de la sección transversal de la muestra de guadua.

El módulo de elasticidad se halló mediante la determinación de la pendiente de la zona elástica de la curva esfuerzo – deformación. Adicionalmente, también se halló mediante la aplicación de la ecuación:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad o módulo de Young.

σ : Esfuerzo.

ε : Deformación unitaria.

Esto se realizó debido a que en algunos casos el comportamiento del material no describió una gráfica tan clara. Por ello también se hallaron los valores estadísticos

para el grupo de datos del módulo de elasticidad, y de esta manera observar más a fondo el comportamiento de esta variable.

Figura 22. Ensayo a compresión muestra de 5 cm de diámetro



Fuente. Autor, 2019

Figura 23. Ensayo a compresión muestra de 10 cm de diámetro



Fuente. Autor, 2019

Figura 24. Ensayo a compresión muestra de 15 cm de diámetro



Fuente. Autor, 2019

4.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

Para el ensayo de resistencia a la compresión perpendicular, se ubicaron las probetas de forma horizontal en la MTS, procurando que la carga sea aplicada en el centro de estas, luego se inició la prueba. Este ensayo se realizó una probeta a la vez, con el equipo graduado a una velocidad de 1.3mm/min recomendada por la persona encargada de la configuración y manejo del equipo, esto con el fin de obtener una cantidad mayor de datos para un resultado más acertado. Se tomó registro fotográfico de todas las probetas (ver anexo 4).

Con los datos obtenidos, se realizaron los cálculos pertinentes con el fin de obtener la resistencia a la compresión perpendicular y su módulo de elasticidad. Esto se llevó a acabo de acuerdo a lo ya descrito en el numeral 1.6.2.2.

Este ensayo se realizó en base a investigaciones previas, de estas se aplicó la metodología del procedimiento y las ecuaciones utilizadas para la determinación de la resistencia a la compresión perpendicular, y el módulo de elasticidad circunferencial, realizando unas variaciones en las dimensiones de las muestras de guadua.

Para determinar la resistencia a la compresión perpendicular, se implementó la ecuación utilizada por Alvarado (2013):

$$\sigma_{ult} = \frac{3DF}{2Lt^2}$$

Donde:

σ_{ult} : Esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra.

D : Diámetro externo promedio de la probeta.

F : Es la carga de falla.

L : Es la longitud promedio de la probeta.

t^2 : Es el espesor promedio de la pared al cuadrado.

Para el módulo de elasticidad circunferencial se implementó la metodología utilizada por Ghavami, García y Torres (2007):

$$E_{\varphi} = \left(\frac{\pi R}{4A} + \frac{R^3}{I} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2}{\pi} \right) \right) * S$$

Donde:

R : Es el radio.

I : Es la inercia.

A : Área promedio de la sección comprimida.

S : Es la pendiente de la curva carga vs deflexión.

Para el valor "S", correspondiente a la pendiente de la curva carga vs deflexión, se observó que en algunos casos el coeficiente de correlación daba valores por debajo de 0.85, lo cual indica que la relación lineal apenas si era significativa.

En búsqueda de un resultado más óptimo, se trazó nuevamente el diagrama buscando un coeficiente de correlación igual o mayor a 0.85.

Figura 25. Ensayo a compresión perpendicular muestra de 5 cm de diámetro



Fuente. Autor, 2019

Figura 26. Ensayo a compresión perpendicular muestra de 10 cm de diámetro



Fuente. Autor, 2019

Figura 27. Ensayo a compresión perpendicular muestra de 15 cm de diámetro



Fuente. Autor, 2019

4.3 PORCENTAJE DE HUMEDAD

Para determinar el contenido de humedad de las muestras utilizadas en los ensayos, se tomaron las probetas luego de fallarlas y se llevaron a una balanza digital para obtener la masa de cada una de ellas, esta es la masa de la muestra antes del secado (m). Luego de reportar estos datos, se llevaron al horno de secado a una temperatura de 103°C aproximadamente y se dejaron allí durante 24 horas.

Posteriormente se extraen y se vuelven a pesar, de esta manera se obtiene la masa después del secado (m_o) esto se realizó en grupos de 3 muestras, una de cada diámetro debido a las dimensiones del horno y a que este estaba siendo utilizado para otros trabajos. Para determinar el contenido de humedad se empleó la siguiente ecuación:

$$CH\% = \frac{m - m_o}{m_o} * 100$$

Donde:

$CH\%$: Contenido de humedad del material (%).

m : Masa de la muestra previa al secado en horno.

m_o : Masa de la muestra después de secarse en el horno.

Figura 28. Pesaje de muestra



Fuente. Autor, 2019

Figura 29. Muestras en horno de secado



Fuente. Autor, 2019

Figura 30. Muestras en horno de secado -2-



Fuente. Autor, 2019

5. RESULTADOS

Los resultados de los ensayos de laboratorio de resistencia a la compresión paralela a la fibra y resistencia a la compresión perpendicular a la fibra, realizados a las muestras de guadua expuestas y no expuestas a rayos UV, se encuentran sintetizados a continuación, estos se dividieron por tipo de ensayo. Los resultados completos de cada ensayo se encuentran en los anexos (ver anexos 2 y 3).

5.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

Los resultados de este ensayo se dividieron en muestras expuestas a rayos UV y muestras no expuestas a rayos UV.

5.1.1 Muestras expuestas a rayos UV.

5.1.1.1 Muestra 061_A_S_VIII. En la tabla 2 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 3 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión, el módulo de Young hallado gráficamente y el módulo de Young promedio hallado mediante fórmula.

Adicionalmente se presenta la gráfica esfuerzo vs deformación y la gráfica de la zona elástica para la identificación del módulo de Young gráfico.

Tabla 2. Identificación de la muestra y datos iniciales (061_A_S_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA EXPUESTA UV	
ID: 061_A_S_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
FECHA: 01/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	84.99592969
DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	5.7283
ÁREA TRANSVERSAL (PROMEDIO) (cm ²)	25.7716005
ÁREA PROM. (m ²)	0.00257716

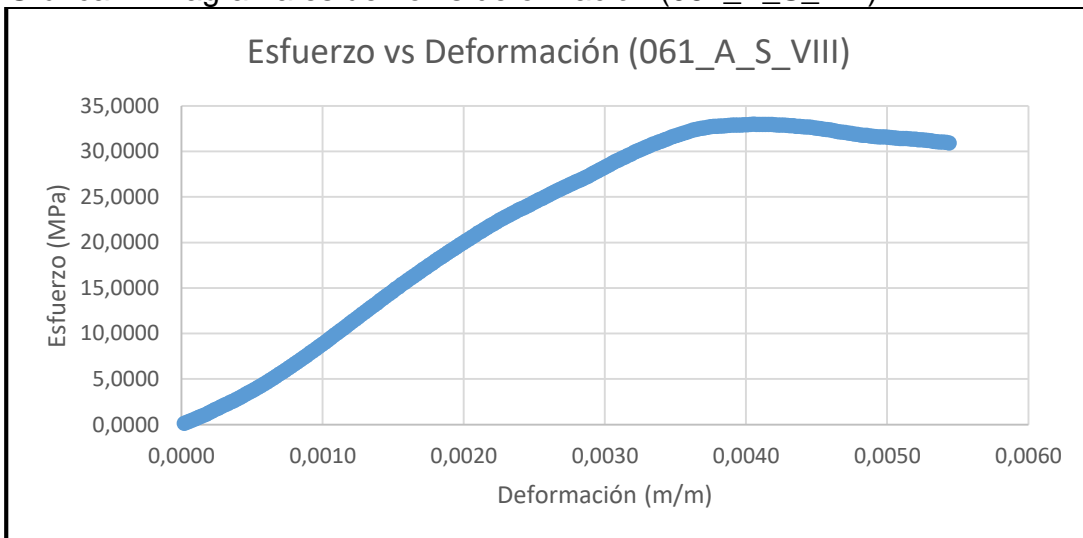
Fuente. Autor, 2019

Tabla 3. Resumen de resultados (061_A_S_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
ESFUERZO A COMP (σ_{ult}) (MPa)	32.98046223
R2	0.9952
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	9794.9
MÓDULO DE YOUNG PROM. FÓRMULA (Mpa)	8403.1

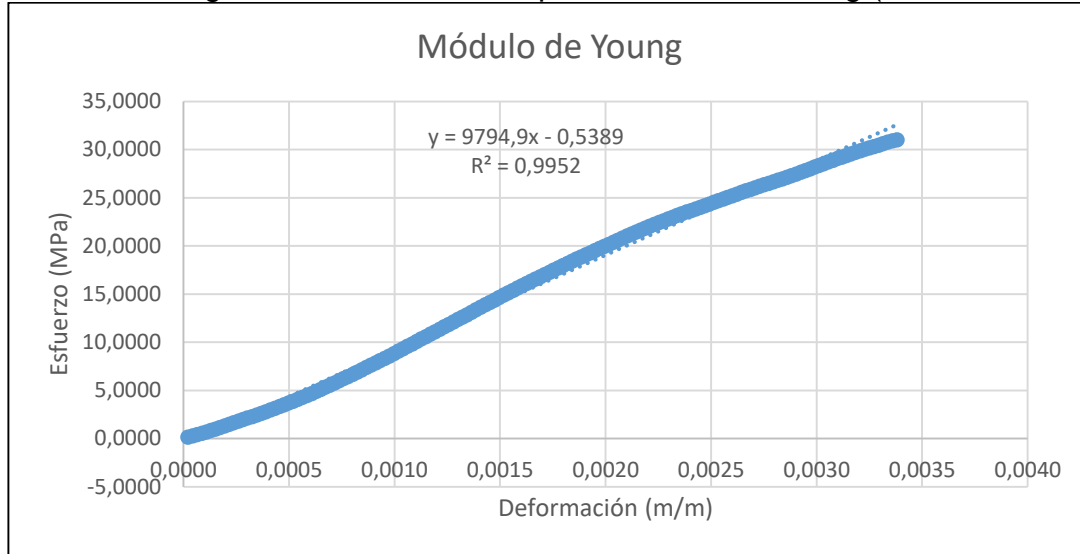
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 1. Diagrama esfuerzo vs deformación (061_A_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 2. Diagrama sección elástica para módulo de Young (061_A_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.1.1.2 Muestra 072_A_N_VIII. En la tabla 4 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 5 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión, el módulo de Young hallado gráficamente y el módulo de Young promedio hallado mediante fórmula.

Adicionalmente se presenta la gráfica esfuerzo vs deformación y la gráfica de la zona elástica para la identificación del módulo de Young gráfico.

Tabla 4. Identificación de la muestra y datos iniciales (072_A_N_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA EXPUESTA UV	
ID: 072_A_N_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
FECHA: 01/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	80.79455469
DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	5.800
ÁREA TRANSVERSAL (PROMEDIO) (cm ²)	26.42079422
ÁREA PROM. (m ²)	0.002642079

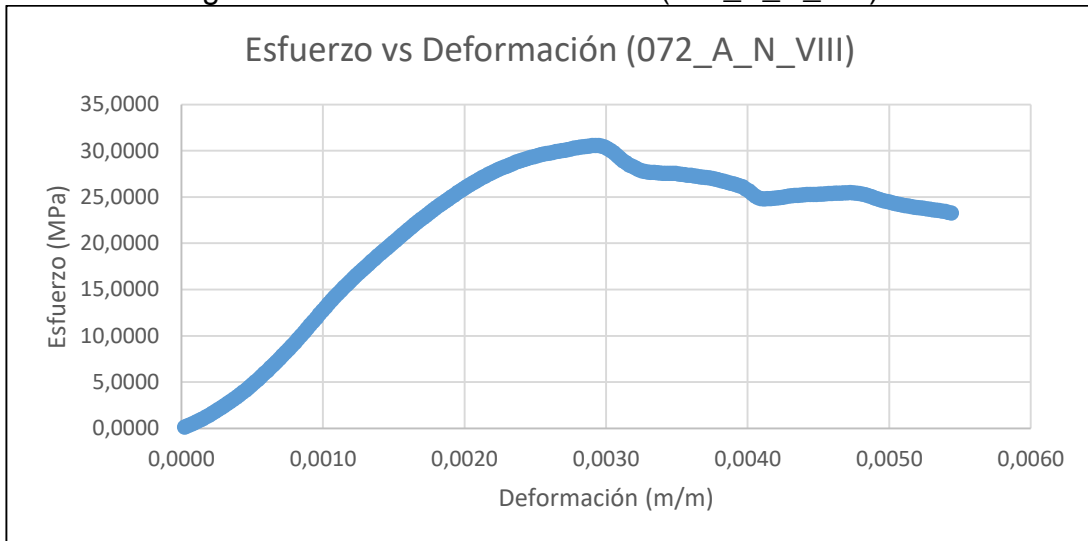
Fuente. Autor, 2019

Tabla 5. Resumen de resultados (072_A_N_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
ESFUERZO A COMP (σ_{ult}) (MPa)	30.57991142
R2	0.9956
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	14268
MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	9180.681

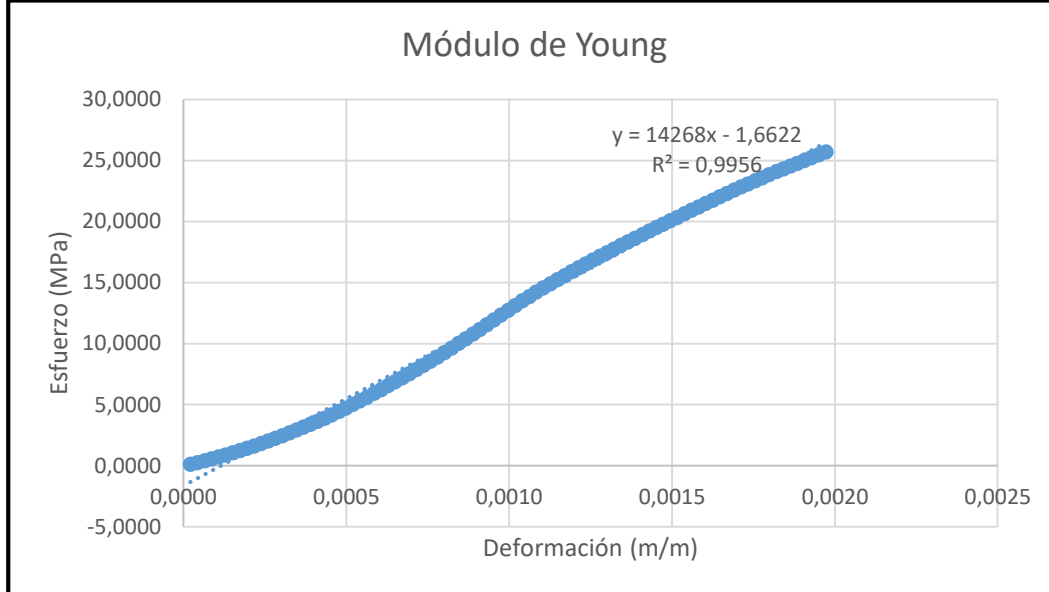
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 3. Diagrama esfuerzo vs deformación (072_A_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 4. Diagrama sección elástica para módulo de Young (072_A_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.1.1.3 Muestra 086_B_S_VIII. En la tabla 6 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 7 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión, el módulo de Young hallado gráficamente y el módulo de Young promedio hallado mediante fórmula.

Adicionalmente se presenta la gráfica esfuerzo vs deformación y la gráfica de la zona elástica para la identificación del módulo de Young gráfico.

Tabla 6. Identificación de la muestra y datos iniciales (086_B_S_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA EXPUESTA UV	
ID: 086_B_S_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
FECHA: 01/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	107.6362734
DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	10.2833
ÁREA TRANSVERSAL (PROMEDIO) (cm ²)	83.05291752
ÁREA PROM. (m ²)	0.008305292

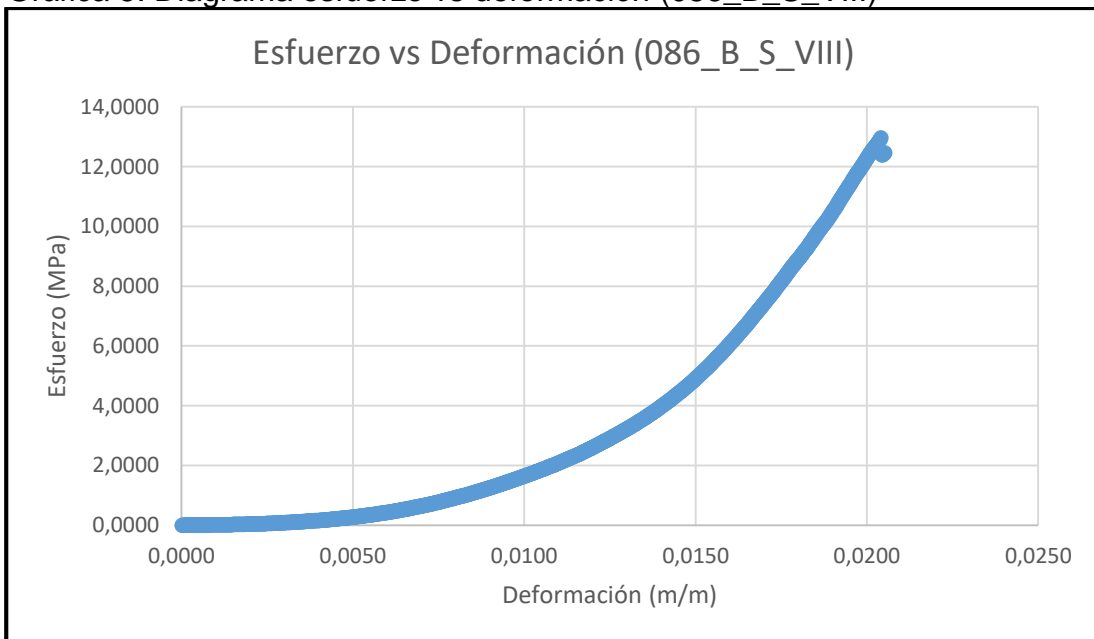
Fuente. Autor, 2019

Tabla 7. Resumen de resultados (086_B_S_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
ESFUERZO A COMP (σ_{ult}) (MPa)	12.95996296
R2	0.8709
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	301.03
MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	220.01791

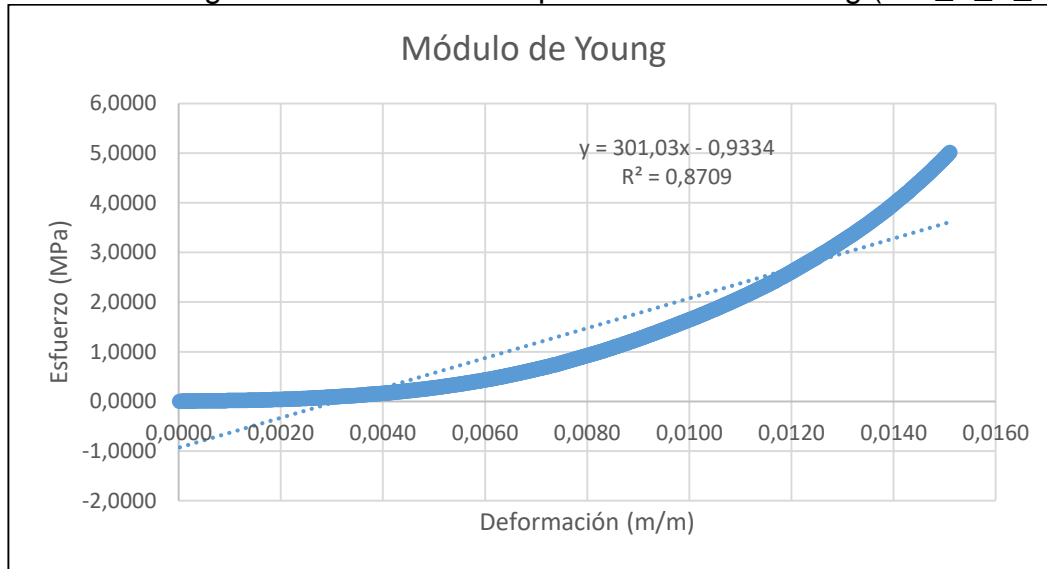
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 5. Diagrama esfuerzo vs deformación (086_B_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 6. Diagrama sección elástica para módulo de Young (086_B_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.1.1.4 Muestra 092_B_N_VIII. En la tabla 8 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 9 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión, el módulo de Young hallado gráficamente y el módulo de Young promedio hallado mediante fórmula.

Adicionalmente se presenta la gráfica esfuerzo vs deformación y la gráfica de la zona elástica para la identificación del módulo de Young gráfico.

Tabla 8. Identificación de la muestra y datos iniciales (092_B_N_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA EXPUESTA UV	
ID: 092_B_N_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
FECHA: 01/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	78.40439844
DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	10.1467
ÁREA TRANSVERSAL (PROMEDIO) (cm ²)	80.86107702
ÁREA PROM. (m ²)	0.008086108

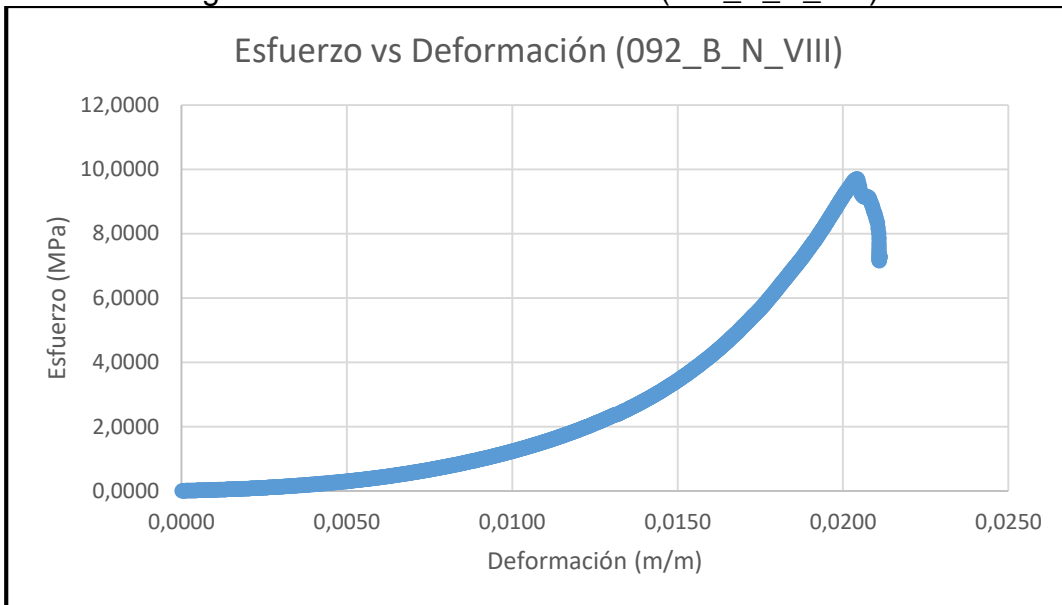
Fuente. Autor, 2019

Tabla 9. Resumen de resultados (092_B_N_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
ESFUERZO A COMP (σ_{ult}) (MPa)	9.6961853
R2	0.8949
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	202.13
MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	174.67926

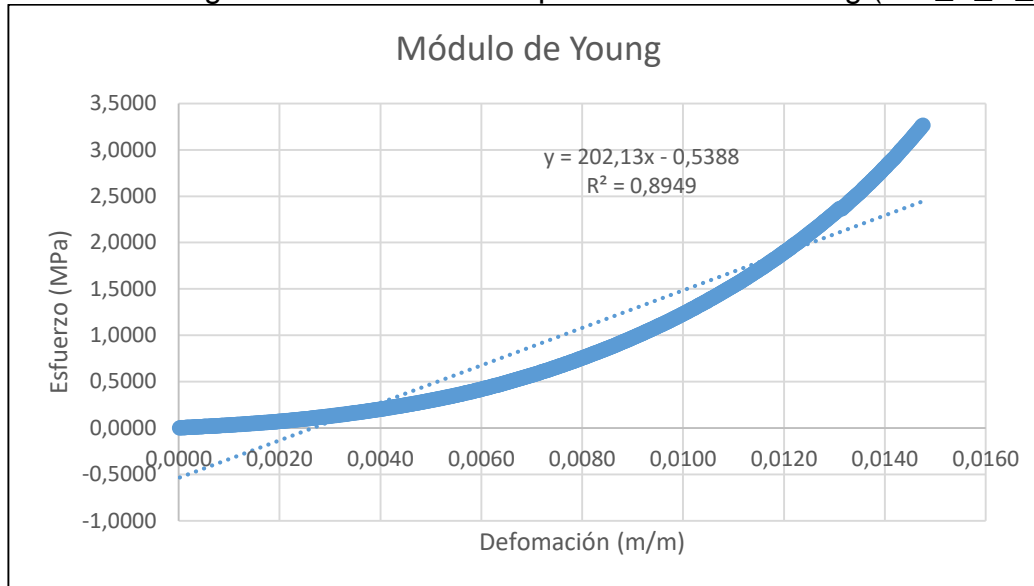
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 7. Diagrama esfuerzo vs deformación (092_B_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 8. Diagrama sección elástica para módulo de Young (092_B_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.1.1.5 Muestra 101_C_S_VIII. En la tabla 10 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 11 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión, el módulo de Young hallado gráficamente y el módulo de Young promedio hallado mediante fórmula.

Adicionalmente se presenta la gráfica esfuerzo vs deformación y la gráfica de la zona elástica para la identificación del módulo de Young gráfico.

Tabla 10. Identificación de la muestra y datos iniciales (101_C_S_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA EXPUESTA UV	
ID: 101_C_S_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
FECHA: 01/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	278.5109375
DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	15.205
ÁREA TRANSVERSAL (PROMEDIO) (cm ²)	181.5777918
ÁREA PROM. (m ²)	0.018157779

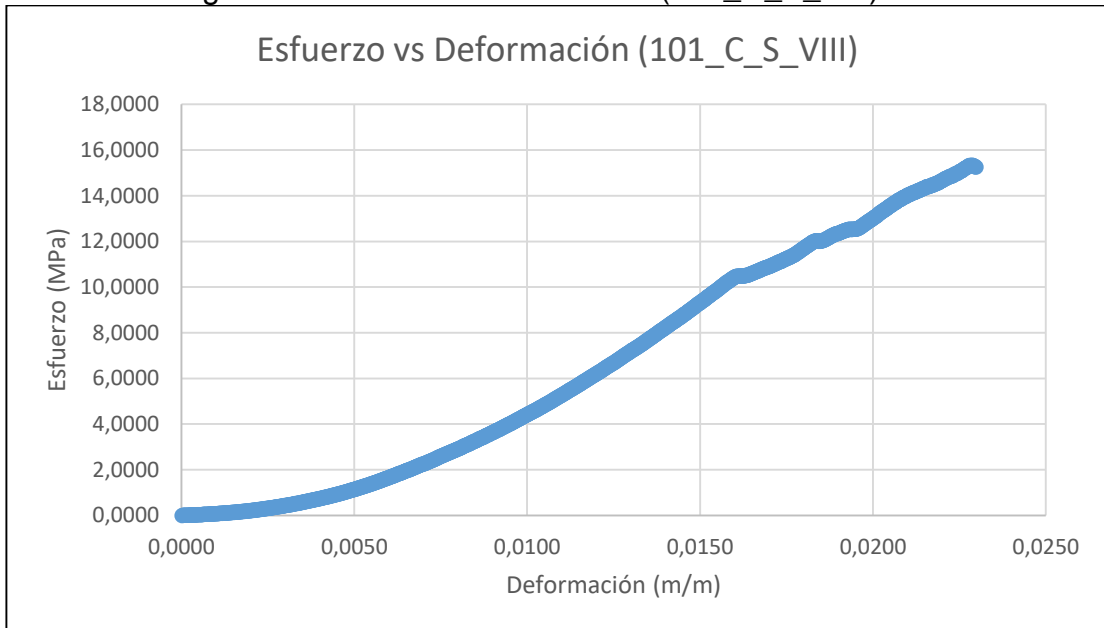
Fuente. Autor, 2019

Tabla 11. Resumen de resultados (101_C_S_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
ESFUERZO A COMP (σ_{ult}) (MPa)	15.33838113
R2	0.9502
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	645.69
MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	446.0774869

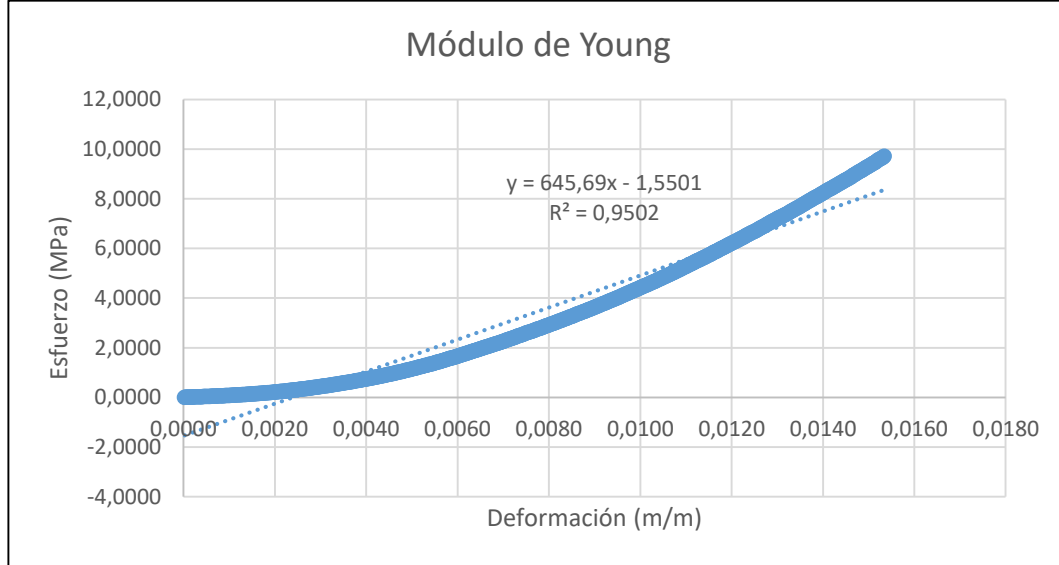
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 9. Diagrama esfuerzo vs deformación (101_C_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 10. Diagrama sección elástica para módulo de Young (101_C_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.1.1.6 Muestra 104_C_N_VIII. En la tabla 12 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 13 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión, el módulo de Young hallado gráficamente y el módulo de Young promedio hallado mediante fórmula.

Adicionalmente se presenta la gráfica esfuerzo vs deformación y la gráfica de la zona elástica para la identificación del módulo de Young gráfico.

Tabla 12. Identificación de la muestra y datos iniciales (104_C_N_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA EXPUESTA UV	
ID: 104_C_N_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
FECHA: 01/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	228.7540625
DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	14.7667
ÁREA TRANSVERSAL (PROMEDIO) (cm ²)	171.2603334
ÁREA PROM. (m ²)	0.017126033

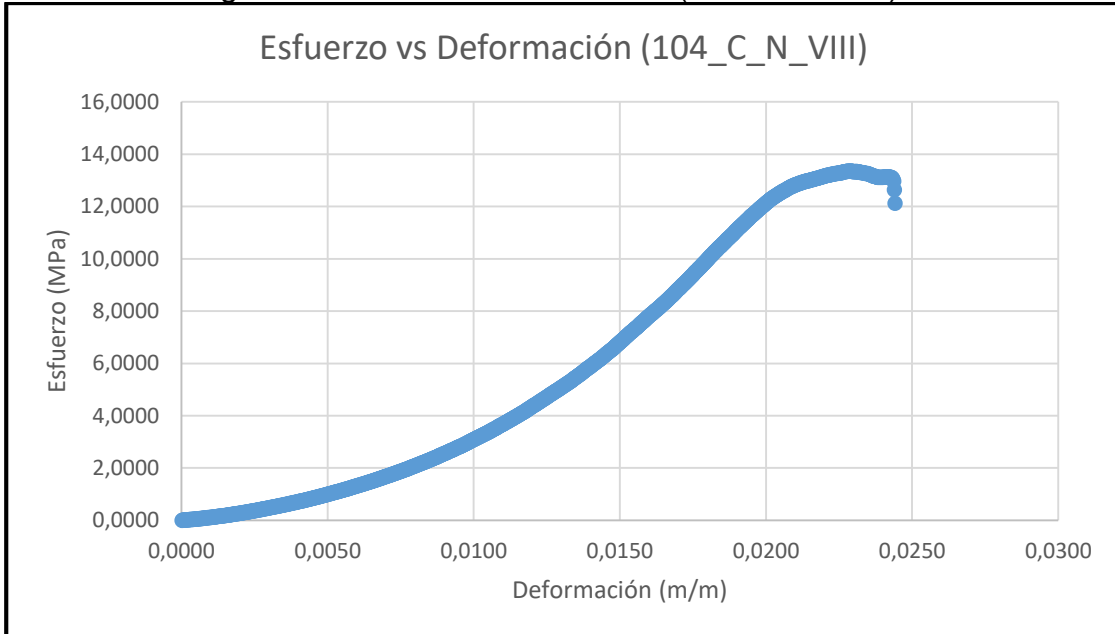
Fuente. Autor, 2019

Tabla 13. Resumen de resultados (104_C_N_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
ESFUERZO A COMP (σ_{ult}) (MPa)	13.35709548
R2	0.9463
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	440.99
MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	375.3832063

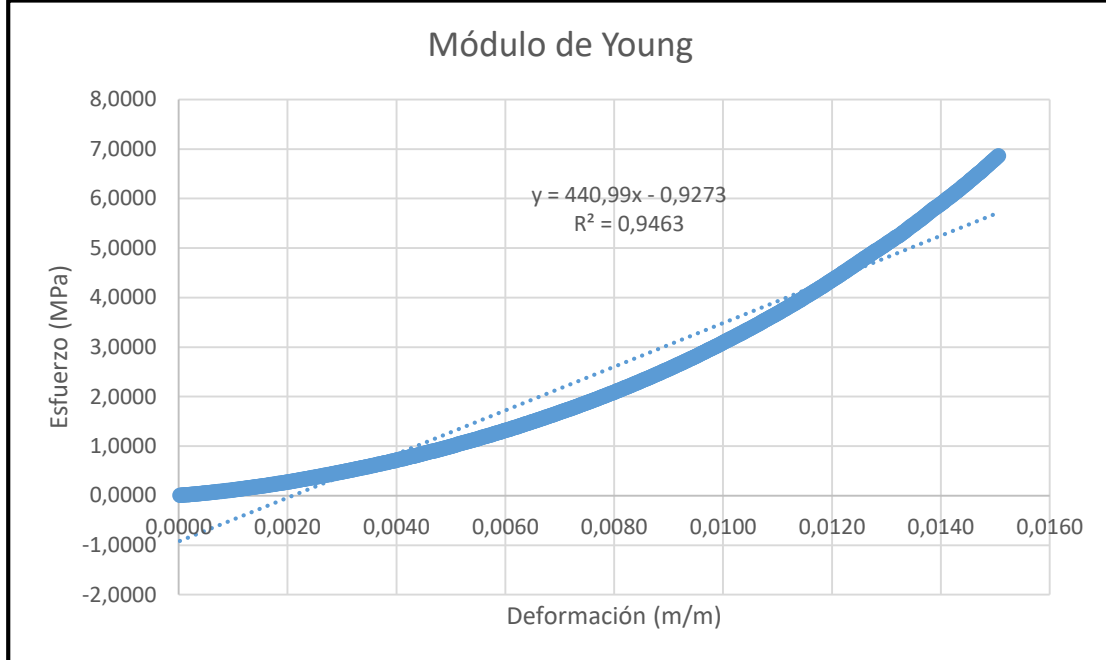
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 11. Diagrama esfuerzo vs deformación (104_C_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 12. Diagrama sección elástica para módulo de Young (104_C_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.1.2 Muestras no expuestas a rayos UV.

5.1.2.1 Muestra 070_A_S_VIII. En la tabla 14 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 15 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión, el módulo de Young hallado gráficamente y el módulo de Young promedio hallado mediante fórmula.

Adicionalmente se presenta la gráfica esfuerzo vs deformación y la gráfica de la zona elástica para la identificación del módulo de Young gráfico.

Tabla 14. Identificación de la muestra y datos iniciales (070_A_S_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA NO EXPUESTA UV	
ID: 070_A_S_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
FECHA: 01/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	60.12907
DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	5.39333
ÁREA TRANSVERSAL (PROMEDIO) (cm ²)	22.84566844
ÁREA PROM. (m ²)	0.002284567

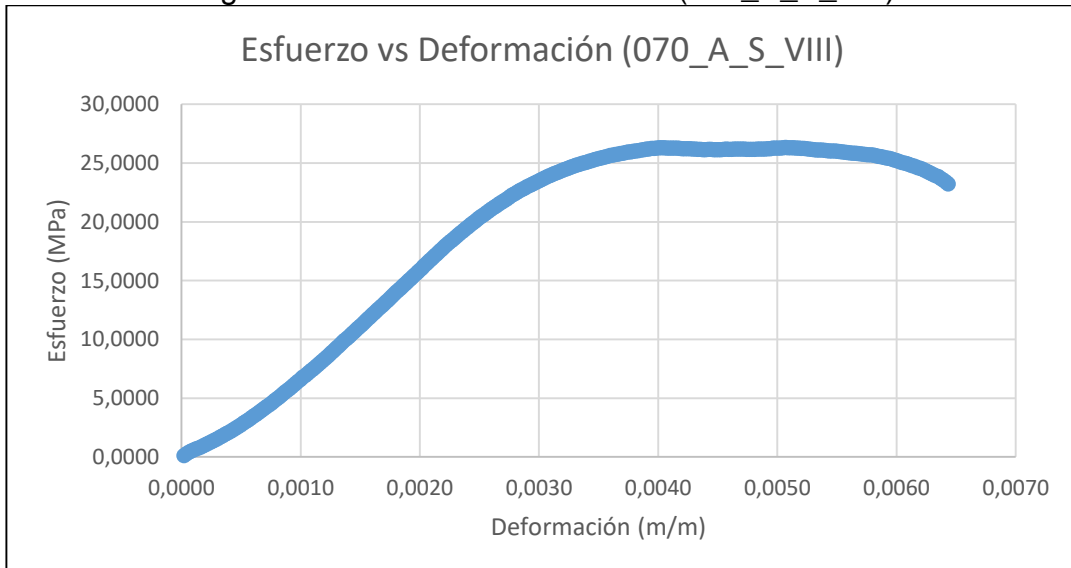
Fuente. Autor, 2019

Tabla 15. Resumen de resultados (070_A_S_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
ESFUERZO A COMP (σ_{ult}) (MPa)	26.3196826
R2	0.9935
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	8484.1
MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	6324.24755

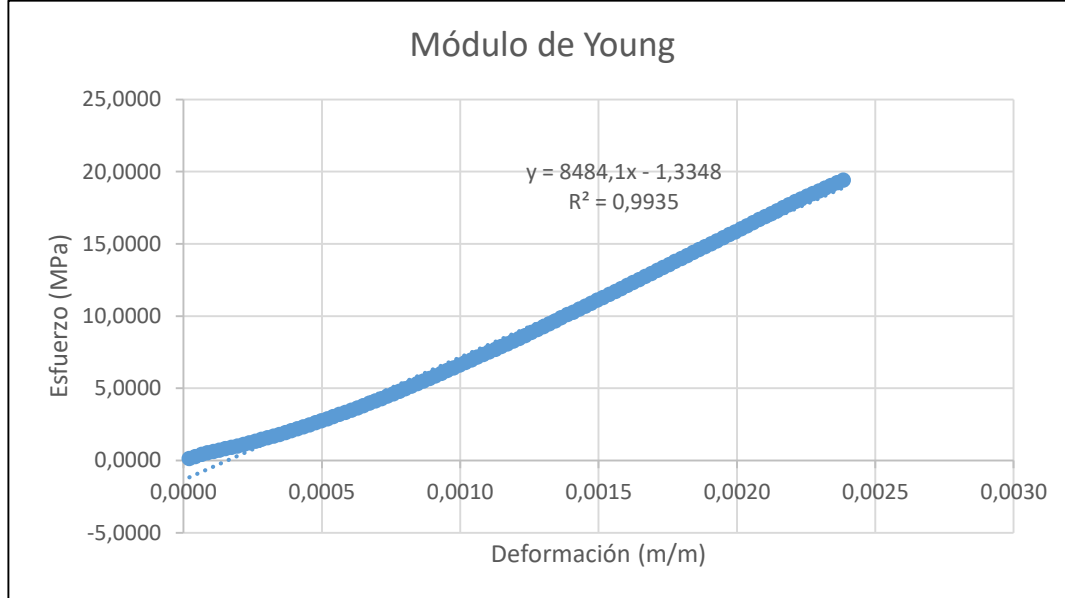
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 13. Diagrama esfuerzo vs deformación (070_A_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 14. Diagrama sección elástica para módulo de Young (070_A_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.1.2.2 Muestra 075_A_N_VIII. En la tabla 16 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 17 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión, el módulo de Young hallado gráficamente y el módulo de Young promedio hallado mediante fórmula.

Adicionalmente se presenta la gráfica esfuerzo vs deformación y la gráfica de la zona elástica para la identificación del módulo de Young gráfico.

Tabla 16. Identificación de la muestra y datos iniciales (075_A_N_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA NO EXPUESTA UV	
ID: 075_A_N_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
FECHA: 01/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	58.1818086
DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	6.1717
ÁREA TRANSVERSAL (PROMEDIO) (cm ²)	29.9157225
ÁREA PROM. (m ²)	0.002991572

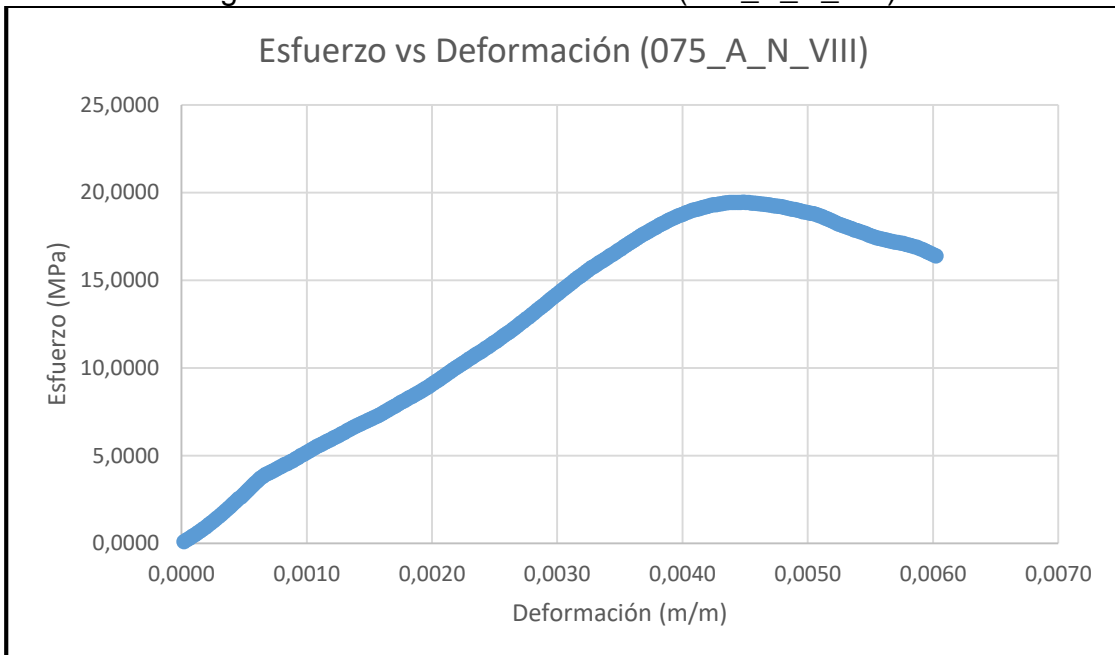
Fuente. Autor, 2019

Tabla 17. Resumen de resultados (075_A_N_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
ESFUERZO A COMP (σ_{ult}) (MPa)	19.4485721
R2	0.9969
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	6037.2
MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	4473.778875

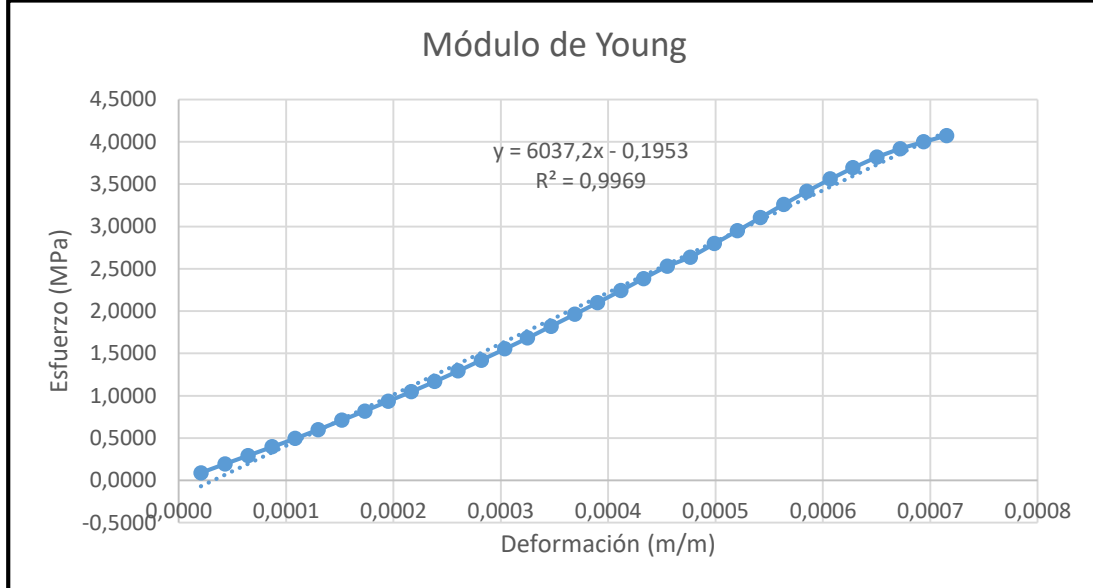
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 15. Diagrama esfuerzo vs deformación (075_A_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 16. Diagrama sección elástica para módulo de Young (075_A_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.1.2.3 Muestra 085_B_S_VIII. En la tabla 18 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 19 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión, el módulo de Young hallado gráficamente y el módulo de Young promedio hallado mediante fórmula.

Adicionalmente se presenta la gráfica esfuerzo vs deformación y la gráfica de la zona elástica para la identificación del módulo de Young gráfico.

Tabla 18. Identificación de la muestra y datos iniciales (085_B_S_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA NO EXPUESTA UV	
ID: 085_B_S_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
FECHA: 01/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	65.65634
DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	10.1467
ÁREA TRANSVERSAL (PROMEDIO) (cm ²)	80.86107702
ÁREA PROM. (m ²)	0.008086108

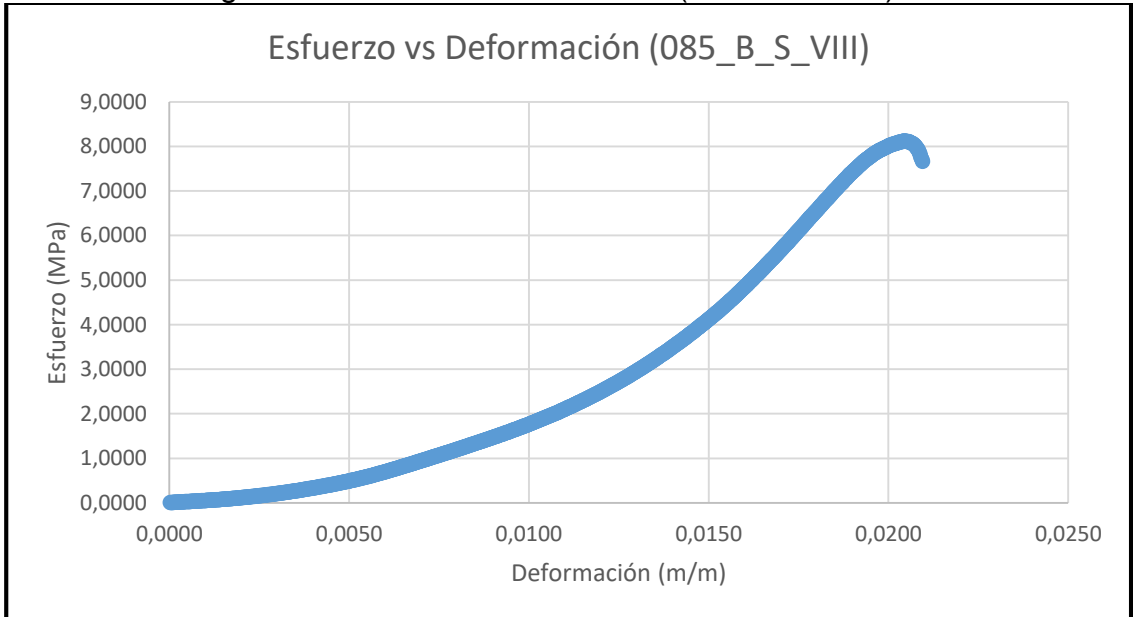
Fuente. Autor, 2019

Tabla 19. Resumen de resultados (085_B_S_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
ESFUERZO A COMP (σ_{ult}) (MPa)	8.119647446
R2	0.9377
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	258.52
MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	202.9061058

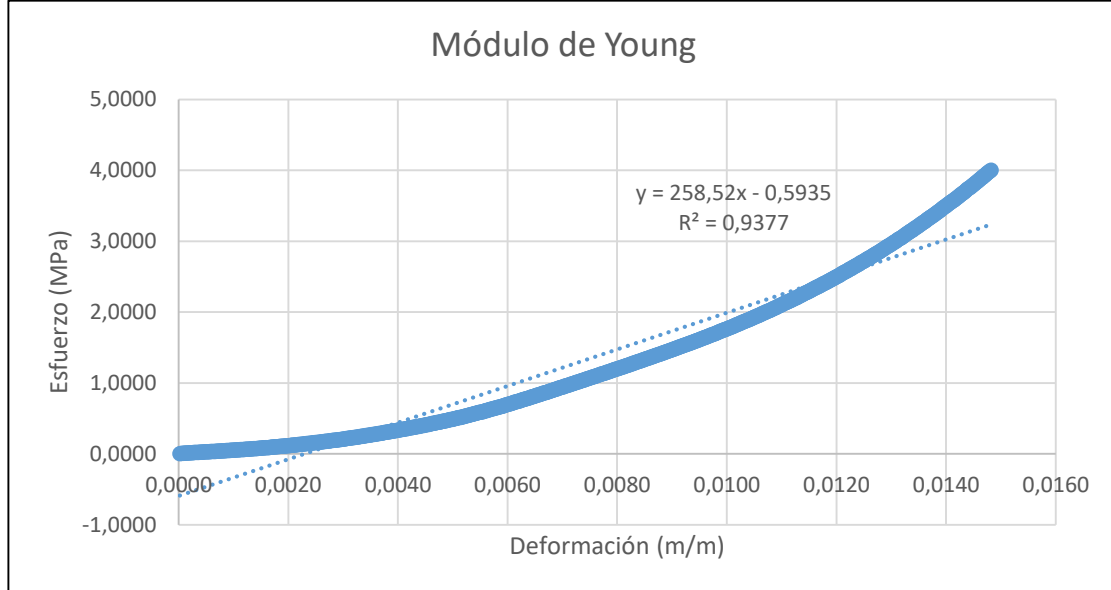
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 17. Diagrama esfuerzo vs deformación (085_B_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 18. Diagrama sección elástica para módulo de Young (085_B_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.1.2.4 Muestra 095_B_N_VIII. En la tabla 20 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 21 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión, el módulo de Young hallado gráficamente y el módulo de Young promedio hallado mediante fórmula.

Adicionalmente se presenta la gráfica esfuerzo vs deformación y la gráfica de la zona elástica para la identificación del módulo de Young gráfico.

Tabla 20. Identificación de la muestra y datos iniciales (095_B_N_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA NO EXPUESTA UV	
ID: 095_B_N_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
FECHA: 01/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	91.06334
DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	9.335
ÁREA TRANSVERSAL (PROMEDIO) (cm ²)	68.44134347
ÁREA PROM. (m ²)	0.006844134

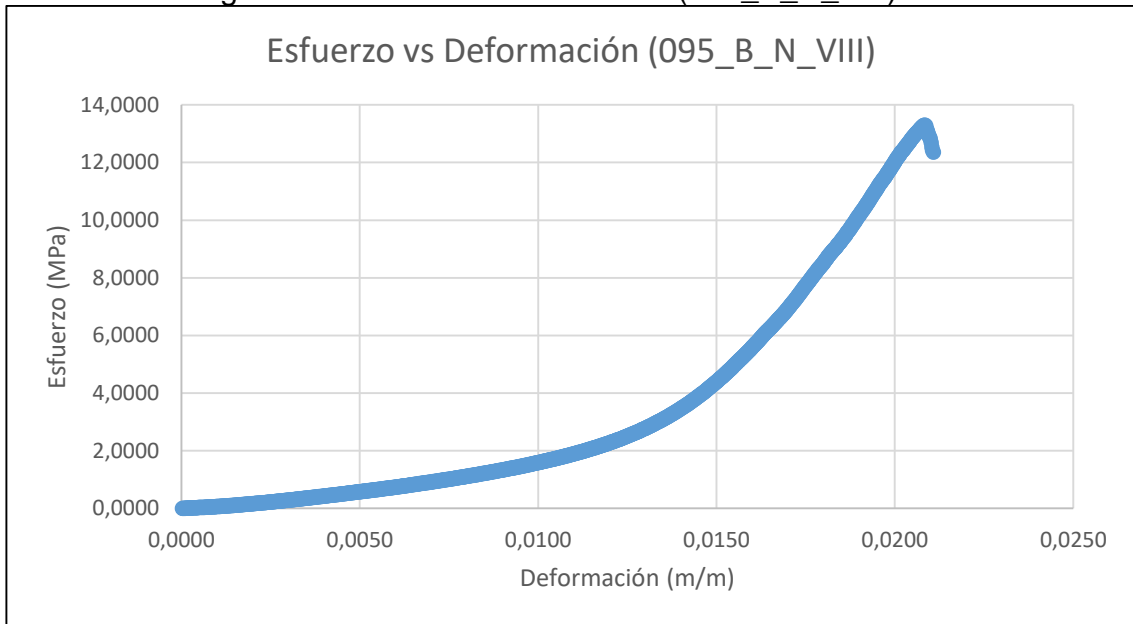
Fuente. Autor, 2019

Tabla 21. Resumen de resultados (095_B_N_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
ESFUERZO A COMP (σ_{ult}) (MPa)	13.30531213
R2	0.962
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	190
MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	239.8997395

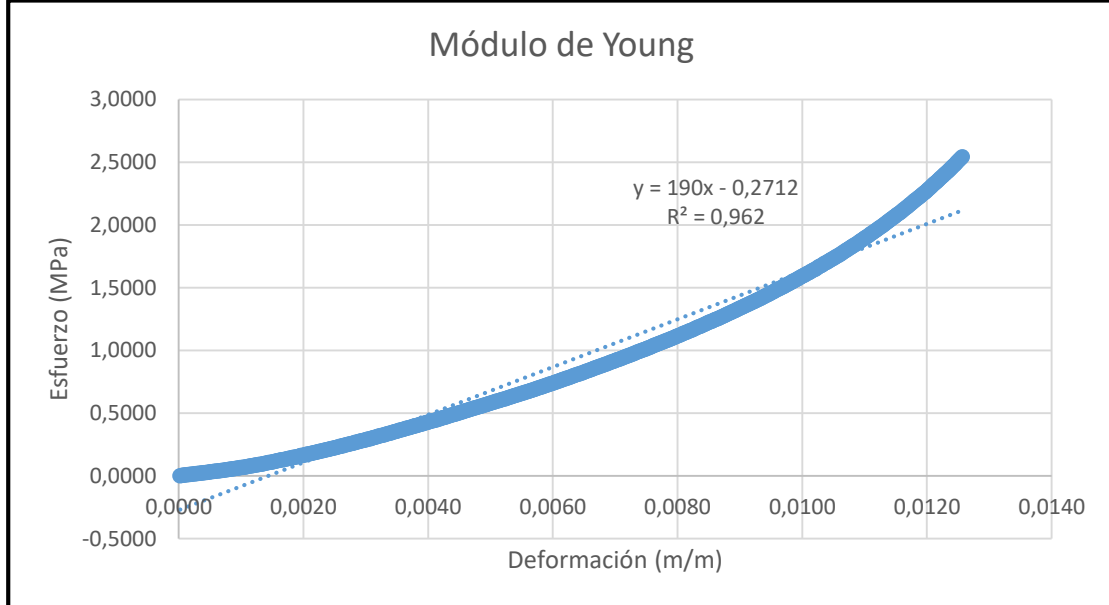
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 19. Diagrama esfuerzo vs deformación (095_B_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 20. Diagrama sección elástica para módulo de Young (095_B_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.1.2.5 Muestra 105_C_S_VIII. En la tabla 22 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 23 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión, el módulo de Young hallado gráficamente y el módulo de Young promedio hallado mediante fórmula.

Adicionalmente se presenta la gráfica esfuerzo vs deformación y la gráfica de la zona elástica para la identificación del módulo de Young gráfico.

Tabla 22. Identificación de la muestra y datos iniciales (105_C_S_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA NO EXPUESTA UV	
ID: 105_C_S_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
FECHA: 06/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	290.9152188
DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	14.4
ÁREA TRANSVERSAL (PROMEDIO) (cm ²)	162.8601632
ÁREA PROM. (m ²)	0.016286016

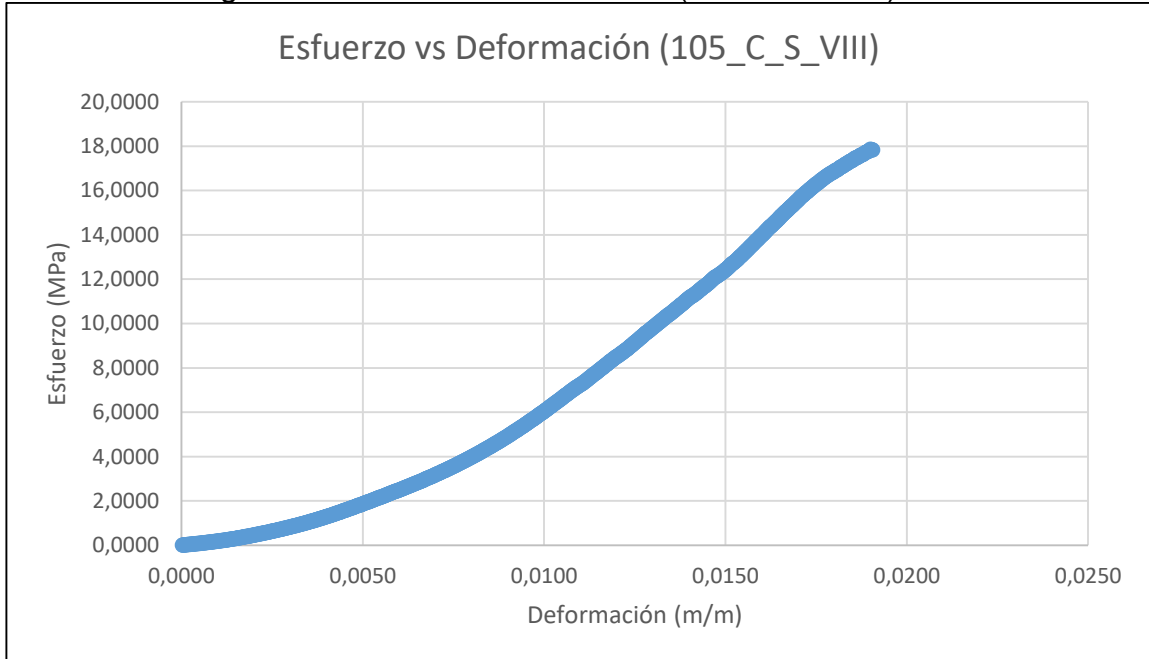
Fuente. Autor, 2019

Tabla 23. Resumen de resultados (105_C_S_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
ESFUERZO A COMP (σ_{ult}) (MPa)	17.86288391
R2	0.9524
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	721.06
MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	578.7749395

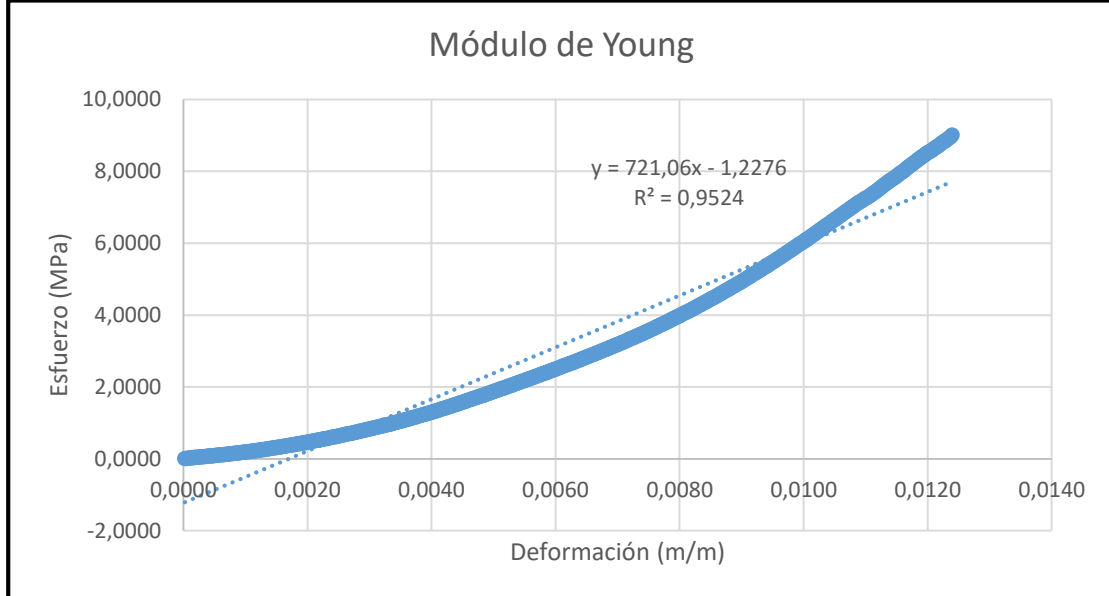
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 21. Diagrama esfuerzo vs deformación (105_C_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 22. Diagrama sección elástica para módulo de Young (105_C_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.1.2.6 Muestra 107_C_N_VIII. En la tabla 24 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 25 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión, el módulo de Young hallado gráficamente y el módulo de Young promedio hallado mediante fórmula.

Adicionalmente se presenta la gráfica esfuerzo vs deformación y la gráfica de la zona elástica para la identificación del módulo de Young gráfico.

Tabla 24. Identificación de la muestra y datos iniciales (107_C_N_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA NO EXPUESTA UV	
ID: 107_C_N_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
FECHA: 06/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	217.5853594
DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	15.005
ÁREA TRANSVERSAL (PROMEDIO) (cm ²)	176.8324161
ÁREA PROM. (m ²)	0.017683242

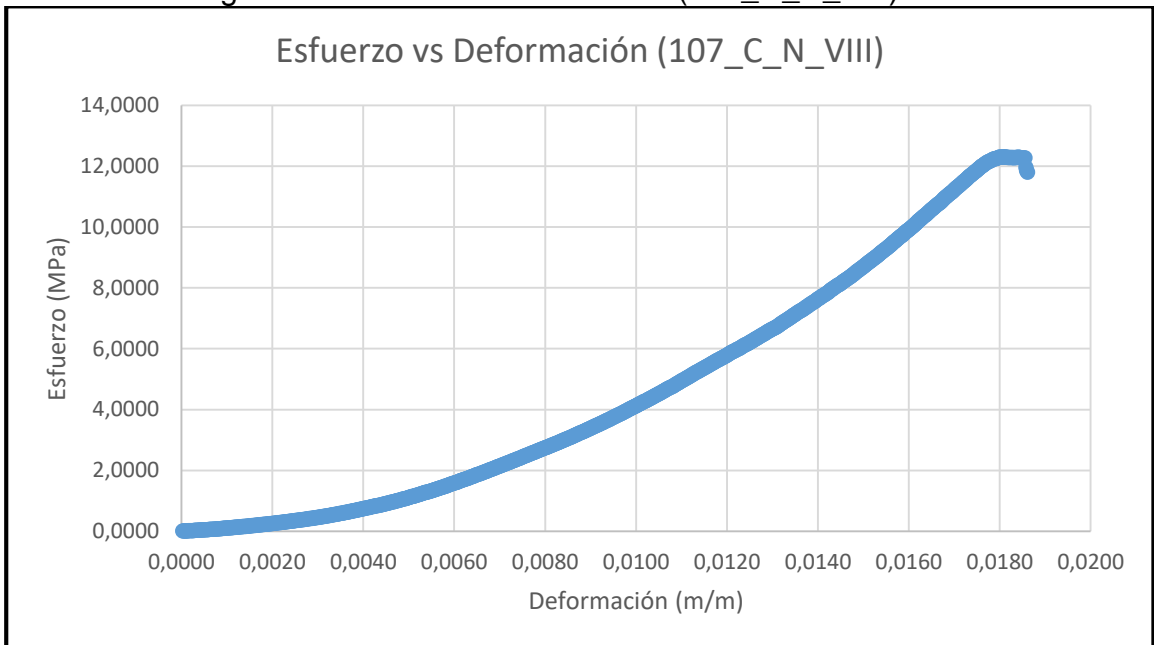
Fuente. Autor, 2019

Tabla 25. Resumen de resultados (107_C_N_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
ESFUERZO A COMP (σ_{ult}) (MPa)	12.30460818
R2	0.9476
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	495.74
MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	383.6911305

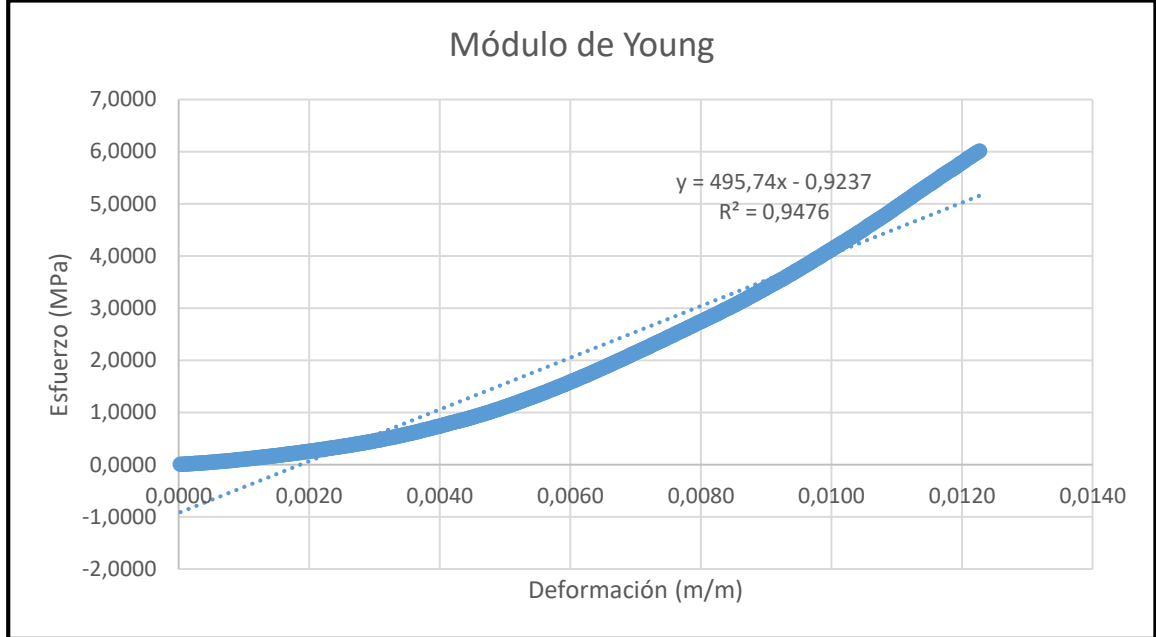
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 23. Diagrama esfuerzo vs deformación (107_C_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 24. Diagrama sección elástica para módulo de Young (107_C_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

Los resultados de este ensayo se dividieron en muestras expuestas a rayos UV y muestras no expuestas a rayos UV.

5.2.1 Muestras expuestas a rayos UV.

5.2.1.1 Muestra 067_A_S_VIII. En la tabla 26 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 27 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión perpendicular, el valor de “S” representado por la pendiente de la gráfica carga vs deformación y el módulo de elasticidad circunferencial.

Adicionalmente se presentan las gráficas carga vs deformación para la obtención del valor “S”.

Tabla 26. Identificación de la muestra y datos iniciales (067_A_S_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA EXPUESTA UV	
ID: 067_A_S_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR	
FECHA: 06/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	1,877873413
DIÁMETRO PROM. (cm)	5,195
DIÁMETRO PROM. (m)	0,05195
RADIO EXTERNO (m)	0,025975
RADIO INTERNO (m)	0,0183
ESPELOR PARED PROM. (cm)	0,7675
ESPELOR PARED PROM. (m)	0,007675
LONGITUD PROMEDIO (cm)	30,35
LONGITUD PROMEDIO (m)	0,3035
INERCIA (m ⁴)	1,14344E-08
ÁREA DE SECCIÓN (m ²)	0,002329363

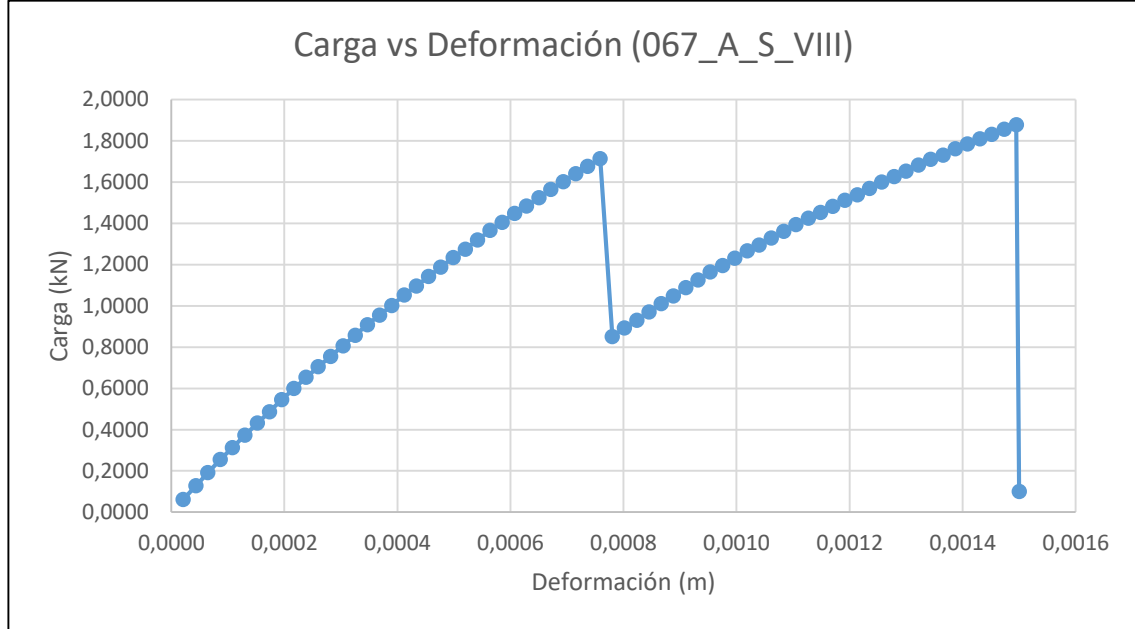
Fuente. Autor, 2019

Tabla 27. Resumen de resultados (067_A_S_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
S	2221
R2	0.9945
ESFUERZO A TRACCIÓN (σ_{ult}) (MPa)	8.185169183
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUFERENCIAL (MPa)	525.91

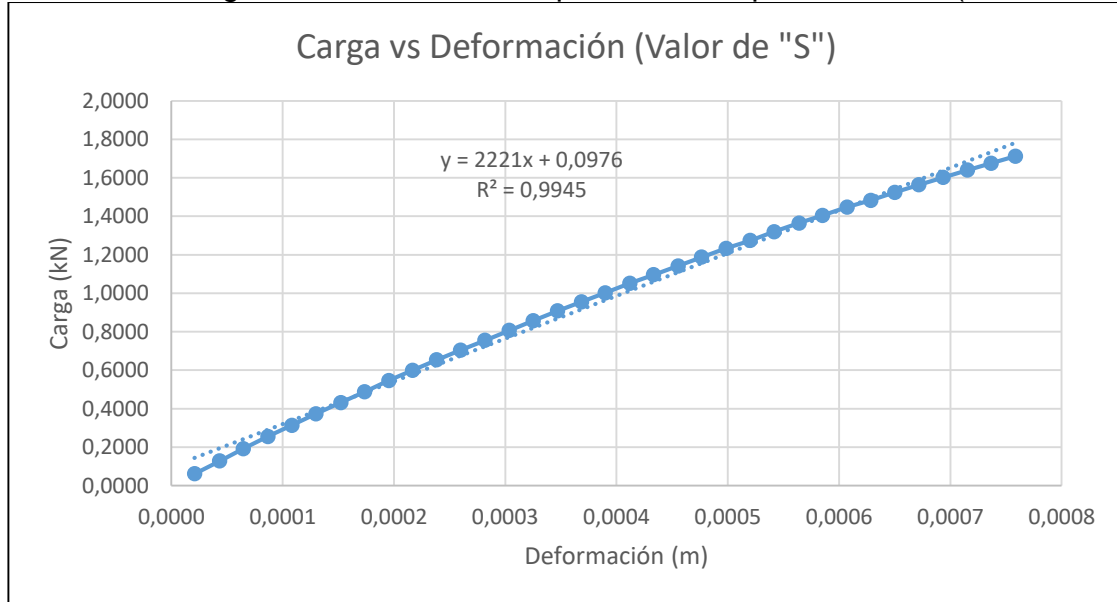
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 25. Diagrama carga vs deformación (067_A_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 26. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (067_A_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.2.1.2 Muestra 079_A_N_VIII. En la tabla 28 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 29 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión perpendicular, el valor de “S” representado por la pendiente de la gráfica carga vs deformación y el módulo de elasticidad circunferencial.

Adicionalmente se presentan las gráficas carga vs deformación para la obtención del valor “S”.

Tabla 28. Identificación de la muestra y datos iniciales (079_A_N_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA EXPUESTA UV	
ID: 079_A_N_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR	
FECHA: 06/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	3,93195752
DIÁMETRO PROM. (cm)	5,1717
DIÁMETRO PROM. (m)	0,051717
RADIO EXTERNO (m)	0,0258585
RADIO INTERNO (m)	0,019496
ESPELOR PARED PROM. (cm)	0,63625
ESPELOR PARED PROM. (m)	0,0063625
LONGITUD PROMEDIO (cm)	30,425
LONGITUD PROMEDIO (m)	0,30425
INERCIA (m ⁴)	6,53029E-09
ÁREA DE SECCIÓN (m ²)	0,001935791

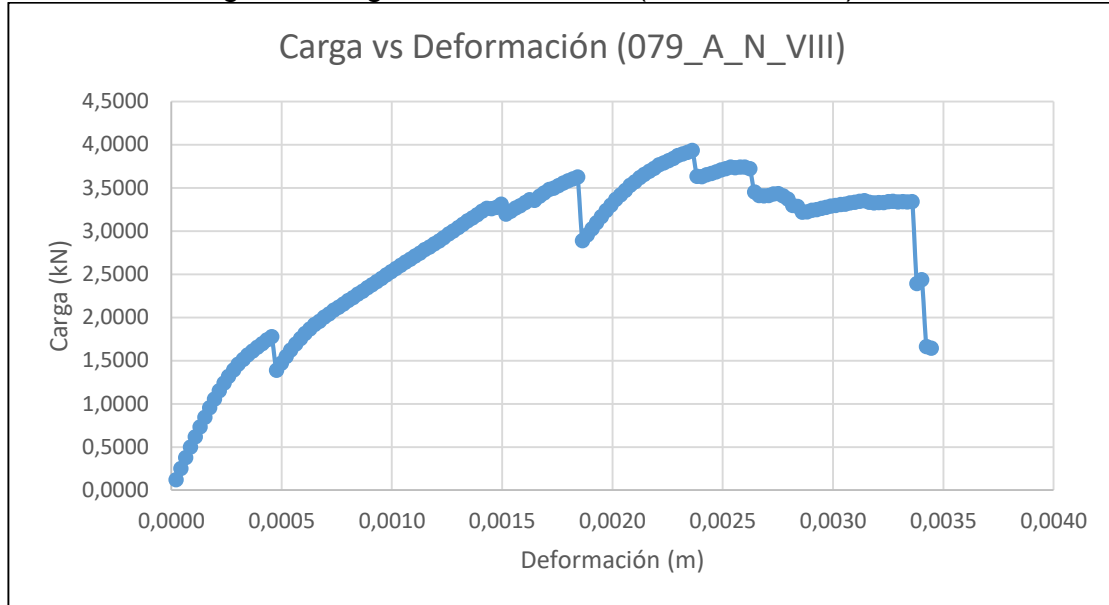
Fuente. Autor, 2019

Tabla 29. Resumen de resultados (079_A_N_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
S	3818
R2	0.9732
ESFUERZO A TRACCIÓN (σ_{ult}) (MPa)	24.76550698
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUNFERENCIAL (MPa)	1544.07

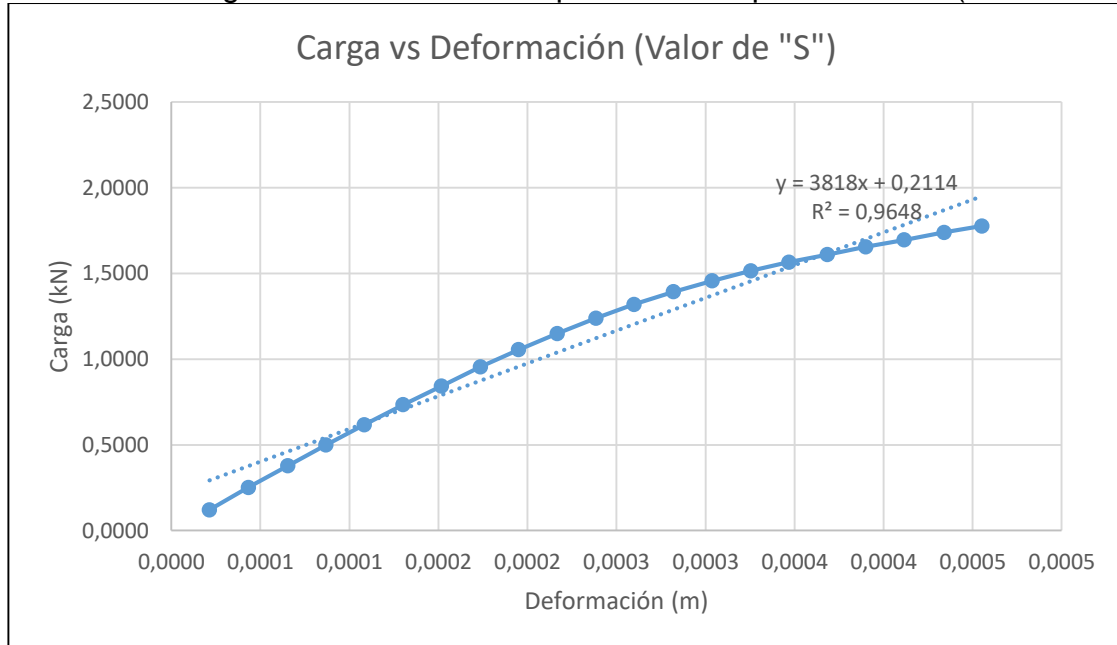
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 27. Diagrama carga vs deformación (079_A_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 28. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (079_A_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.2.1.3 Muestra 081_B_S_VIII. En la tabla 30 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 31 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión perpendicular, el valor de “S” representado por la pendiente de la gráfica carga vs deformación y el módulo de elasticidad circunferencial.

Adicionalmente se presentan las gráficas carga vs deformación para la obtención del valor “S”.

Tabla 30. Identificación de la muestra y datos iniciales (081_B_S_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA EXPUESTA UV	
ID: 081_B_S_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR	
FECHA: 06/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	2,10106
DIÁMETRO PROM. (cm)	9,9733
DIÁMETRO PROM. (m)	0,099733
RADIO EXTERNO (m)	0,0498665
RADIO INTERNO (m)	0,040329
ESPELOR PARED PROM. (cm)	0,95375
ESPELOR PARED PROM. (m)	0,0095375
LONGITUD PROMEDIO (cm)	30,15
LONGITUD PROMEDIO (m)	0,3015
INERCIA (m ⁴)	2,17977E-08
ÁREA DE SECCIÓN (m ²)	0,0028756

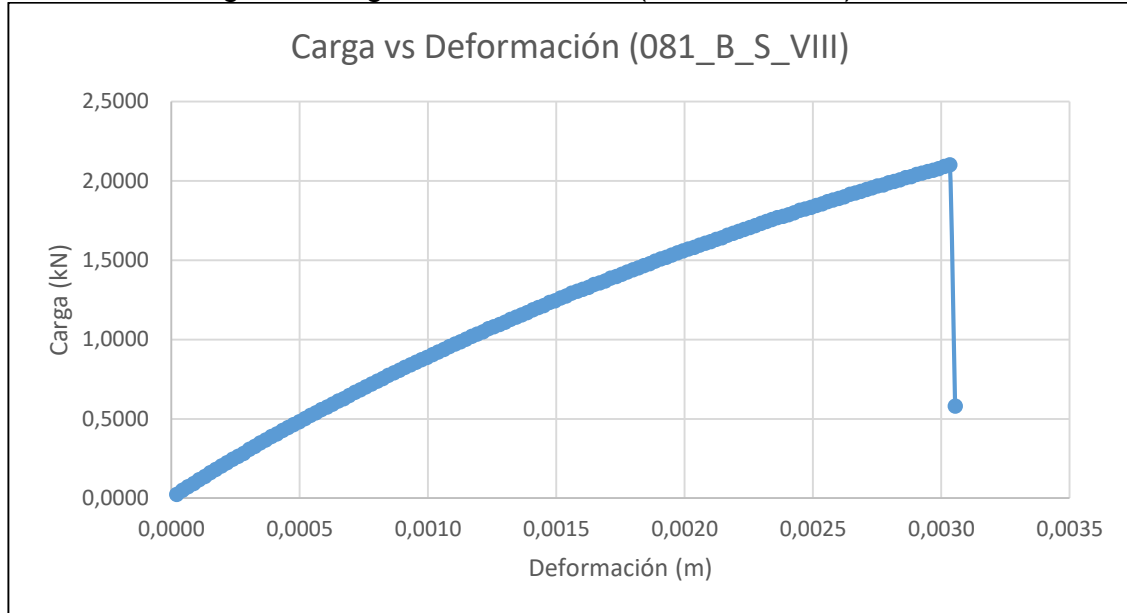
Fuente. Autor, 2019

Tabla 31. Resumen de resultados (081_B_S_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
S	679.99
R2	0.9895
ESFUERZO A TRACCIÓN (σ_{ult}) (MPa)	11.4607273
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUNFERENCIAL (MPa)	584.78

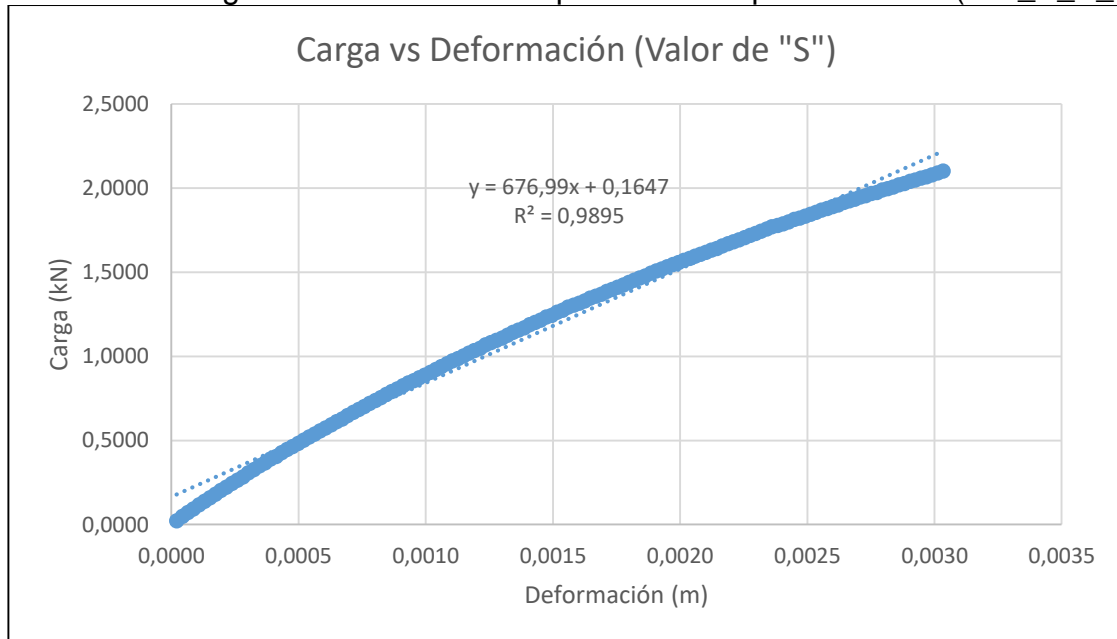
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 29. Diagrama carga vs deformación (081_B_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 30. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (081_B_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.2.1.4 Muestra 100_B_N_VIII. En la tabla 32 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 33 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión perpendicular, el valor de “S” representado por la pendiente de la gráfica carga vs deformación y el módulo de elasticidad circunferencial.

Adicionalmente se presentan las gráficas carga vs deformación para la obtención del valor “S”.

Tabla 32. Identificación de la muestra y datos iniciales (100_B_N_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA EXPUESTA UV	
ID: 100_B_N_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR	
FECHA: 06/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	4,16521
DIÁMETRO PROM. (cm)	9,25167
DIÁMETRO PROM. (m)	0,0925167
RADIO EXTERNO (m)	0,04625835
RADIO INTERNO (m)	0,03772085
ESPELOR PARED PROM. (cm)	0,85375
ESPELOR PARED PROM. (m)	0,0085375
LONGITUD PROMEDIO (cm)	29,925
LONGITUD PROMEDIO (m)	0,29925
INERCIA (m ⁴)	1,55183E-08
ÁREA DE SECCIÓN (m ²)	0,0025548

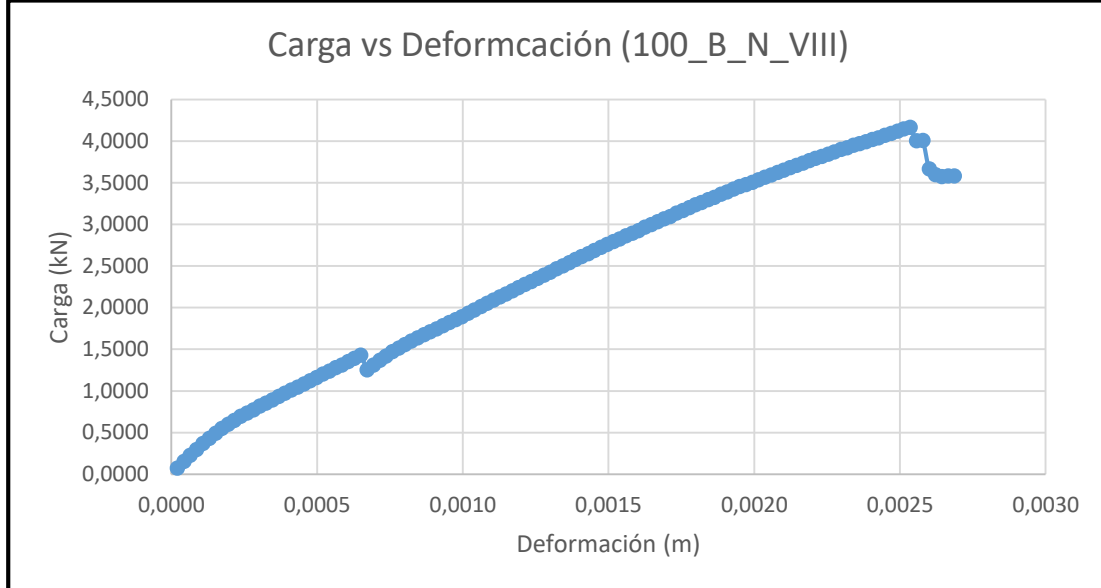
Fuente. Autor, 2019

Tabla 33. Resumen de resultados (100_B_N_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
S	2049
R ²	0.9865
ESFUERZO A TRACCIÓN (σ_{ult}) (MPa)	26.5004
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUNFERENCIAL (MPa)	1973.63

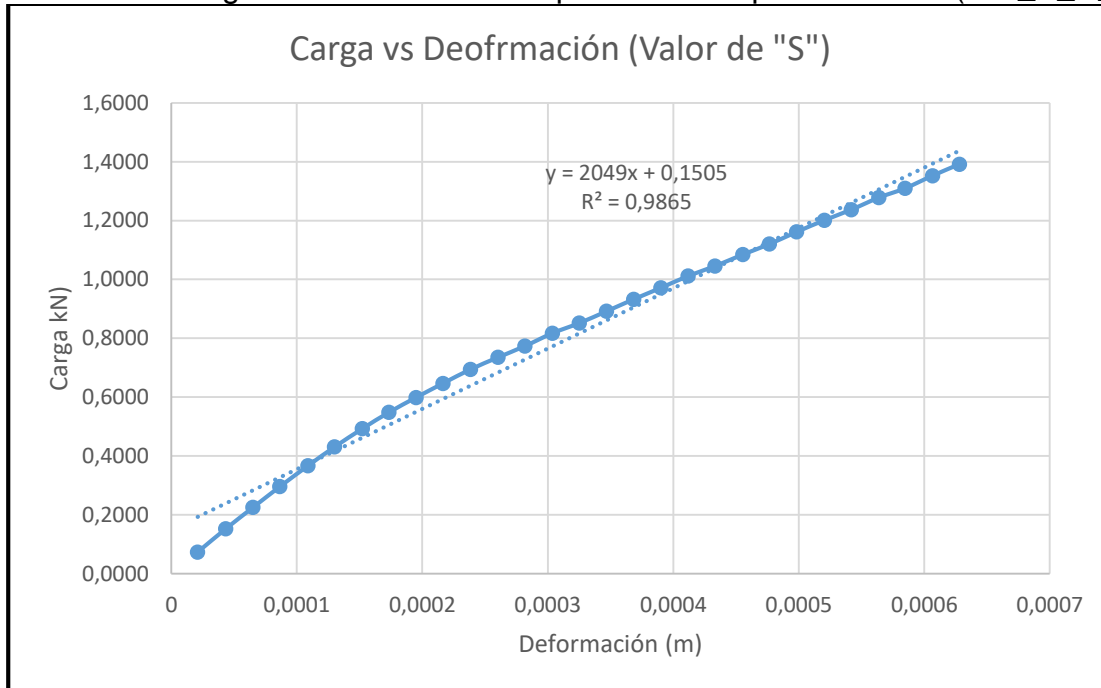
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 31. Diagrama carga vs deformación (100_B_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 32. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (100_B_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.2.1.5 Muestra 102_C_S_VIII. En la tabla 34 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 35 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión perpendicular, el valor de “S” representado por la pendiente de la gráfica carga vs deformación y el módulo de elasticidad circunferencial.

Adicionalmente se presentan las gráficas carga vs deformación para la obtención del valor “S”.

Tabla 34. Identificación de la muestra y datos iniciales (102_C_S_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA EXPUESTA UV	
ID: 102_C_S_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR	
FECHA: 06/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	2,36206
DIÁMETRO PROM. (cm)	15,25
DIÁMETRO PROM. (m)	0,1525
RADIO EXTERNO (m)	0,07625
RADIO INTERNO (m)	0,0591375
ESPELOR PARED PROM. (cm)	1,71125
ESPELOR PARED PROM. (m)	0,0171125
LONGITUD PROMEDIO (cm)	30,025
LONGITUD PROMEDIO (m)	0,30025
INERCIA (m ⁴)	1,25E-07
ÁREA DE SECCIÓN (m ²)	0,0051380

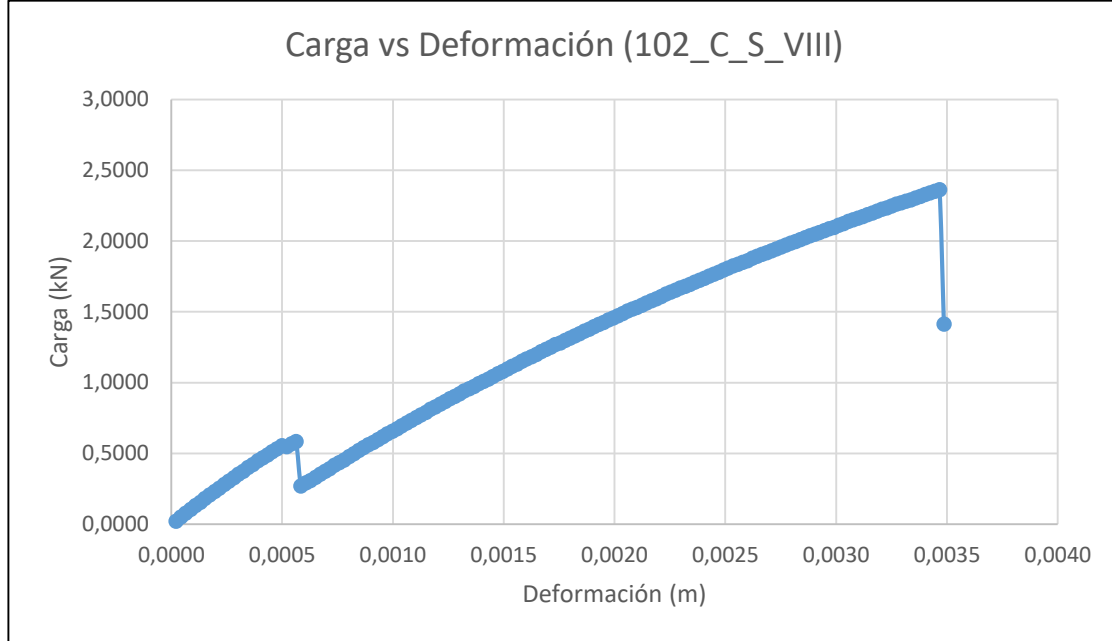
Fuente. Autor, 2019

Tabla 35. Resumen de resultados (102_C_S_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
S	1062.9
R2	0.9941
ESFUERZO A TRACCIÓN (σ_{ult}) (MPa)	6.1453
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUNFERENCIAL (MPa)	571.51

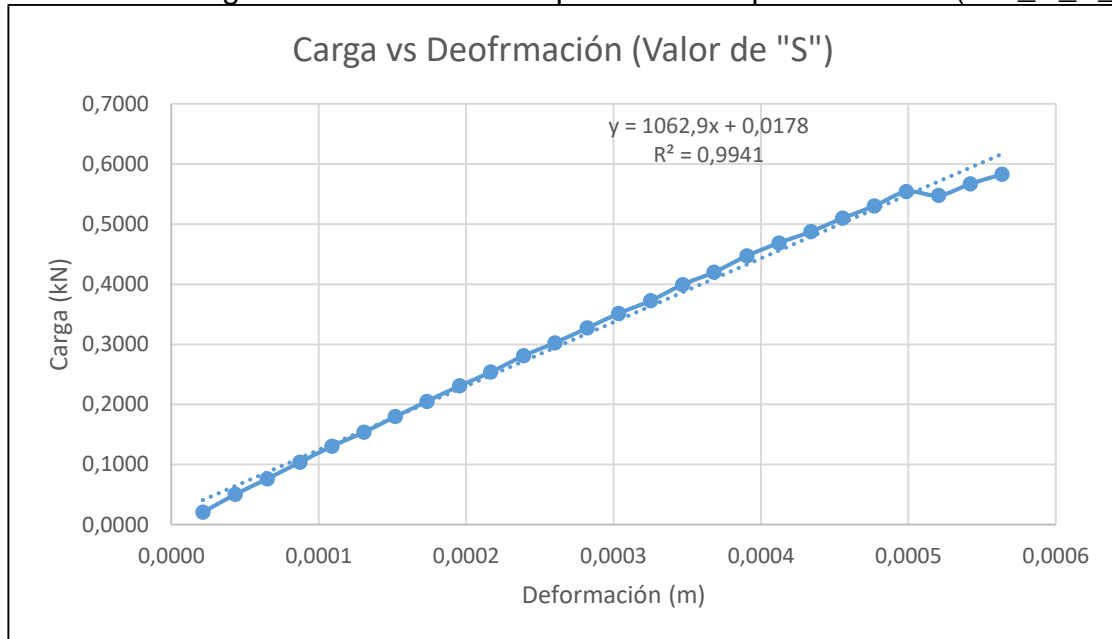
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 33. Diagrama carga vs deformación (102_C_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 34. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (102_C_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.2.1.6 Muestra 103_C_N_VIII. En la tabla 36 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 37 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión perpendicular, el valor de “S” representado por la pendiente de la gráfica carga vs deformación y el módulo de elasticidad circunferencial.

Adicionalmente se presentan las gráficas carga vs deformación para la obtención del valor “S”.

Tabla 36. Identificación de la muestra y datos iniciales (103_C_N_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA EXPUESTA UV	
ID: 103_C_N_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR	
FECHA: 06/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	5,87982
DIÁMETRO PROM. (cm)	15,67667
DIÁMETRO PROM. (m)	0,1567667
RADIO EXTERNO (m)	0,07838335
RADIO INTERNO (m)	0,06038335
ESPELOR PARED PROM. (cm)	1,8
ESPELOR PARED PROM. (m)	0,018
LONGITUD PROMEDIO (cm)	30,2
LONGITUD PROMEDIO (m)	0,302
INERCIA (m ⁴)	1,47E-07
ÁREA DE SECCIÓN (m ²)	0,0054360

Fuente. Autor, 2019

Tabla 37. Resumen de resultados (103_C_N_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
S	1583
R ²	0.9972
ESFUERZO A TRACCIÓN (σ_{ult}) (MPa)	14.1305
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUNFERENCIAL (MPa)	790.70

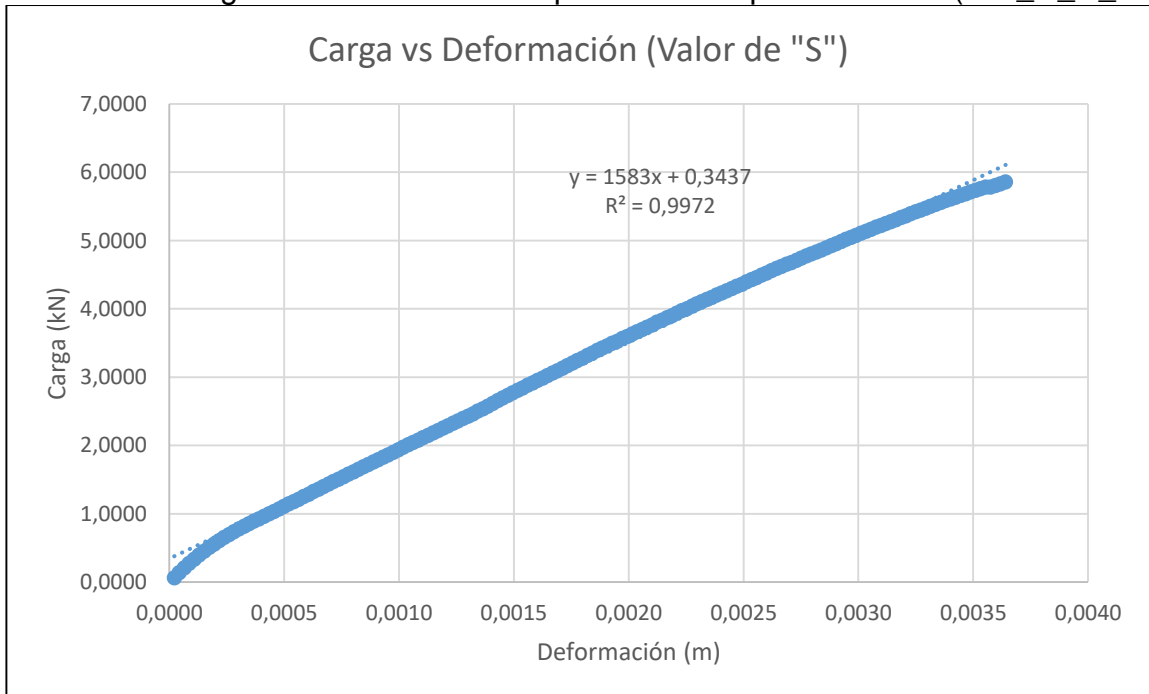
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 35. Diagrama carga vs deformación (103_C_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 36. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (103_C_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.2.2 Muestras no expuestas a rayos UV.

5.2.2.1 Muestra 069_A_S_VIII. En la tabla 38 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 39 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión perpendicular, el valor de “S” representado por la pendiente de la gráfica carga vs deformación y el módulo de elasticidad circunferencial.

Adicionalmente se presentan las gráficas carga vs deformación para la obtención del valor “S”.

Tabla 38. Identificación de la muestra y datos iniciales (069_A_S_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA NO EXPUESTA UV	
ID: 069_A_S_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR	
FECHA: 06/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	0,2474
DIÁMETRO PROM. (cm)	5,15166
DIÁMETRO PROM. (m)	0,0515166
RADIO EXTERNO (m)	0,0257583
RADIO INTERNO (m)	0,0187458
ESPELOR PARED PROM. (cm)	0,70125
ESPELOR PARED PROM. (m)	0,0070125
LONGITUD PROMEDIO (cm)	30,55
LONGITUD PROMEDIO (m)	0,3055
INERCIA (m ⁴)	8,78E-09
ÁREA DE SECCIÓN (m ²)	0,0021423

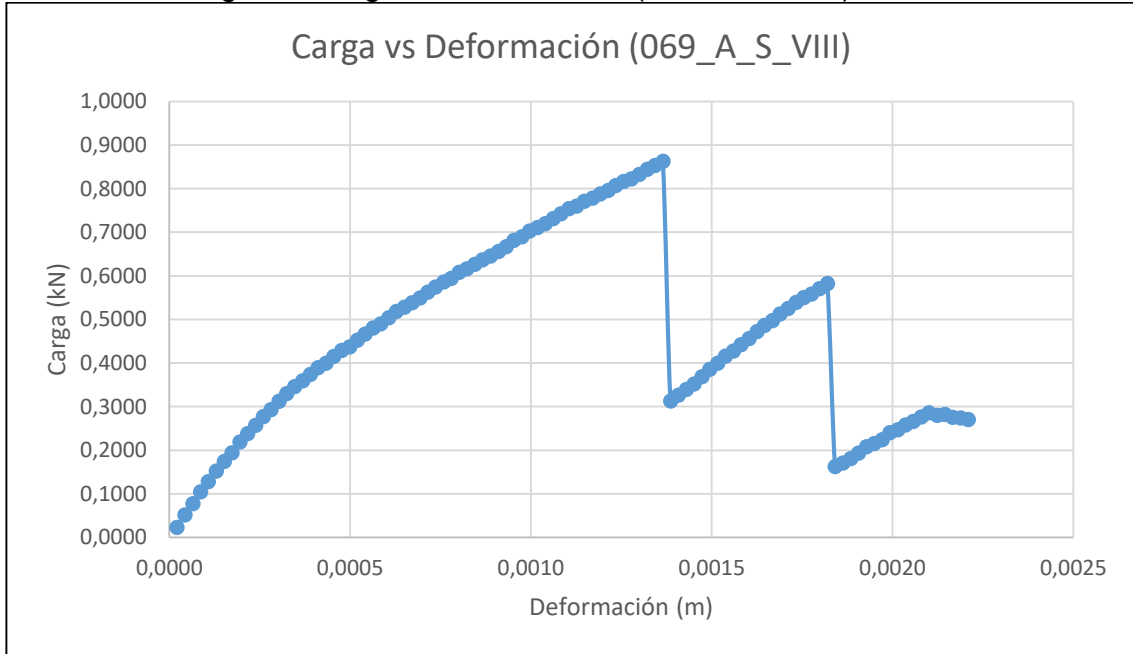
Fuente. Autor, 2019

Tabla 39. Resumen de resultados (069_A_S_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
S	626.15
R2	0.9789
ESFUERZO A TRACCIÓN (σ_{ult}) (MPa)	1.2726
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUNFERENCIAL (MPa)	187.26

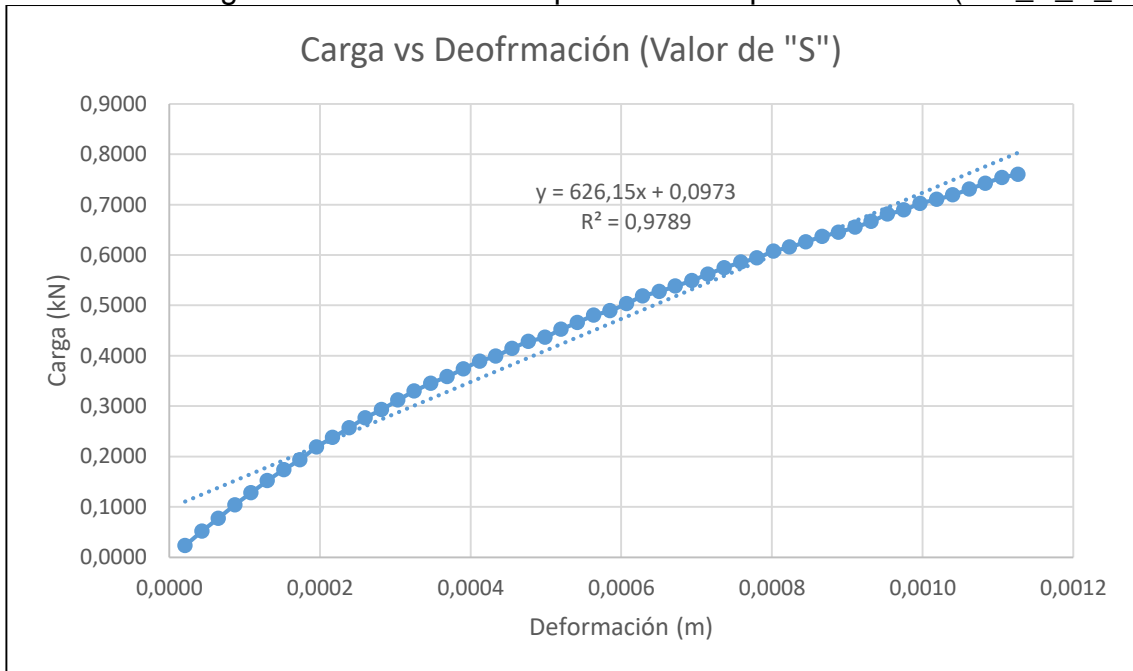
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 37. Diagrama carga vs deformación (069_A_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 38. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (069_A_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.2.2.2 Muestra 080_A_N_VIII. En la tabla 40 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 41 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión perpendicular, el valor de “S” representado por la pendiente de la gráfica carga vs deformación y el módulo de elasticidad circunferencial.

Adicionalmente se presentan las gráficas carga vs deformación para la obtención del valor “S”.

Tabla 40. Identificación de la muestra y datos iniciales (080_A_N_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA NO EXPUESTA UV	
ID: 080_A_N_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR	
FECHA: 06/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	3,535756
DIÁMETRO PROM. (cm)	6,455
DIÁMETRO PROM. (m)	0,06455
RADIO EXTERNO (m)	0,032275
RADIO INTERNO (m)	0,02615
ESPELOR PARED PROM. (cm)	0,6125
ESPELOR PARED PROM. (m)	0,006125
LONGITUD PROMEDIO (cm)	30,425
LONGITUD PROMEDIO (m)	0,30425
INERCIA (m ⁴)	5,83E-09
ÁREA DE SECCIÓN (m ²)	0,0018635

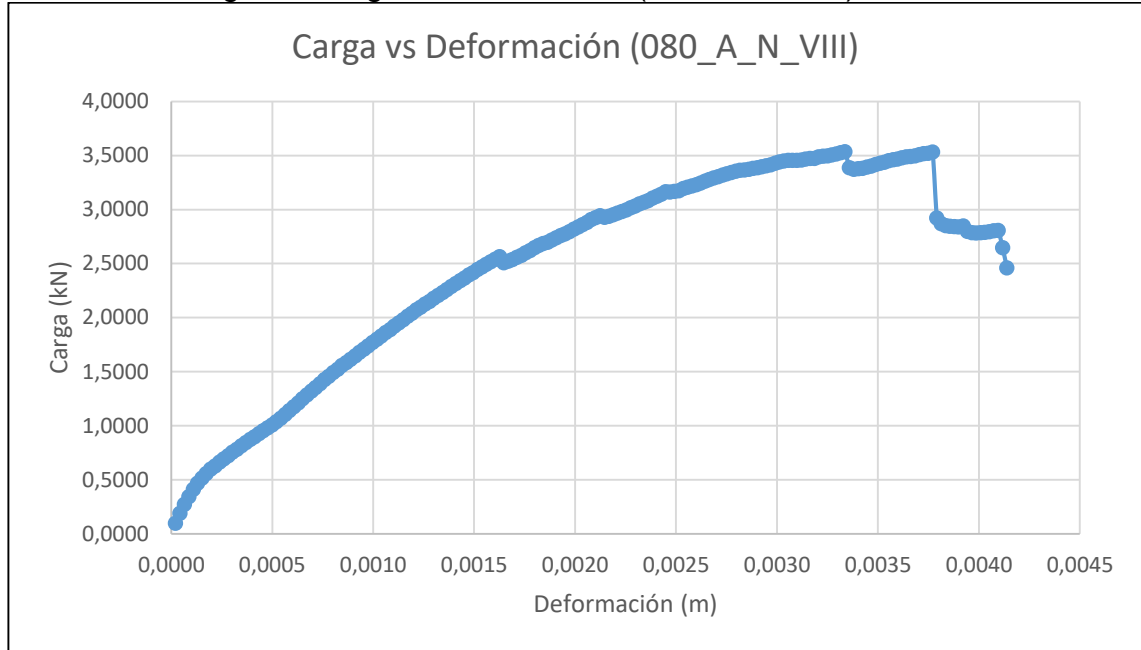
Fuente. Autor, 2019

Tabla 41. Resumen de resultados (080_A_N_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
S	1444.9
R2	0.9948
ESFUERZO A TRACCIÓN (σ_{ult}) (MPa)	29.9935
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUNFERENCIAL (MPa)	1260.19

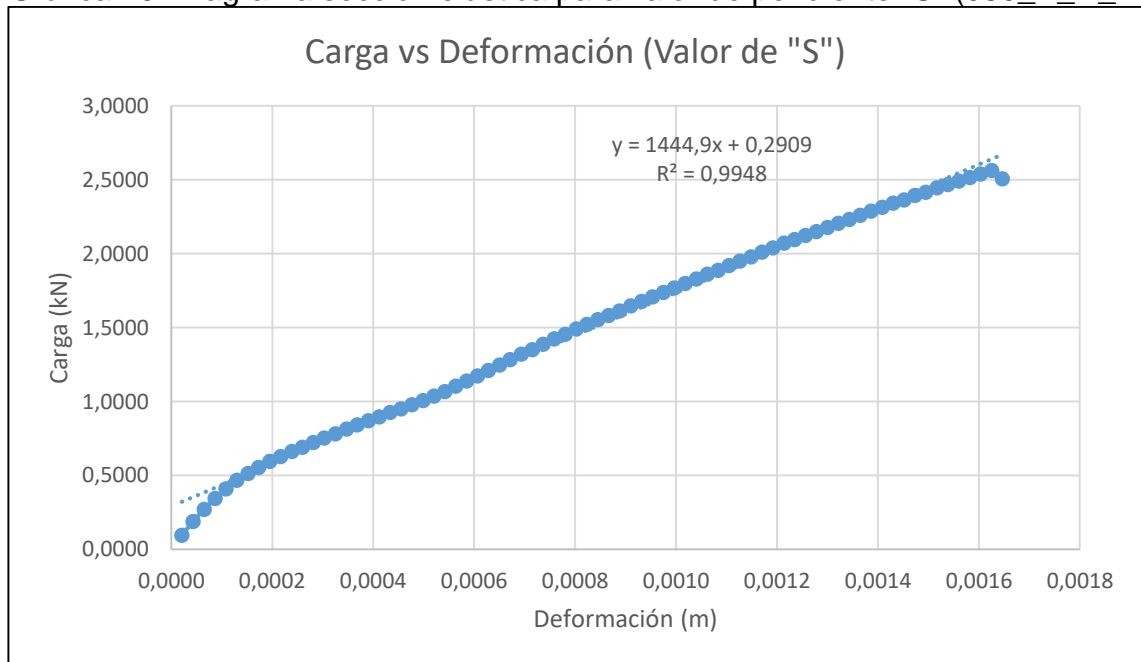
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 39. Diagrama carga vs deformación (080_A_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 40. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (080_A_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.2.2.3 Muestra 088_B_S_VIII. En la tabla 42 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 43 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión perpendicular, el valor de “S” representado por la pendiente de la gráfica carga vs deformación y el módulo de elasticidad circunferencial.

Adicionalmente se presentan las gráficas carga vs deformación para la obtención del valor “S”.

Tabla 42. Identificación de la muestra y datos iniciales (088_B_S_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA NO EXPUESTA UV	
ID: 088_B_S_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR	
FECHA: 06/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	1,938944
DIÁMETRO PROM. (cm)	10,17333
DIÁMETRO PROM. (m)	0,1017333
RADIO EXTERNO (m)	0,05086665
RADIO INTERNO (m)	0,03932915
ESPELOR PARED PROM. (cm)	1,15375
ESPELOR PARED PROM. (m)	0,0115375
LONGITUD PROMEDIO (cm)	30,4
LONGITUD PROMEDIO (m)	0,304
INERCIA (m ⁴)	3,89E-08
ÁREA DE SECCIÓN (m ²)	0,0035074

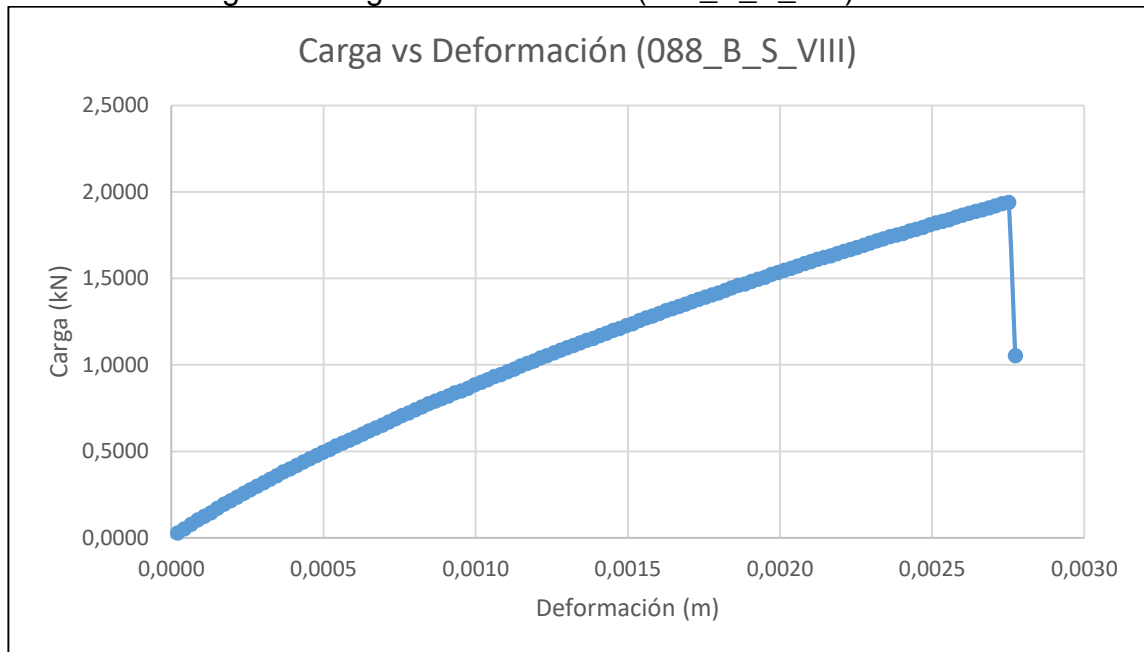
Fuente. Autor, 2019

Tabla 43. Resumen de datos (088_B_S_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
S	684.78
R2	0.9914
ESFUERZO A TRACCIÓN (σ_{ult}) (MPa)	7.3118
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUNFERENCIAL (MPa)	352.44

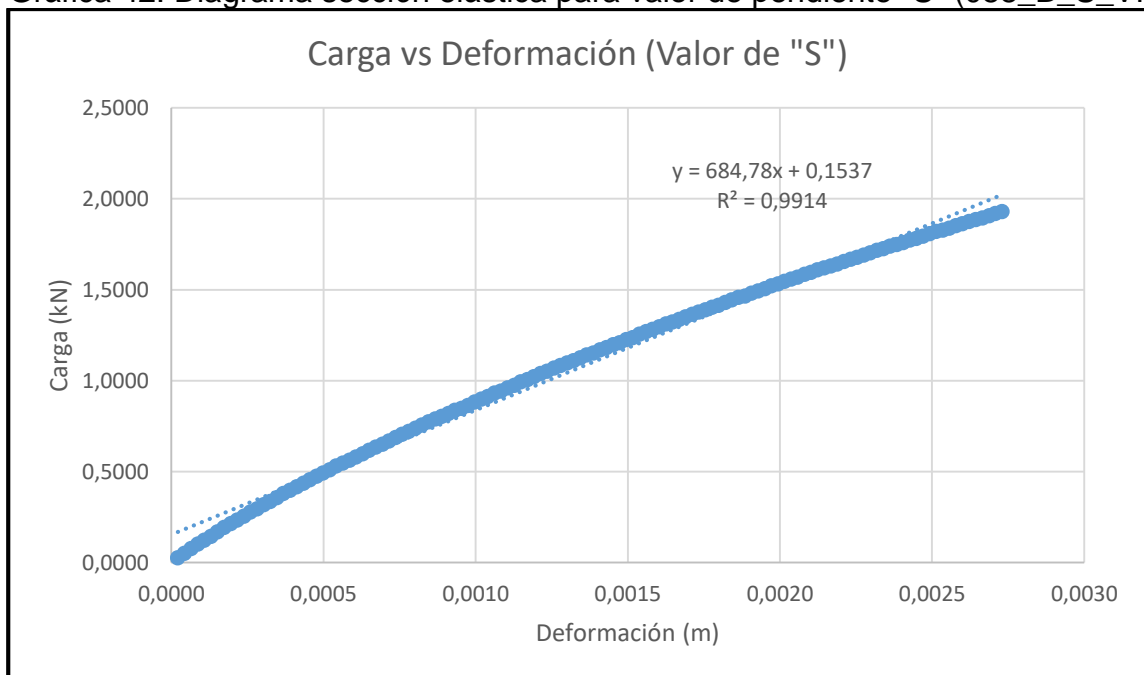
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 41. Diagrama carga vs deformación (088_B_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 42. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (088_B_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.2.2.4 Muestra 098_B_N_VIII. En la tabla 44 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 45 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión perpendicular, el valor de “S” representado por la pendiente de la gráfica carga vs deformación y el módulo de elasticidad circunferencial.

Adicionalmente se presentan las gráficas carga vs deformación para la obtención del valor “S”.

Tabla 44. Identificación de la muestra y datos iniciales (098_B_N_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA NO EXPUESTA UV	
ID: 098_B_N_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR	
FECHA: 06/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	3,46656
DIÁMETRO PROM. (cm)	10,21166
DIÁMETRO PROM. (m)	0,1021166
RADIO EXTERNO (m)	0,0510583
RADIO INTERNO (m)	0,0414458
ESPELOR PARED PROM. (cm)	0,96125
ESPELOR PARED PROM. (m)	0,0096125
LONGITUD PROMEDIO (cm)	30,625
LONGITUD PROMEDIO (m)	0,30625
INERCIA (m ⁴)	2,27E-08
ÁREA DE SECCIÓN (m ²)	0,0029438

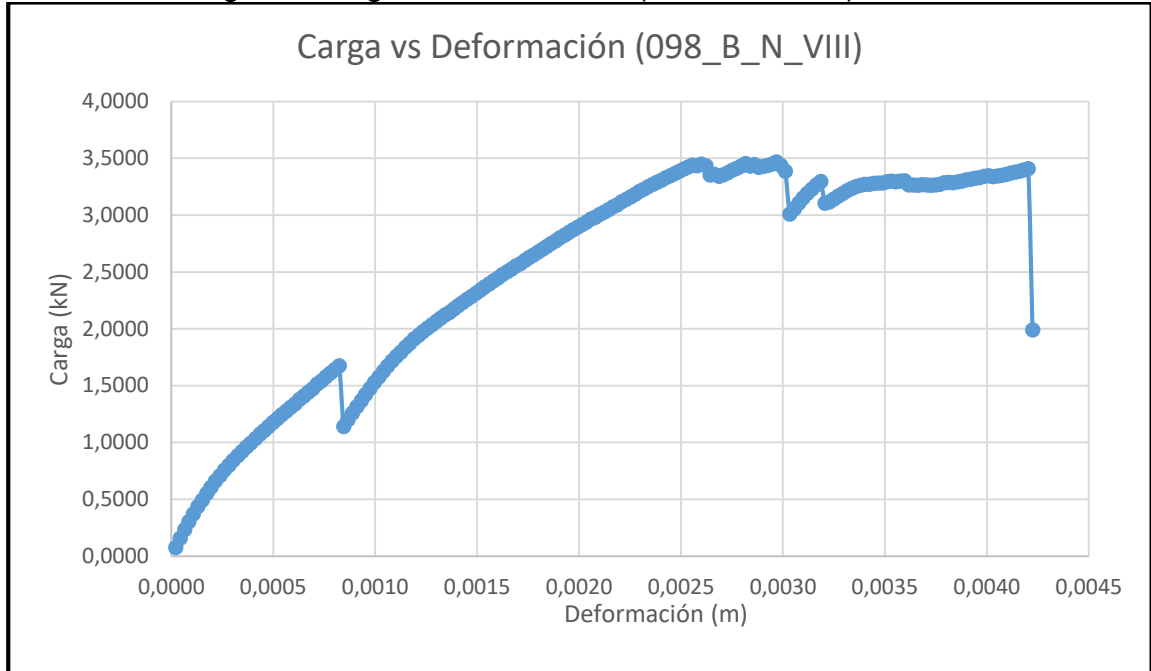
Fuente. Autor, 2019

Tabla 45. Resumen de resultados (098_B_N_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
S	1868.4
R2	0.983
ESFUERZO A TRACCIÓN (σ_{ult}) (MPa)	18.7645
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUNFERENCIAL (MPa)	1657.77

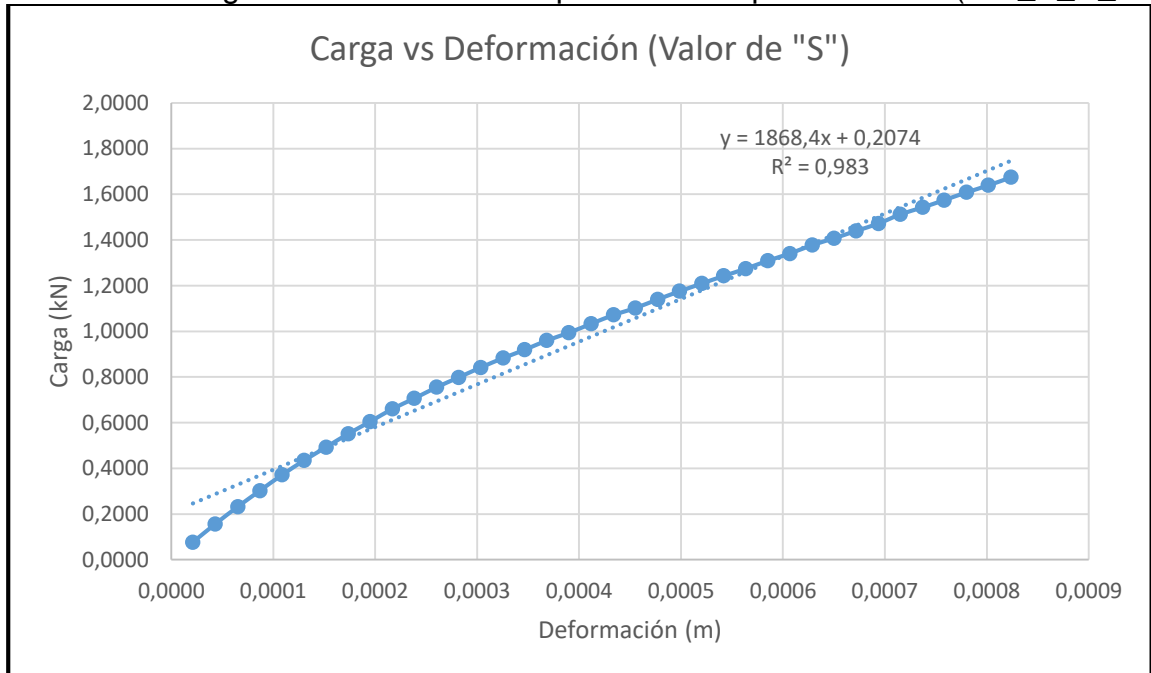
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 43. Diagrama carga vs deformación (098_B_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 44. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (098_B_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.2.2.5 Muestra 106_C_S_VIII. En la tabla 46 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 47 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión perpendicular, el valor de “S” representado por la pendiente de la gráfica carga vs deformación y el módulo de elasticidad circunferencial.

Adicionalmente se presentan las gráficas carga vs deformación para la obtención del valor “S”.

Tabla 46. Identificación de la muestra y datos iniciales (106_C_S_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA NO EXPUESTA UV	
ID: 106_C_S_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR	
FECHA: 06/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	2,13111
DIÁMETRO PROM. (cm)	15,05
DIÁMETRO PROM. (m)	0,1505
RADIO EXTERNO (m)	0,07525
RADIO INTERNO (m)	0,0577375
ESPELOR PARED PROM. (cm)	1,75125
ESPELOR PARED PROM. (m)	0,0175125
LONGITUD PROMEDIO (cm)	30,225
LONGITUD PROMEDIO (m)	0,30225
INERCIA (m ⁴)	1,35E-07
ÁREA DE SECCIÓN (m ²)	0,0052932

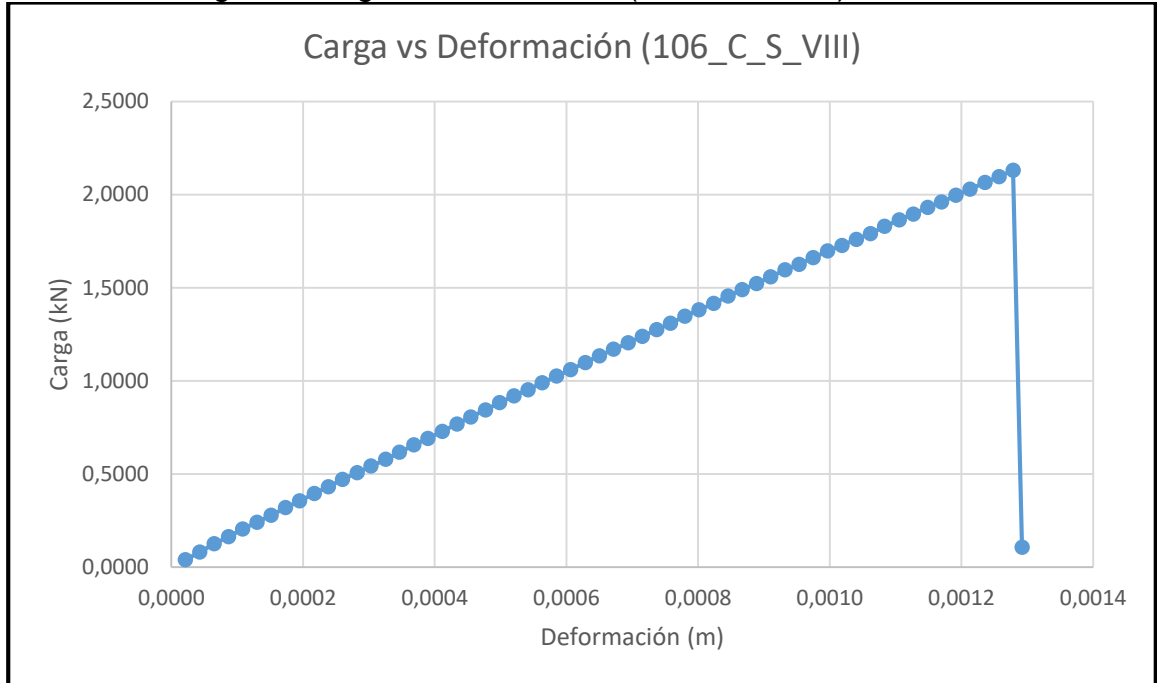
Fuente. Autor, 2019

Tabla 47. Resumen de resultados (106_C_S_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
S	1662.5
R2	0.9995
ESFUERZO A TRACCIÓN (σ_{ult}) (MPa)	5.1900
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUNFERENCIAL (MPa)	797.66

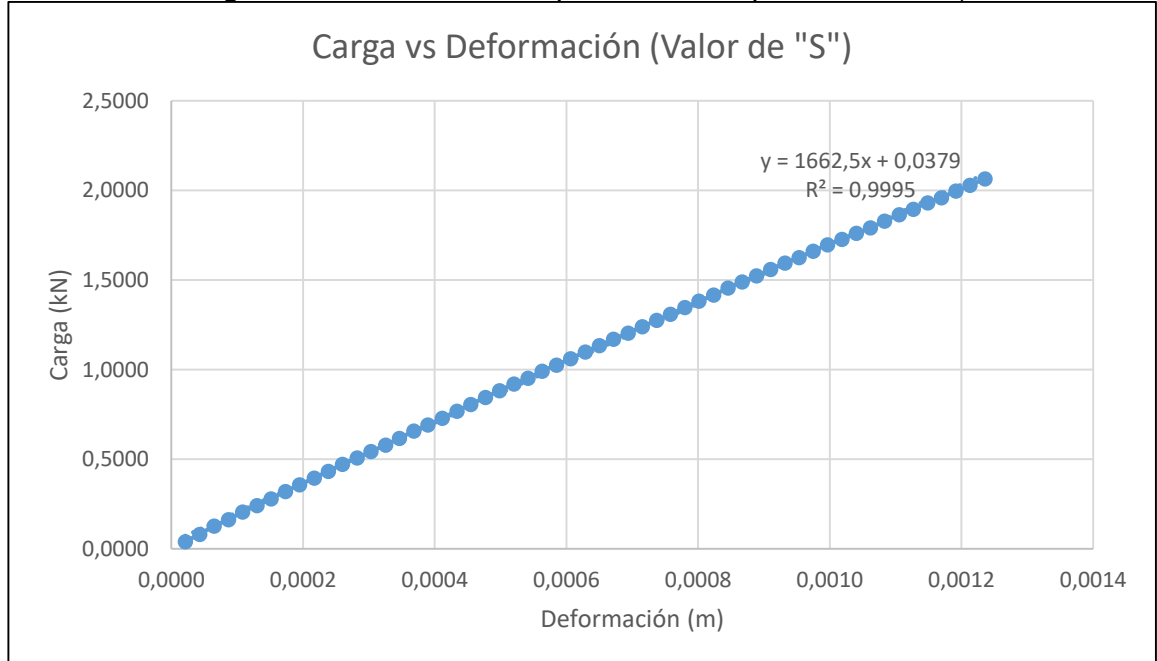
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 45. Diagrama carga vs deformación (106_C_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 46. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (106_C_S_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.2.2.6 Muestra 108_C_N_VIII. En la tabla 48 se presenta la identificación de la muestra, las dimensiones de la probeta utilizadas para los cálculos y la carga máxima que soportó en el ensayo.

La tabla 49 presenta el resumen de los resultados, incluye el esfuerzo último a compresión perpendicular, el valor de “S” representado por la pendiente de la gráfica carga vs deformación y el módulo de elasticidad circunferencial.

Adicionalmente se presentan las gráficas carga vs deformación para la obtención del valor “S”.

Tabla 48. Identificación de la muestra y datos iniciales (108_C_N_VIII)

TIPO DE MUESTRA: GUADUA NO EXPUESTA UV	
ID: 108_C_N_VIII	
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR	
FECHA: 06/08/2019	
CARGA MÁXIMA (kN)	11,58168
DIÁMETRO PROM. (cm)	15,51666
DIÁMETRO PROM. (m)	0,1551666
RADIO EXTERNO (m)	0,0775833
RADIO INTERNO (m)	0,0577458
ESPELOR PARED PROM. (cm)	1,98375
ESPELOR PARED PROM. (m)	0,0198375
LONGITUD PROMEDIO (cm)	30
LONGITUD PROMEDIO (m)	0,3
INERCIA (m ⁴)	1,95E-07
ÁREA DE SECCIÓN (m ²)	0,0059513

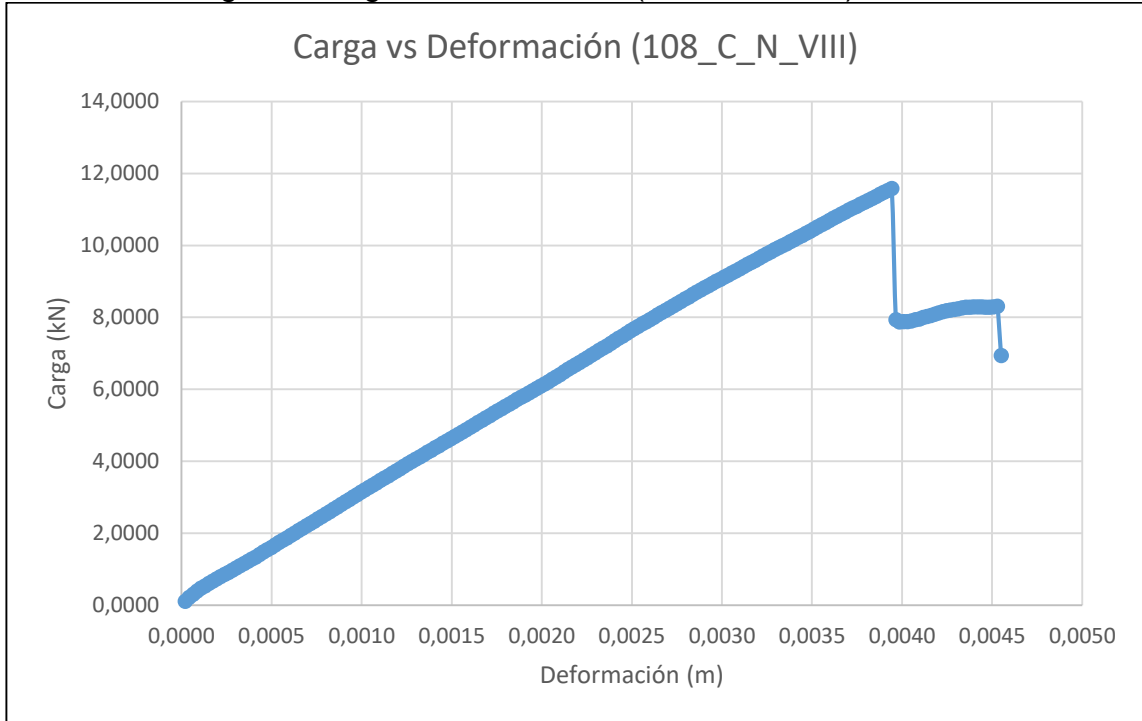
Fuente. Autor, 2019

Tabla 49. Resumen de resultados (108_C_N_VIII)

RESUMEN DE RESULTADOS	
S	2945.9
R2	0.9996
ESFUERZO A TRACCIÓN (σ_{ult}) (MPa)	22.8332
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUNFERENCIAL (MPa)	1078.89

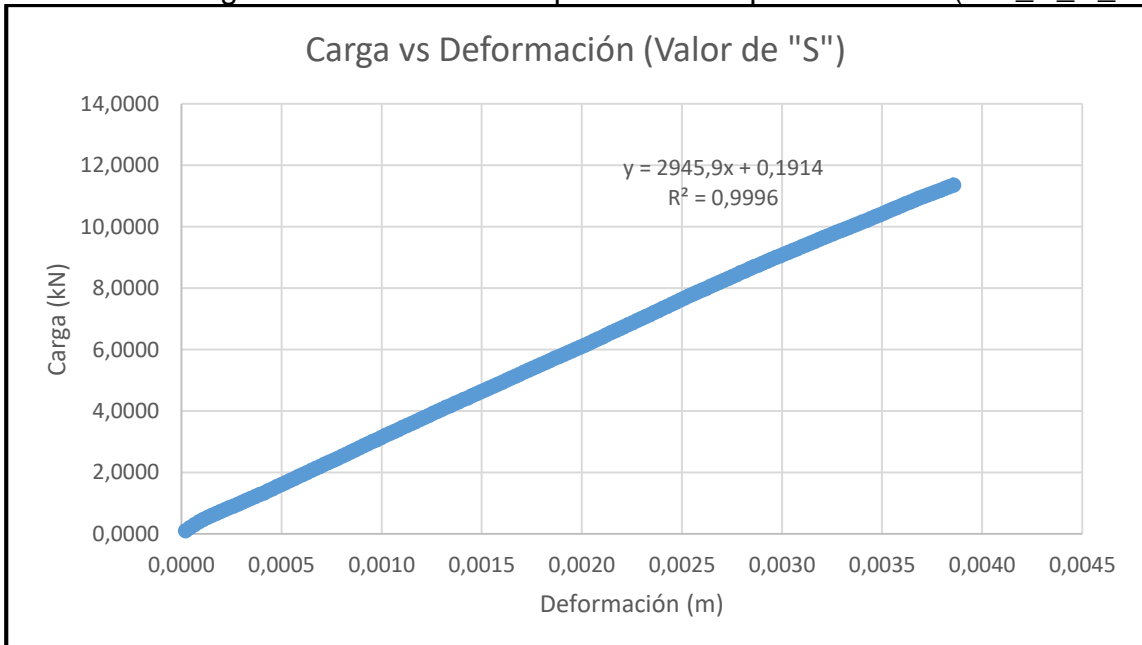
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 47. Diagrama carga vs deformación (108_C_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 48. Diagrama sección elástica para valor de pendiente "S" (108_C_N_VIII)



Fuente. Autor, 2019

5.3 CONTENIDO DE HUMEDAD

A continuación, se presentan los resultados del cálculo del contenido de humedad de las muestras.

En la tabla 50 se observan los resultados correspondientes a las muestras que fueron expuestas a los rayos UV.

La tabla 51 contiene los resultados de las muestras que no fueron expuestas a los rayos UV.

El cálculo se realizó de acuerdo a lo expresado en la metodología.

$$CH\% = \frac{m - m_o}{m_o} * 100$$

Donde:

CH%: Contenido de humedad del material (%).

m: Masa de la muestra previa al secado en horno.

m_o: Masa de la muestra después de secarse en el horno.

5.3.1 Contenido de humedad de las muestras expuestas a rayos ultravioleta.

Tabla 50. Resultado contenido de humedad de muestras expuestas a rayos UV

CONTENIDO DE HUMEDAD - MUESTRAS EXPUESTAS A RAYOS UV			
ID	<i>m</i> (g)	<i>m_o</i> (g)	<i>CH</i> %
061_A_S_VIII	224.2	221.9	1.037
067_A_S_VIII	220.6	217.8	1.286
072_A_N_VIII	225.8	223.7	0.939
079_A_N_VIII	228.2	225.3	1.287
081_B_S_VIII	481.0	478.5	0.522
086_B_S_VIII	476.3	465.8	2.254
092_B_N_VIII	498.5	492.4	1.239
100_B_N_VIII	479.5	476.7	0.587
101_C_S_VIII	1701.3	1694.6	0.395
102_C_S_VIII	1710.4	1702.2	0.482
103_C_N_VIII	1686.9	1675.3	0.692
104_C_N_VIII	1690.1	1678.4	0.697

Fuente. Autor, 2019

5.3.2 Contenido de humedad de las muestras no expuesta a rayos ultravioleta.

Tabla 51. Resultado contenido de humedad de muestras no expuestas a rayos UV

CONTENIDO DE HUMEDAD - MUESTRAS NO EXPUESTAS A RAYOS UV			
<i>ID</i>	<i>m (g)</i>	<i>m_o (g)</i>	<i>CH %</i>
069_A_S_VIII	224.7	218.4	2.885
070_A_S_VIII	229.6	223.5	2.729
075_A_N_VIII	231.7	225.9	2.568
080_A_N_VIII	237.8	234.2	1.537
085_B_S_VIII	492.4	487.9	0.922
088_B_S_VIII	487.0	480.2	1.416
095_B_N_VIII	479.5	468.9	2.261
098_B_N_VIII	491.3	483.7	1.571
105_C_S_VIII	1690.9	1680.1	0.643
106_C_S_VIII	1678.4	1664.2	0.853
107_C_N_VIII	1693.1	1678.4	0.876
108_C_N_VIII	1648.5	1634.5	0.857

Fuente. Autor, 2019

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de los resultados, se emplean técnicas estadísticas de tendencia central y dispersión, esto con el fin de obtener una mejor comprensión de los mismos. Adicionalmente se comparan los datos obtenidos sobre las propiedades mecánicas evaluadas de las muestras expuestas y no expuestas a rayos ultravioleta.

Primero, se consideran todas las muestras en general, segundo, se agrupan según si fueron expuestas o no a rayos ultravioleta, y tercero, se agrupan según su diámetro, esto con el fin de determinar la influencia de estas características en los resultados obtenidos.

6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

El análisis de los ensayos de compresión paralela a la fibra se realizó para 12 muestras de guadua, estas presentan tres tipos de diámetros diferentes (5, 10 y 15 cm aproximadamente), a su vez se dividen entre las que fueron expuestas a la radiación ultravioleta y las que no. Cada muestra cuenta con sus correspondientes valores de contenido de humedad, módulo de elasticidad y resistencia a la compresión.

En la tabla 52 se evidencia a manera general, los ensayos realizados sobre el total de las muestras dispuestas para la determinación de la resistencia a la compresión paralela a la fibra. Se puede observar que, del total de las muestras, la mitad de ellas fueron expuestas a los rayos UV, mientras que la determinación del contenido de humedad, el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión, fueron obtenidos para todas las probetas.

Los datos se definen como medidos y no medidos.

Tabla 52. Número de muestras medidas y no medidas para ensayo de compresión paralela

	Exposición a rayos UV	Contenido de humedad	Módulo de elasticidad	Resistencia a la comp. paralela
Medidos	6	12	12	12
No medidos	6	0	0	0

Fuente. Autor, 2019

En la tabla 53, se realiza la clasificación según su diámetro del total de la muestra utilizada para el ensayo de resistencia a la compresión paralela a la fibra, y se evidencia, sobre esta clasificación, los ensayos que fueron efectuados.

Se puede observar que, del total de probetas correspondientes a cada diámetro, la mitad fue llevada a la exposición de rayos UV, mientras que la determinación del contenido de humedad, módulo de elasticidad y resistencia a la compresión fue realizado sobre toda la muestra.

Tabla 53. Número de muestras según su diámetro, para ensayo de compresión paralela

Diámetro aproximado	Total de muestras	Exposición a rayos UV	Contenido de humedad	Módulo de elasticidad	Resistencia a la comp. Paralela
5 cm	4	2	4	4	4
10 cm	4	2	4	4	4
15 cm	4	2	4	4	4

Fuente. Autor, 2019

Como se mencionó en la metodología, para las muestras sometidas al ensayo de compresión paralela a la fibra, se hallaron dos módulos de elasticidad, uno de manera gráfica, identificando la pendiente de la zona elástica del diagrama esfuerzo vs deformación; el otro, empleando la fórmula allí propuesta para calcularlo en cada instante, luego se realiza el análisis estadístico de los datos obtenidos para hallar un promedio de módulo de elasticidad.

La tabla 54 contiene los valores estadísticos correspondientes al cálculo del módulo de elasticidad para cada una de las muestras expuestas a los rayos UV y empleadas en este ensayo.

Se observa la alta dispersión de los resultados, especialmente en las muestras 101 y 104 las cuales presentan un coeficiente de variación cercano al 50%, y sobre todo la muestra 086, ya que este es de 83.4%. De igual manera, las medidas de tendencia central como la media y la mediana, tienen valores significativamente diferentes, esto demuestra la alta variabilidad de los datos.

Esto se pone en evidencia al analizar las gráficas correspondientes a la zona elástica de cada una de las probetas, razón por la cual se optó por realizar el cálculo del módulo de elasticidad por este medio. Adicionalmente, debido a la gran cantidad de datos obtenidos en el desarrollo del ensayo de resistencia a la compresión paralela a la fibra, se generan este tipo de dispersiones.

Tabla 54. Valores estadísticos correspondientes al cálculo del módulo de elasticidad para cada probeta expuesta a rayos UV

	MUESTRA					
	061	072	086	092	101	104
Media	8403.1	9180.7	220.0	174.7	446.1	375.4
Mediana	8794.9	9002.4	170.9	134.0	498.8	369.0
Moda	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Desviación estándar	1347.5	3130.2	183.4	130.8	205.6	168.2
Varianza	1815715.9	9798117.7	33638.7	17115.0	42272.4	28284.6
Coficiente de variación	16.0	34.1	83.4	74.9	46.1	44.8

Fuente. Autor, 2019

Para el análisis estadístico de la resistencia a la compresión paralela a la fibra del material expuesto a rayos UV, se emplearán ambos módulos de elasticidad, esto con el fin de determinar cuál de los dos puede ser más confiable.

La tabla 55 presenta los resultados de las medidas de tendencia central y dispersión de la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad para el ensayo de resistencia a la compresión paralela a la fibra realizado a muestras expuestas a rayos UV.

Se puede observar una resistencia a la compresión promedio de 19.15 MPa, sin embargo, presenta una varianza alta con respecto a la media, esto entrega un coeficiente de variación que pasa el 50%, lo cual indica una alta variabilidad de los datos de estudio. Cuando se analizan los valores de los módulos de elasticidad, la variabilidad en los datos es mucho más delicada, no solo porque los valores de la mediana y la media son significativamente diferentes, sino también, porque el coeficiente de variación sobrepasa el 100%.

Al observar los resultados, se hacen evidentes estos datos estadísticos, pues hay una diferencia muy alta entre ciertos valores de una muestra a otra, en cada una de las propiedades, y al tenerse una muestra tan reducida, estos intervalos tan grandes afectan notablemente el análisis, por lo cual no se deben tomar como una medida válida del comportamiento del material.

Tabla 55. Resumen estadístico para la resistencia a la compresión paralela en guadua expuesta a rayos UV

ESTADÍSTICOS	RESISTENCIA A LA COMP. PARALELA (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD GRÁFICO (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD FÓRMULA (MPa)
MEDIA	19.50	4275.46	3133.32
MEDIANA	14.35	543.34	410.73
MODA	N/A	N/A	N/A
DESV. ESTÁNDAR	9.98	6173.84	4391.11
VARIANZA	99.54	38116315.02	19281887.45
COEF. VARIACIÓN	52.09	144.40	140.14
MÍNIMO	9.70	202.13	172.68
MÁXIMO	32.98	14268.00	9180.68
RANGO	23.28	14065.87	9006.00

Fuente. Autor, 2019

Para el material que no fue expuesto a los rayos UV, se realiza el mismo procedimiento de análisis estadístico.

La tabla 56 contiene los valores estadísticos correspondientes al cálculo del módulo de elasticidad para cada una de las muestras que no fueron expuestas a los rayos UV y empleadas en este ensayo.

Al igual que sucedió con el material expuesto a rayos UV, se observa la alta dispersión de los resultados. Las muestras 085 y 095 presentan un coeficiente de variación superior al 50%.

De manera similar al material expuesto a rayos UV, no se reporta una moda, lo cual va indicando un parámetro del comportamiento del material. Cuando se analiza la gráfica esfuerzo vs deformación se puede observar que el comportamiento del material no es el ideal, lo cual es esperable debido a su morfología, de esa manera, los datos que se obtienen del ensayo difieren en misma medida uno del otro, por esto, si bien ambos módulos de elasticidad (gráfico y calculado) pueden estar relativamente cercanos entre sí, los datos estadísticos demuestran el comportamiento de la gráfica.

Tabla 56. Valores estadísticos correspondientes al cálculo del módulo de elasticidad para cada probeta no expuesta a rayos UV

	MUESTRA					
	070	075	085	095	105	107
Media	6324.2	4473.8	202.9	239.9	578.8	383.7
Mediana	6395.3	4609.7	183.1	165.9	578.6	387.5
Moda	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Desviación estándar	1330.0	696.6	112.5	166.9	246.8	187.5
Varianza	1768991.7	485245.3	12647.0	27861.8	60907.0	35140.3
Coeficiente de variación	21.0	15.6	55.4	69.6	42.6	48.9

Fuente. Autor, 2019

Para el análisis estadístico de la resistencia a la compresión paralela a la fibra del material que no fue expuesto a rayos UV, se emplearán ambos módulos de elasticidad de la misma manera que en las muestras expuestas, esto con el fin de realizar una comparación entre ambos valores.

La tabla 57 presenta los resultados de las medidas de tendencia central y dispersión de la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad para el ensayo de resistencia a la compresión paralela a la fibra realizado a muestras no expuestas a rayos UV.

Al observar los datos estadísticos obtenidos, se entiende que nuevamente la variabilidad en los datos es significativa, sobre todo en el módulo de elasticidad, evidenciando un coeficiente de variación que nuevamente sobrepasa el 100%, lo cual indica que la desviación estándar está muy alejada del promedio.

De igual manera, cuando se analiza los valores para mínimos, máximos y rangos, se observa como el valor máximo y el rango están cercanos entre sí, pero muy alejados del mínimo, esto se puede considerar como la presencia de datos atípicos, por lo cual nuevamente estos valores no se deben considerar como medida del comportamiento del material.

Tabla 57. Resumen estadístico para la resistencia a la compresión paralela en guadua no expuesta a rayos UV

ESTADÍSTICOS	RESISTENCIA A LA COMP. PARALELA (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD GRÁFICO (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD FÓRMULA (MPa)
MEDIA	16,23	2697,77	2033,88
MEDIANA	15,58	608,40	481,23
MODA	N/A	N/A	N/A
DESV. ESTÁNDAR	6,40	3622,94	2674,76
VARIANZA	40,91	13125715,41	7154328,97
COEF. VARIACIÓN	39,42	134,29	131,51
MÍNIMO	8,12	190,00	202,91
MÁXIMO	26,32	8484,10	6324,25
RANGO	18,20	8294,10	6121,34

Fuente. Autor, 2019

Del análisis realizado a los dos grupos de muestras (expuestas y no expuestas a rayos UV), para el ensayo de resistencia a la compresión paralela a la fibra, el único valor que se puede tomar en consideración es la resistencia a compresión, se observa como el material que estuvo expuesto a los rayos UV presenta un valor promedio de resistencia mayor que el material que no fue expuesto a los rayos UV, esto se puede deber a que a medida que la guadua aumenta su contenido de humedad, pierde resistencia y rigidez, y la exposición a esta radiación hizo que el contenido de humedad en las muestras que la recibieron fuera menor, esto se evidencia también en los resultados de contenido de humedad.

Respecto a los valores de módulo de elasticidad, no se deben tomar como una medida del comportamiento del material, ya que, debido a la morfología del mismo, la gráfica obtenida para cada una de las muestras no presentó un comportamiento ideal, esto dificulta la identificación de la zona elástica, adicionalmente, la cantidad de datos obtenidos en cada ensayo hacen que el análisis presente un margen de error mucho más significativo.

6.1.1 Histogramas de frecuencia para la compresión paralela a la fibra. A continuación, se presentan los histogramas de frecuencia para los valores de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad. Se realizaron para el total de las muestras, para las muestras expuestas a rayos UV y para las muestras no expuestas a rayos UV.

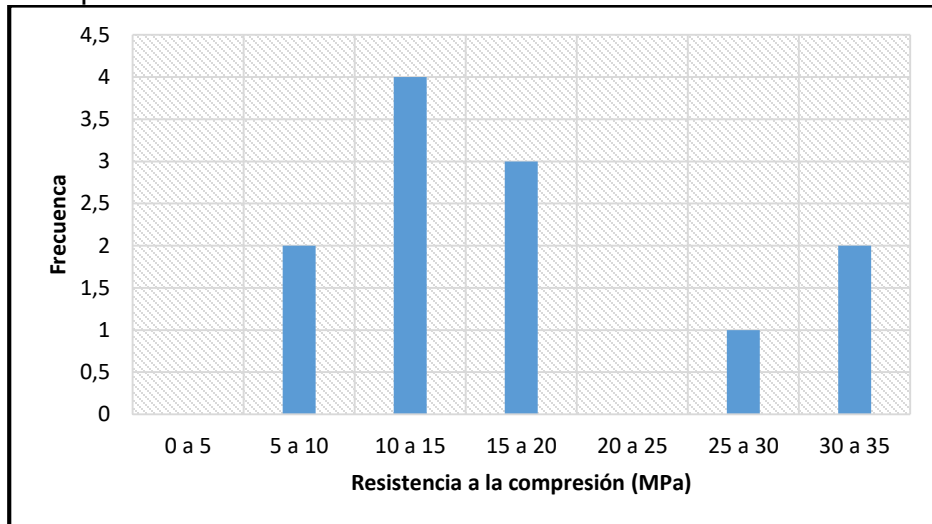
6.1.1.1 Histograma de frecuencia para la resistencia a la compresión. En la gráfica 49 se encuentran agrupadas las muestras expuestas y no expuestas a rayos UV, se puede observar como en el intervalo de 10 a 15 MPa, se encuentra la mayor cantidad de valores correspondientes a la resistencia a la compresión paralela a la fibra, mientras que para los intervalos 0 a 5 MPa y 20 a 25 MPa no se obtuvieron valores.

En la gráfica 50, se tiene el histograma para las muestras que fueron expuestas a rayos UV, en este se observa que la mayor parte de valores de resistencia a la compresión se encuentra entre 10 y 15 MPa y 30 a 35 MPa.

La gráfica 51 presenta el histograma para las muestras no expuestas a rayos UV, aquí se observa como los intervalos con mayor cantidad de valores para la resistencia a la compresión son de 10 a 15 MPa y de 15 a 20 MPa.

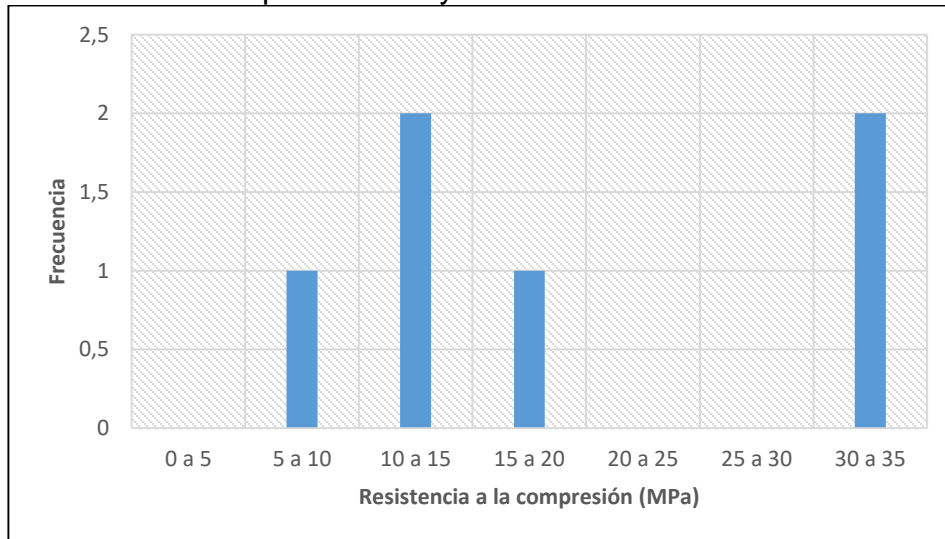
La variación en los valores se debe a la gran dispersión de datos causada por la geometría irregular del material, ya que este no es de manufactura, por lo tanto, las muestras no presentan un comportamiento ideal.

Gráfica 49. Histograma de frecuencias. Resistencia a la compresión paralela a la fibra para el total de datos



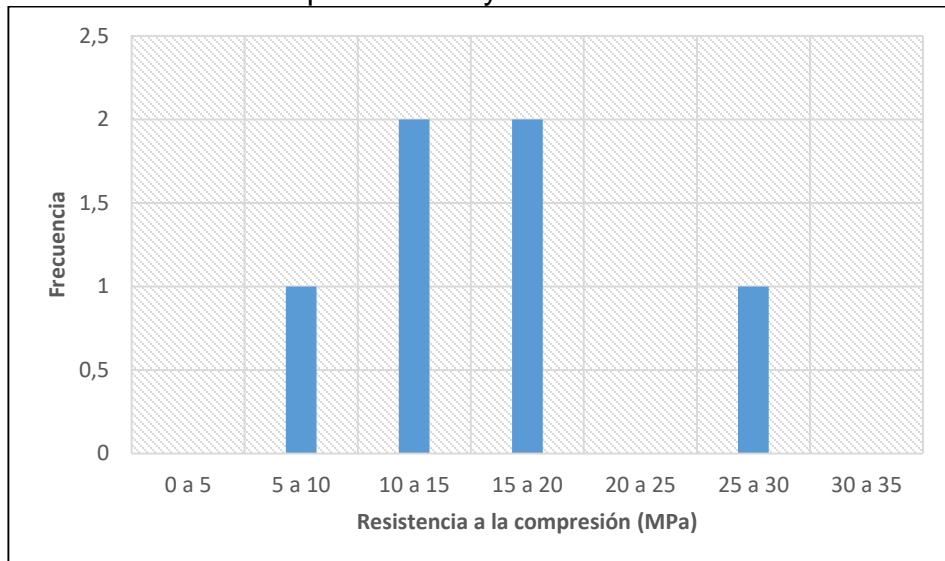
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 50. Histograma de frecuencias. Resistencia a la compresión paralela a la fibra. Muestras expuestas a rayos UV



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 51. Histograma de frecuencias. Resistencia a la compresión paralela a la fibra. Muestras no expuestas a rayos UV



Fuente. Autor, 2019

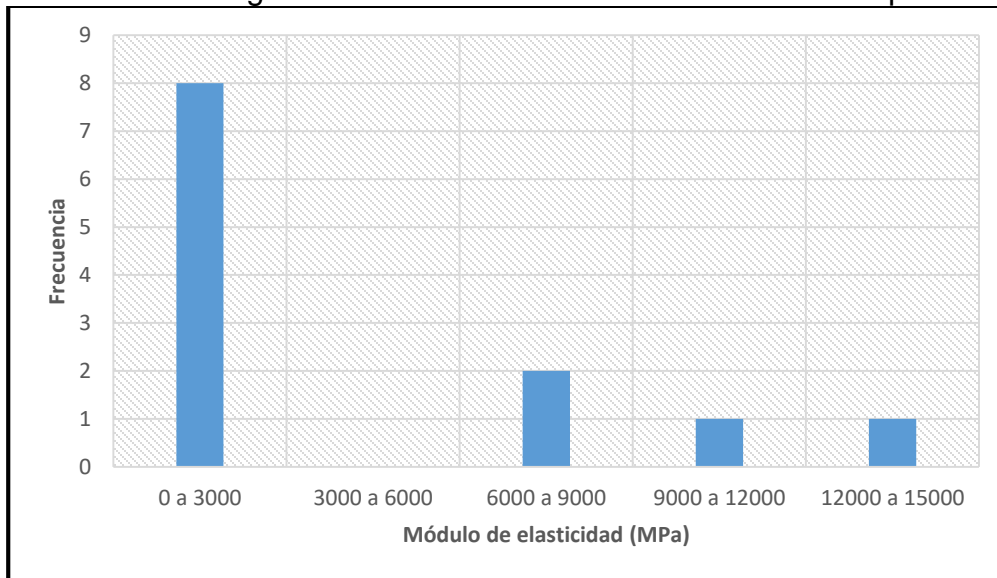
6.1.1.2 Histograma de frecuencias para el módulo de elasticidad. En la gráfica 52 se encuentran agrupadas las muestras expuestas y no expuestas a rayos UV, se puede observar como en el intervalo de 0 a 3000 MPa, se encuentra la mayor cantidad de valores correspondientes al módulo de elasticidad, mientras que para el intervalo de 3000 a 6000 MPa no se obtuvieron valores.

En la gráfica 53, se tiene el histograma para las muestras que fueron expuestas a rayos UV, en este se observa que la mayor parte de valores de módulo de elasticidad se encuentra entre 0 y 3000 MPa.

La gráfica 54 presenta el histograma para las muestras no expuestas a rayos UV, aquí se observa que solo se presentan valores de módulo de elasticidad en los intervalos de 0 a 3000 MPa y de 6000 a 9000 MPa, siendo el primero nuevamente el que más reporta datos.

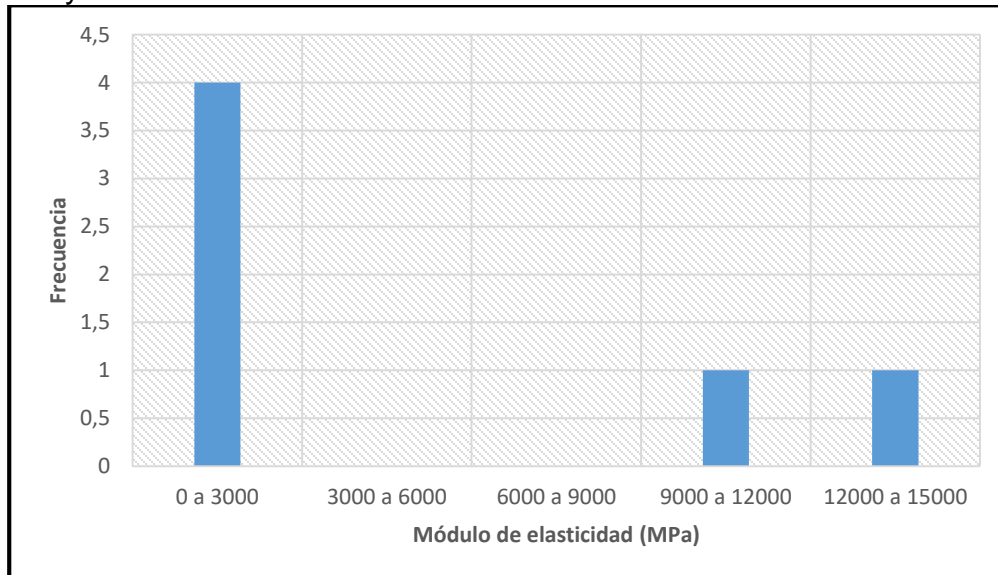
La variación en los valores se debe a la gran dispersión de datos causada por la geometría irregular del material, ya que este no es de manufactura, por lo tanto, las muestras no presentan un comportamiento ideal.

Gráfica 52. Histograma de frecuencias. Módulo de elasticidad para el total de datos



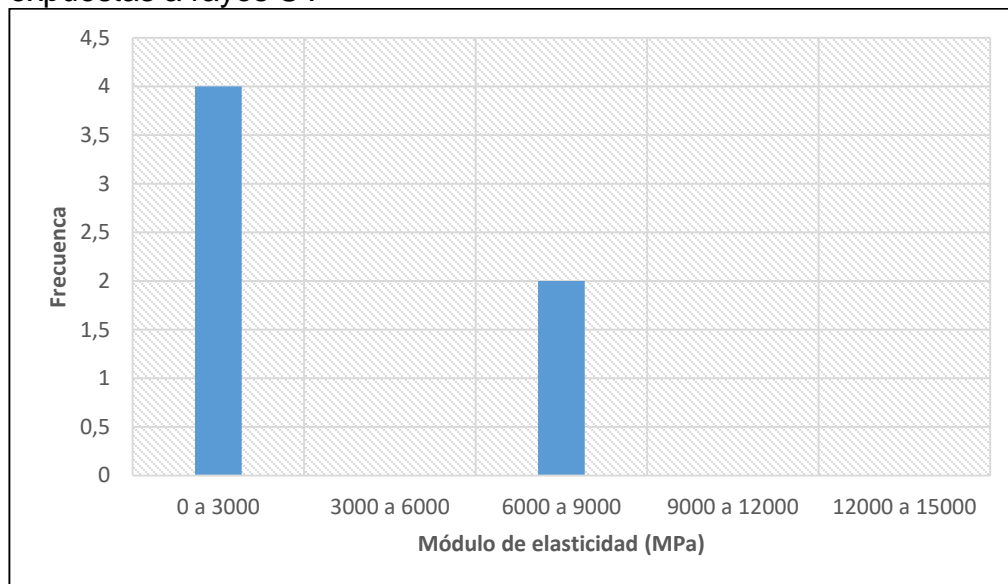
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 53. Histograma de frecuencias. Módulo de elasticidad. Muestras expuestas a rayos UV



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 54. Histograma de frecuencias. Módulo de elasticidad. Muestras no expuestas a rayos UV



Fuente. Autor, 2019

6.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

El análisis de los ensayos de compresión perpendicular se realizó para 12 muestras de guadua, estas presentan tres tipos de diámetros diferentes (5, 10 y 15 cm aproximadamente), a su vez se dividen entre las que fueron expuestas a la radiación

ultravioleta y las que no. Cada muestra cuenta con sus correspondientes valores de contenido de humedad, módulo de elasticidad y resistencia a la compresión.

En la tabla 58 se evidencia a manera general, los ensayos realizados sobre el total de las muestras dispuestas para la determinación de la resistencia a la compresión perpendicular. Se puede observar que, del total de las muestras, la mitad de ellas fueron expuestas a los rayos UV, mientras que la determinación del contenido de humedad, el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión, fueron obtenidos para todas las probetas.

Los datos se definen como medidos y no medidos.

Tabla 58. Número de muestras medidas y no medidas para ensayo de compresión perpendicular

	Exposición a rayos UV	Contenido de humedad	Módulo de elasticidad	Resistencia a la comp. perpendicular
Medidos	6	12	12	12
No medidos	6	0	0	0

Fuente. Autor, 2019

En la tabla 59, se realiza la clasificación según su diámetro del total de la muestra utilizada para el ensayo de resistencia a la compresión perpendicular a la fibra, y se evidencia, sobre esta clasificación, los ensayos que fueron efectuados.

Se puede observar que, del total de probetas correspondientes a cada diámetro, la mitad fue llevada a la exposición de rayos UV, mientras que la determinación del contenido de humedad, módulo de elasticidad y resistencia a la compresión fue realizado sobre toda la muestra.

Tabla 59. Número de muestras según su diámetro, para ensayo compresión perpendicular

Diámetro aproximado	Total de muestras	Exposición a rayos UV	Contenido de humedad	Módulo de elasticidad	Resistencia a la comp. perpendicular
5 cm	4	2	4	4	4
10 cm	4	2	4	4	4
15 cm	4	2	4	4	4

Fuente. Autor, 2019

El proceso para el análisis estadístico de la resistencia a la compresión perpendicular, es el mismo utilizado para la resistencia a la compresión paralela a la fibra, es decir, primero se realiza para el material expuesto a rayos UV.

La tabla 60 presenta los resultados de las medidas de tendencia central y dispersión de la resistencia a la tracción y módulo de elasticidad para el ensayo de resistencia a la compresión perpendicular realizado a muestras expuestas a rayos UV.

Se puede observar una variabilidad significativa en los datos obtenidos en los resultados. El coeficiente de variación presenta un valor superior el 50% tanto en la resistencia a la compresión perpendicular, como en el módulo de elasticidad circunferencial, lo cual indica la alta desviación estándar respecto a la media. También se evidencia una mayor variabilidad en los datos correspondientes al módulo de elasticidad circunferencial.

Tabla 60. Resumen estadístico para la resistencia a la compresión perpendicular en guadua expuesta a rayos UV

ESTADÍSTICOS	RESISTENCIA A LA COMP. PERPENDICULAR (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUNFERENCIAL (MPa)
MEDIA	15,20	998,43
MEDIANA	12,80	687,74
MODA	N/A	N/A
DESV. ESTÁNDAR	8,55	611,32
VARIANZA	73,10	373708,90
COEF. VARIACIÓN	56,26	61,23
MÍNIMO	6,15	525,91
MÁXIMO	26,50	1973,63
RANGO	20,36	1447,73

Fuente. Autor, 2019

Para el material que no fue expuesto a los rayos UV, se realiza el mismo análisis estadístico.

La tabla 61 presenta los resultados de las medidas de tendencia central y dispersión de la resistencia a la tracción y módulo de elasticidad para el ensayo de resistencia a la compresión perpendicular a la fibra realizado a muestras no expuestas a rayos UV.

Nuevamente se observa una variabilidad significativa en los datos, los coeficientes de variación en este caso vuelven a sobrepasar el 50%, pero siendo mayores respecto a los resultados de las muestras que fueron expuestas a rayos UV.

También se evidencia una dispersión mayor en los datos correspondientes al módulo de elasticidad circunferencial al igual que en las muestras que fueron expuestas a rayos UV, sin embargo, la dispersión de las muestras no expuestas es un poco menor.

Tabla 61. Resumen estadístico para la resistencia a la compresión perpendicular en guadua no expuesta a rayos UV

ESTADÍSTICOS	RESISTENCIA A LA COMP. PERPENDICULAR (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUNFERENCIAL (MPa)
MEDIA	14,23	889,03
MEDIANA	13,04	938,27
MODA	N/A	N/A
DESV. ESTÁNDAR	11,32	557,41
VARIANZA	128,11	310704,09
COEF. VARIACIÓN	79,55	62,70
MÍNIMO	1,27	187,26
MÁXIMO	29,99	1657,77
RANGO	28,72	1470,51

Fuente. Autor, 2019

Si bien es cierto que el análisis estadístico permite comprender el comportamiento del material, basado en el estudio de los datos de una manera más profunda, en líneas generales se pudo observar que la exposición a rayos ultravioleta mejoró las propiedades mecánicas del material, tanto para la resistencia a la compresión paralela a la fibra, como para la resistencia a la compresión perpendicular.

Se evidenció una media mayor en las resistencias últimas y en los módulos de elasticidad de las probetas que fueron expuestas a los rayos UV.

6.2.1 Histogramas de frecuencia para la compresión perpendicular a la fibra.

A continuación, se presentan los histogramas de frecuencia para los valores de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad circunferencial. Se realizaron para el total de las muestras, para las muestras expuestas a rayos UV y para las muestras no expuestas a rayos UV.

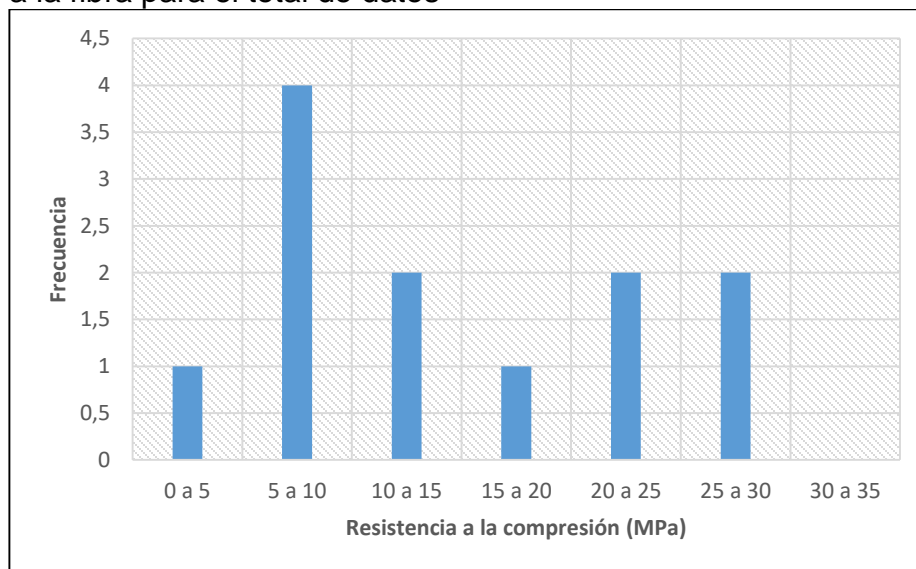
6.2.1.1 Histograma de frecuencia para la resistencia a la compresión. En la gráfica 55 se encuentran agrupadas las muestras expuestas y no expuestas a rayos UV, se puede observar como en el intervalo de 5 a 10 MPa, se encuentra la mayor cantidad de valores correspondientes a la resistencia a la compresión perpendicular a la fibra, mientras que para los demás intervalos se evidencia una mejor distribución de valores.

En la gráfica 56, se tiene el histograma para las muestras que fueron expuestas a rayos UV, en este se observa una distribución un poco más pareja entre los intervalos de 5 a 10 MPa y de 10 a 15 MPa, con 2 valores cada uno, mientras que de 20 a 25 MPa y de 25 a 30 MPa se evidencia un valor para cada intervalo.

La gráfica 57 presenta el histograma para las muestras no expuestas a rayos UV, aquí se observa una distribución casi equitativa de valores entre la mayoría de intervalos, se resalta que el intervalo de 5 a 10 MPa presenta mayor cantidad de valores respecto a los demás, por el contrario, el intervalo de 10 a 15 MPa no presenta valores.

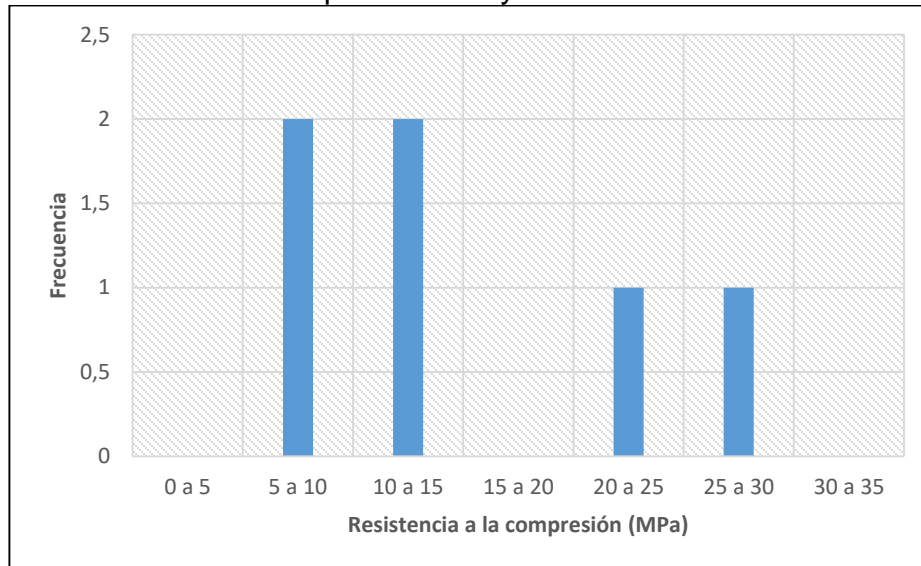
Al igual que en el ensayo de resistencia a la compresión paralela, en este se presenta una alta variación en los valores, esto se debe a la gran dispersión de datos causada por la geometría irregular del material, ya que este no es de manufactura, por lo tanto, las muestras no presentan un comportamiento ideal.

Gráfica 55. Histograma de frecuencias. Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra para el total de datos



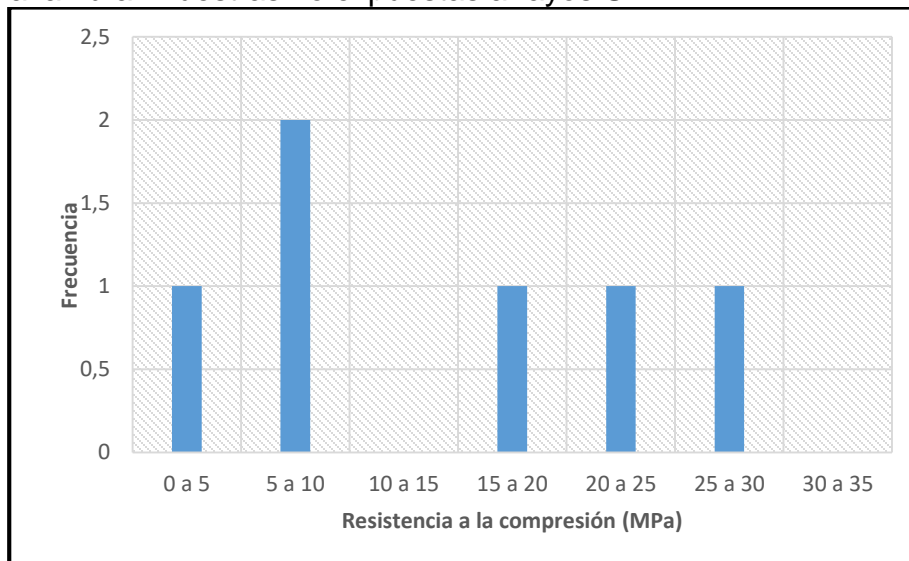
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 56. Histograma de frecuencias. Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra. Muestras expuestas a rayos UV



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 57. Histograma de frecuencias. Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra. Muestras no expuestas a rayos UV



Fuente. Autor, 2019

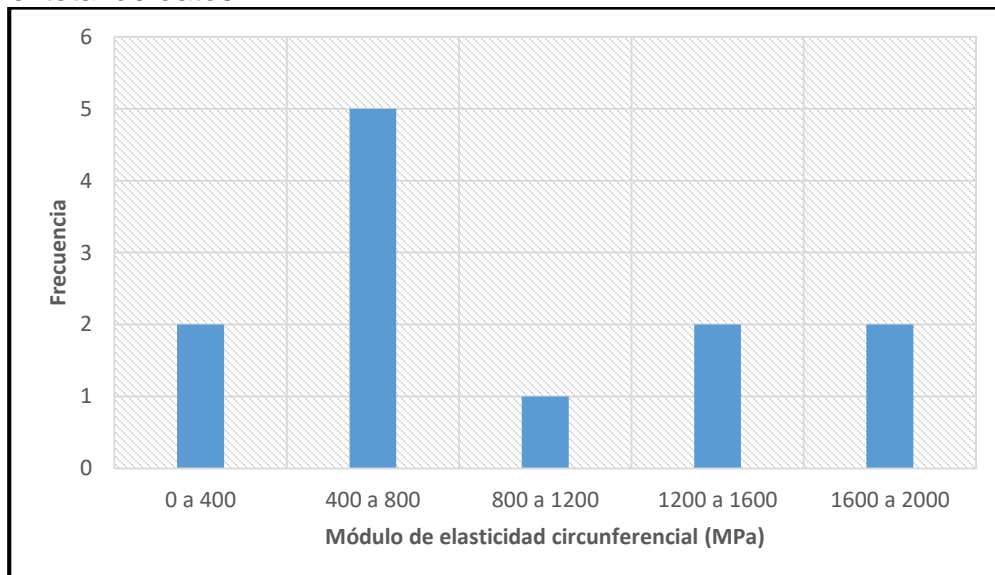
6.2.1.2 Histograma de frecuencias para el módulo de elasticidad. En la gráfica 58 se encuentran agrupadas las muestras expuestas y no expuestas a rayos UV, se puede observar como en el intervalo de 400 a 800 MPa, se encuentra la mayor cantidad de valores correspondientes al módulo de elasticidad, mientras que para los demás intervalos se presenta una mejor distribución de valores.

En la gráfica 59, se tiene el histograma para las muestras que fueron expuestas a rayos UV, en este se observa que la mayor parte de valores de módulo de elasticidad se encuentra entre 400 y 800 MPa, mientras que los intervalos de 0 a 400 MPa y de 800 a 1200 MPa no presentan valores.

La gráfica 60 presenta el histograma para las muestras no expuestas a rayos UV, aquí se observa una distribución más pareja, observándose valores en todos los intervalos de estudio, siendo el de 0 a 400 MPa el que indica una mayor cantidad.

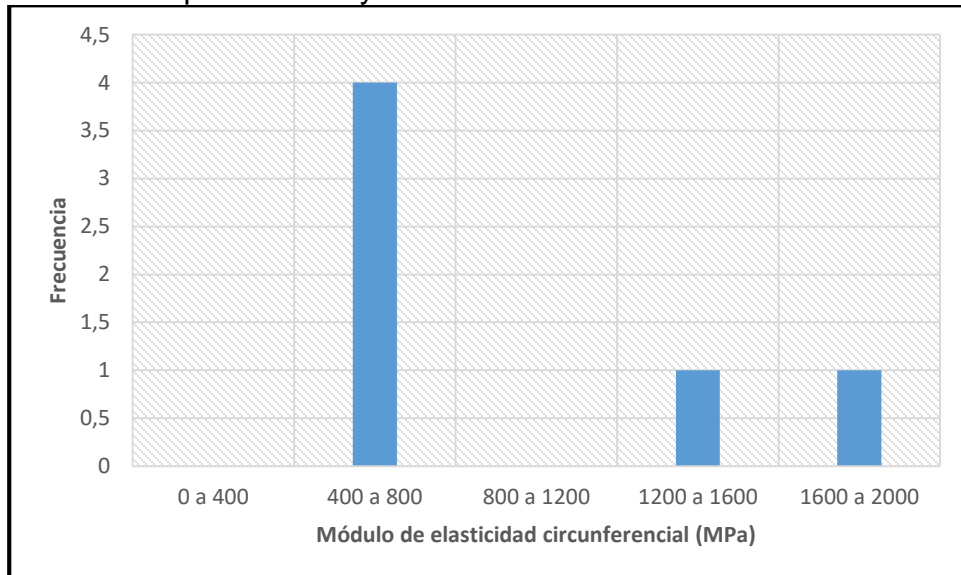
Igualmente se presenta una alta variación en los valores, esto se debe a la gran dispersión de datos causada por la geometría irregular del material, ya que este no es de manufactura, por lo tanto, las muestras no presentan un comportamiento ideal.

Gráfica 58. Histograma de frecuencias. Módulo de elasticidad circunferencial para el total de datos



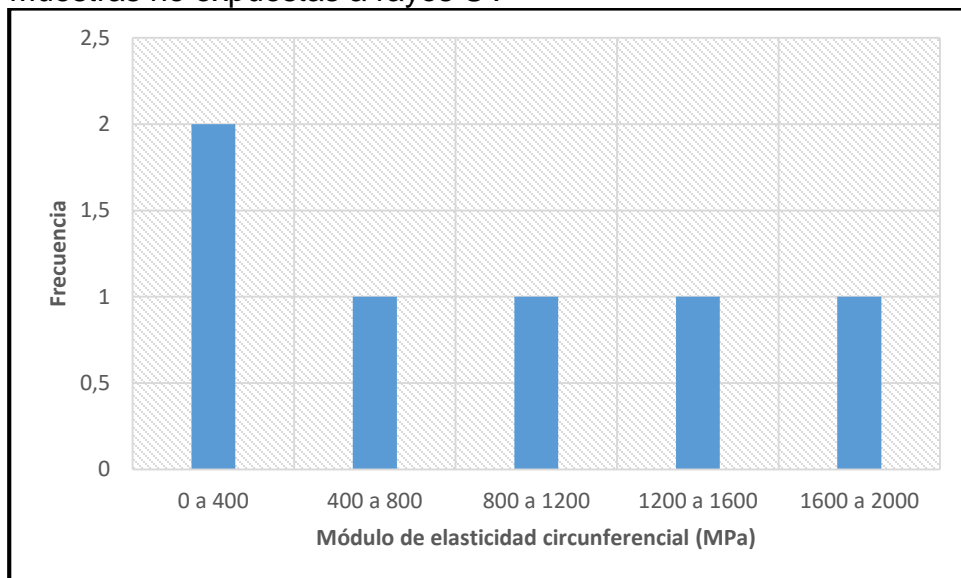
Fuente. Autor, 2019

Gráfica 59. Histograma de frecuencias. Módulo de elasticidad circunferencial. Muestras expuestas a rayos UV



Fuente. Autor, 2019

Gráfica 60. Histograma de frecuencias. Módulo de elasticidad circunferencial. Muestras no expuestas a rayos UV



Fuente. Autor, 2019

7. CONCLUSIONES

Se observa una alta variabilidad en los datos obtenidos como resultado de los ensayos que evalúan las propiedades mecánicas del material, esto se debe a la cantidad de factores que influyen en el desarrollo de los mismos, tales como humedad del material, humedad del ambiente, o simplemente el error al momento de realizar el ensayo. Al ser la guadua un material de origen natural, no presenta una geometría definida, lo cual a la hora de preparar el montaje de laboratorio no permite tener un adecuado procedimiento del ensayo, esto repercute en el resultado.

Los resultados obtenidos para el contenido de humedad, evidencian un porcentaje menor en las muestras que fueron expuestas a los rayos ultravioleta, lo cual se debe al efecto de estos, adicionalmente por la cercanía de los bombillos al material, también se generó un leve aumento en la temperatura dentro de la incubadora, de tal manera que estos dos factores generaron una pérdida de humedad natural del material.

De acuerdo a los datos obtenidos mediante el desarrollo de los ensayos, se observa una mayor resistencia a la compresión paralela a la fibra en las muestras de guadua que fueron expuestas a los rayos ultravioleta, sin embargo, el módulo de elasticidad varía mucho de una muestra a otra, lo cual no genera un resultado confiable para este parámetro. Cuando se realiza el análisis estadístico para la resistencia paralela a la fibra, se evidencia a mayor escala lo dicho anteriormente, ya que en la mayoría de los casos el coeficiente de variación es cercano o superior al 50%, y superior al 100% para el módulo de elasticidad.

El ensayo de resistencia a la compresión perpendicular a la fibra presenta unos resultados un poco más lógicos, de igual manera la resistencia es mayor en las muestras expuestas a los rayos ultravioleta, pero ya que el procedimiento utilizado se basa en investigaciones previas, y no en una norma estandarizada, los resultados pueden verse influenciados por un espectro más amplio de factores que afecten el desarrollo del ensayo. Al realizar el análisis estadístico correspondiente, se evidencia una dispersión y variabilidad de datos alta, tanto para las muestras expuestas, como para las muestras no expuestas, si bien ningún coeficiente de variación se acerca al 100%, en todos los casos, si superan el 50%.

La alta dispersión y variabilidad de los datos para la totalidad de las muestras, no permite identificar patrones de comportamiento causados por la exposición a rayos ultravioleta, aun así, en términos generales, se observó que las muestras que estuvieron en la incubadora mejoraron su resistencia, esto debido a que a medida que la guadua aumenta su contenido de humedad, pierde resistencia y rigidez.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda mantener un control más estricto cuando se vayan a realizar ensayos de laboratorio sobre muestras de guadua, ya que como se mencionó anteriormente, debido a las propiedades físicas de esta, la dispersión de datos es alta, por lo tanto, se debe reducir en lo posible el error humano.

Se sugiere realizar más proyectos de investigación respecto a las propiedades mecánicas de la guadua, incluyendo los efectos de la radiación ultravioleta sobre estas, con el fin de ampliar la base de datos e incentivar el desarrollo de nuevas ideas.

Es de vital importancia que el material que será objeto de análisis, sea preparado y almacenado en mejores condiciones, la irregularidad en la geometría, causada por una pobre manipulación, ocasiona una variación alta en los resultados de los ensayos, esto no permite obtener unos datos que brinden confiabilidad.

Para futuros trabajos, se recomienda realizar un análisis de una sola propiedad mecánica, de esta manera se puede aumentar el periodo de exposición a la radiación ultravioleta y el periodo de saturación del material, para obtener resultados más confiables, adicionalmente se pueden probar diferentes elementos de protección sobre las muestras para implementarse en procesos constructivos.

También se recomienda llevar a cabo el análisis químico de las muestras falladas.

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE MORA, Christian David. 2018. Efectos de la radiación UV en presencia de humedad y temperatura en la guadua. Bogotá : s.n., 2018. pág. 64. Trabajo de grado (Ingeniero Civil).

ALVARADO ROJAS, Javier Mauricio. 2013. Análisis de las propiedades mecánicas de la guadua angustifolia mediante técnicas estadísticas y redes neuronales. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia, 2013.

AMADA, Shigeyasu y UNTAO, Sun. 2001. *Fracture Properties of Bamboo*. 2001, Composites Part B: Engineering, págs. 451-459.

BENHUA, Fei, ZHIMIN, Gao y ZHIJIA, Liu. 2016. Biological, Anatomical, and Chemical Characteristics of Bamboo. [aut. libro] Kim Yoon Soo, Funada Ryo y P., Singh Adya. *Secondary Xylem Biology*. Beijing : Elsevier, 2016.

CARDENAS, J. I y VARGAS HERNANDEZ, C. 2014. Elastic Module of the Radial Section of Guadua angustifolia Kunth Variety Bicolor. Hindawi Publishing Corporation. *Advanced in Materials Science and Engineering*. Volume 2014. Article ID: 935206. pag 5.

CIRO VELÁSQUEZ, Héctor José, OSORIO SARAZ, Jairo Alexander y VÉLEZ RESTREPO, Juan Manuel. 2005. Determinación de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de la guadua angustifolia kunth. Bogotá : s.n., 2005.

Facultad de ciencias agrarias. 2001 - 2013. Morfología de plantas vasculares. [En línea] Universidad Nacional del Nordeste, 2001 - 2013. [Citado el: 16 de 9 de 2019.] <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema1/1-4ramifi.htm>.

Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía. 2011. *Temas para la Educación*. 15, Andalucía : s.n., 2011. 1989-4023.

GARCÍA CAMARGO, Juan Carlos, SUAREZ FRANCO, Juan David. 2014. *Compression resistance and shear strenght of guadua angustifolia culms after drilling of the node diaphragm*. 1, Enero - junio de 2014, Colombia Forestal, Vol. 17.

GHAVAMI, Khosrow, GARCÍA ALVAREZ, Jose Jaime y TORRES, Luis. 2007. *A transversely isotropic law for the determination of the circumferential young's modulud of bamboo with diametric compression test*. 2007.

GONZALES, L. O. 2006. *Elementos para la caracterización mecánica de la guadua angustifolia kunth*. Bogotá : Revista Virtual Forestal, 2006.

JIANG, Zehui y PENG, Zhenhua. 2007. *Bamboo and Rattan un the world*. Beijing : China Forestry Publishing House, 2007.

LONDOÑO, Ximena. 2011. *El bambú en Colombia*. 3, Julio - Septiembre de 2011, Biotecnología Vegetal, Vol. 11, págs. 143 - 154. ISSN 1609-1841.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2019. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. [En línea] 2019. [Citado el: 26 de Agosto de 2019.] <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=687:pl>.

OLAYA ROJANO, Erlin Enrique. 2018. Efectos de la radiación ultravioleta en la guadua. Bogotá : s.n., 2018. pág. 73. Trabajo de grado (Ingeniero Industrial).

Organización Mundial de la Salud. 2013. World Health Organization. *World Health Organization*. [En línea] 2013. [Citado el: 25 de Agosto de 2019.] <https://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf>.

PILCO DÍAZ, Edgar Patricio. 2016. Estudio de las propiedades físico mecánicas de la guadua *amgustifolia kunth* de Loja, e implementación de este como material de construcción. Loja, Ecuador : Universidad Técnica Particular de Loja, 2016.

PRADO Mauricio, MAGDA Liliana. 2019. Modulo 3: Control oportuno de malezas en cultivo. [En línea] CORPOICA Y UNIPAMPLONA, 2019. [Citado el: 16 de septiembre de 2019.] http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_4/mod_virtuales/modulo3/glosario1.html.

SALCEDO GONZALES, L. Octavio. 2001. *Uso del bambú en el concreto reforzado*. Palmira : Universidad Nacional de Colombia, 2001.

Space Environment Technologies. *Space Environment Technologies*. [En línea] [Citado el: 25 de Agosto de 2019.] http://www.spacewx.com/pdf/SET_21348_2004.pdf.

TAKEUCHI TAM, Caori Patricia. 2004. *Comportamiento estructural de la guadua. Uniones en guadua*. Septiembre de 2004, Ingeniería e investigación, Vol. 55, págs. 3-7.

TAKEUCHI TAM, Caori Patricia. 2014. Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia, 2014.

TAKEUCHI TAM, Caori Patricia y GUTIÉRREZ GONZÁLEZ, Mateo. 2014. *Efecto del contenido de humedad en la resistencia a tensión paralela a la fibra del bambú guadua angustifolia Kunth*. 3, Pereira : s.n., Septiembre de 2014, Scientia et Technica, Vol. 19. ISSN 0122-1701.


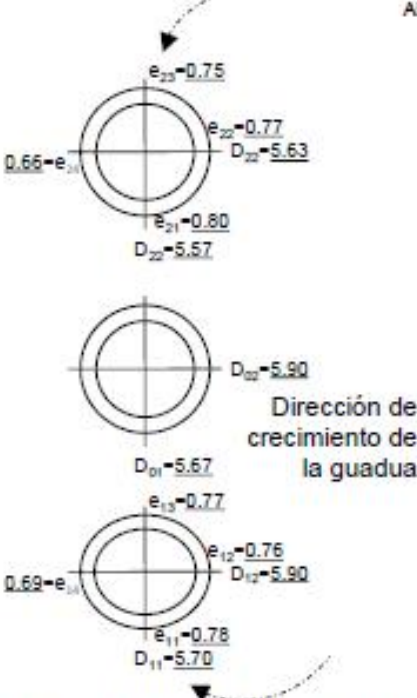

TENEICHE, Gustavo. 2013. Guadua Bambu Colombia. [En línea] 19 de marzo de 2013. [Citado el: 16 de septiembre de 2019.] <https://guaduabambucolombia.com/2013/03/19/partes-de-la-guadua-angustifolia-kunth/>.

ZAPATA, Fanny. 2014. lifeder.com. [En línea] 2014. [Citado el: 16 de septiembre de 2019.] <https://www.lifeder.com/modulo-de-young/>.

ANEXOS


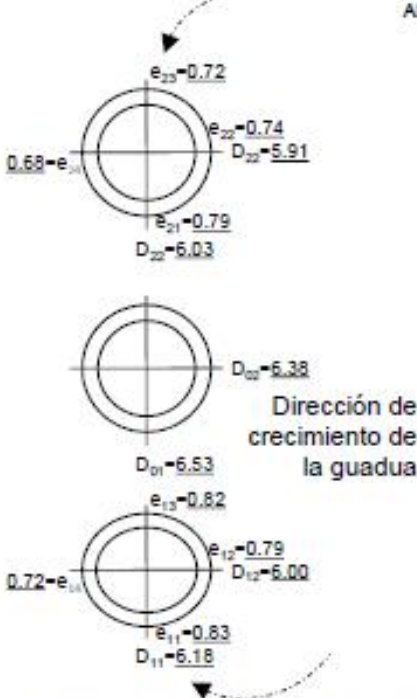

Anexo 1. Formato caracterización del material.

Figura 31. Formato caracterización probeta de 5cm sin nudo

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ		
FACULTAD DE INGENIERIA		
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL		
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS		U CATÓLICA
CARACTERIZACIÓN INICIAL RAMBU DE LA ESPECIE GUADUA ANGUSTIFOLIA		
Fecha: <u>01/11/2018</u>	Muestra: <u>061</u>	Temperatura: _____
Origen: _____	Edad: _____	Humedad relativa del aire: _____
Ensayo a realizar: <u>IDENTIFICACIÓN VISUAL</u>		
Esquema de corte: Todas las dimensiones están en cm		
	Alturas (L) L1 = <u>29.90</u> L2 = <u>29.90</u> L3 = <u>29.80</u> L4 = <u>29.90</u>	
Responsable: <u>CARLOS FERNANDO RAMÍREZ G.</u>		
Nota: No olvidar dibujar en el esquema la posición de los nudos.		
Observaciones: <u>Diámetro = 5cm // Muestra sin nudo</u>		


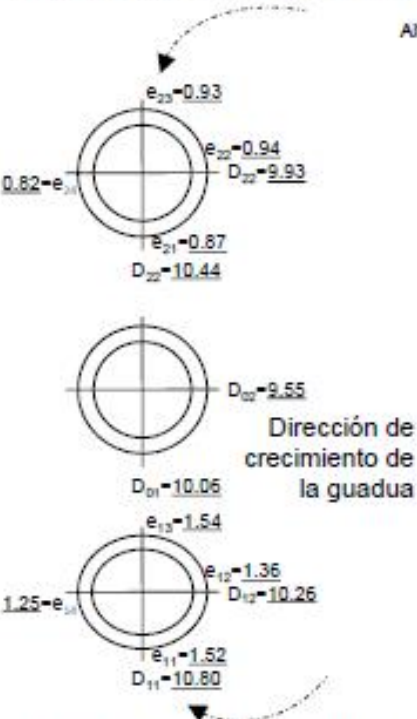

Fuente. Autor, 2019

Figura 32. Formato caracterización probeta de 5cm con nudo

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE ESTRUCTURAS		 U CATÓLICA de Colombia
CARACTERIZACIÓN INICIAL BAMBU DE LA ESPECIE GUADUA ANGUSTIFOLIA		
Fecha: <u>01/11/2018</u>	Muestra: <u>075</u>	Temperatura: _____
Origen: _____	Edad: _____	Humedad relativa del aire: _____
Ensayo a realizar: <u>IDENTIFICACIÓN VISUAL</u>		
Esquema de corte: Todas las dimensiones están en cm		
	<p>Alturas (L)</p> <p>L1 = <u>30.50</u></p> <p>L2 = <u>30.50</u></p> <p>L3 = <u>30.70</u></p> <p>L4 = <u>30.40</u></p>	
Responsable: <u>CARLOS FERNANDO RAMÍREZ G.</u>		
Nota: No olvidar dibujar en el esquema la posición de los nudos.		
Observaciones: <u>Diámetro = 5cm // Muestra con nudo</u>		


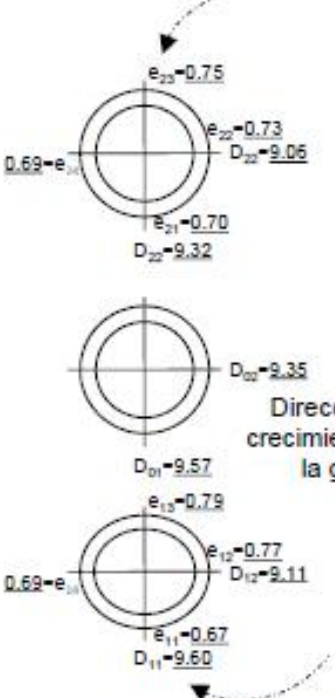

Fuente. Autor, 2019

Figura 33. Formato caracterización probeta de 10 cm sin nudo

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE ESTRUCTURAS		 U CATÓLICA <small>de Colombia</small>
CARACTERIZACIÓN INICIAL BAMBU DE LA ESPECIE GUADUA ANGUSTIFOLIA		
Fecha: <u>02/11/2018</u>	Muestra: <u>088</u>	Temperatura: _____
Origen: _____	Edad: _____	Humedad relativa del aire: _____
Ensayo a realizar: <u>IDENTIFICACIÓN VISUAL</u>		
Esquema de corte: Todas las dimensiones están en cm		
	Alturas (L) L1 = <u>30.10</u> L2 = <u>30.50</u> L3 = <u>30.20</u> L4 = <u>30.80</u>	
Responsable: <u>CARLOS FERNANDO RAMÍREZ G.</u>		
Nota: No olvidar dibujar en el esquema la posición de los nudos.		
Observaciones: <u>Diámetro = 10cm // Muestra sin nudo</u>		


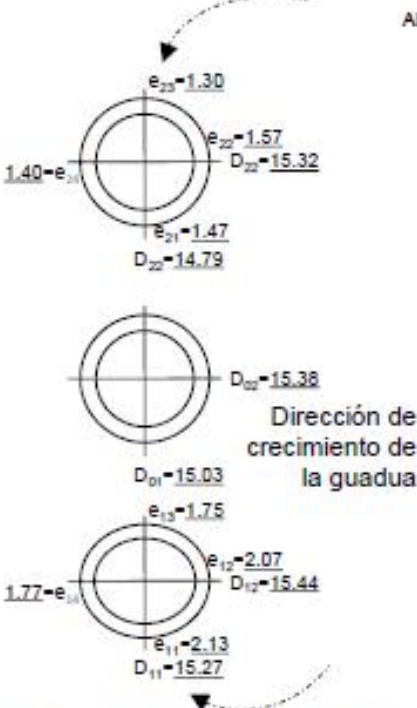

Fuente. Autor, 2019

Figura 34. Formato caracterización probeta de 10 cm con nudo

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE ESTRUCTURAS		 U CATÓLICA <small>de Colombia</small>
CARACTERIZACIÓN INICIAL BAMBU DE LA ESPECIE GUADUA ANGUSTIFOLIA		
Fecha: <u>02/11/2018</u>	Muestra: <u>095</u>	Temperatura: _____
Origen: _____	Edad: _____	Humedad relativa del aire: _____
Ensayo a realizar: <u>IDENTIFICACIÓN VISUAL</u>		
Esquema de corte: Todas las dimensiones están en cm		
	Alturas (L) L1 = <u>30.00</u> L2 = <u>30.00</u> L3 = <u>30.10</u> L4 = <u>30.10</u>	
Dirección de crecimiento de la guadua		
Responsable: <u>CARLOS FERNANDO RAMÍREZ G.</u>		
Nota: No olvidar dibujar en el esquema la posición de los nudos.		
Observaciones: <u>Diámetro = 10cm // Muestra con nudo</u>		


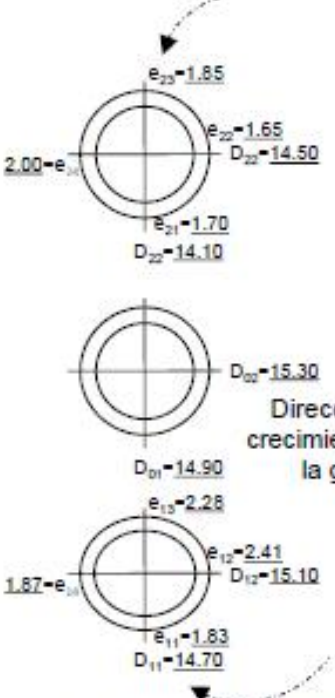

Fuente. Autor, 2019

Figura 35. Formato caracterización probeta de 15cm sin nudo

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE ESTRUCTURAS		 U CATÓLICA <small>de Colombia</small>
CARACTERIZACIÓN INICIAL BAMBU DE LA ESPECIE GUADUA ANGUSTIFOLIA		
Fecha: <u>03/11/2018</u>	Muestra: <u>101</u>	Temperatura: _____
Origen: _____	Edad: _____	Humedad relativa del aire: _____
Ensayo a realizar: <u>IDENTIFICACIÓN VISUAL</u>		
Esquema de corte: Todas las dimensiones están en cm		
	Alturas (L) L1 = <u>30.10</u> L2 = <u>30.20</u> L3 = <u>30.30</u> L4 = <u>30.30</u>	
Responsable: <u>CARLOS FERNANDO RAMÍREZ G.</u>		
Nota: No olvidar dibujar en el esquema la posición de los nudos.		
Observaciones: <u>Diámetro = 15cm // Muestra sin nudo</u>		

Fuente. Autor, 2019

Figura 36. Formato caracterización probeta de 15 cm con nudo

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE ESTRUCTURAS			 U CATÓLICA <small>de Colombia</small>
CARACTERIZACIÓN INICIAL BAMBU DE LA ESPECIE GUADUA ANGUSTIFOLIA			
Fecha: <u>03/11/2018</u>	Muestra: <u>104</u>	Temperatura: _____	
Origen: _____	Edad: _____	Humedad relativa del aire: _____	
Ensayo a realizar: <u>IDENTIFICACIÓN VISUAL</u>			
Esquema de corte: Todas las dimensiones están en cm			
	Alturas (L) L ₁ = <u>30.00</u> L ₂ = <u>30.00</u> L ₃ = <u>30.00</u> L ₄ = <u>30.00</u>		
			
Responsable: <u>CARLOS FERNANDO RAMÍREZ G.</u>			
Nota: No olvidar dibujar en el esquema la posición de los nudos.			
Observaciones: <u>Diámetro = 15cm // Muestra con nudo</u>			

Fuente. Autor, 2019

Anexo 2. Resultados ensayo compresión paralela a la fibra.

Tabla 62. Resultado ensayo compresión paralela a la fibra, muestras expuestas a rayos UV

COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA EXPUESTA					
ID: 061_A_S_VIII		ID: 072_A_N_VIII		ID: 086_B_S_VIII	
CARGA MÁXIMA (kN)	84,9959297	CARGA MÁXIMA (kN)	80,7945547	CARGA MÁXIMA (kN)	107,636273
ESFUERZO A COMP. PARALELA (σ_{ult}) (MPa)	32,9804622	ESFUERZO A COMP. PARALELA (σ_{ult}) (MPa)	30,5799114	ESFUERZO A COMP. PARALELA (σ_{ult}) (MPa)	12,959963
R2	0,9952	R2	0,9956	R2	0,8709
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	9794,9	MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	14268	MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	301,03
MÓDULO DE YOUNG PROM. FÓRMULA (Mpa)	8403,1	MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	9180,681	MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	220,01791
ID: 092_B_N_VIII		ID: 101_C_S_VIII		ID: 104_C_N_VIII	
CARGA MÁXIMA (kN)	78,4043984	CARGA MÁXIMA (kN)	278,510938	CARGA MÁXIMA (kN)	228,754063
ESFUERZO A COMP. PARALELA (σ_{ult}) (MPa)	9,6961853	ESFUERZO A COMP. PARALELA (σ_{ult}) (MPa)	15,3383811	ESFUERZO A COMP. PARALELA (σ_{ult}) (MPa)	13,3570955
R2	0,8949	R2	0,9502	R2	0,9463
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	202,13	MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	645,69	MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	440,99
MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	174,67926	MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	446,077487	MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	375,383206

Fuente. Autor, 2019

Tabla 63. Resultado ensayo compresión paralela a la fibra, muestras no expuestas a rayos UV

COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA NO EXPUESTA					
ID: 070_A_S_VIII		ID: 075_A_N_VIII		ID: 085_B_S_VIII	
CARGA MÁXIMA (kN)	60,12907	CARGA MÁXIMA (kN)	58,1818086	CARGA MÁXIMA (kN)	65,65634
ESFUERZO A COMP. PARALELA (σ_{ult}) (MPa)	26,3196826	ESFUERZO A COMP. PARALELA (σ_{ult}) (MPa)	19,4485721	ESFUERZO A COMP. PARALELA (σ_{ult}) (MPa)	8,11964745
R2	0,9935	R2	0,9969	R2	0,9377
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	8484,1	MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	6037,2	MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	258,52
MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	6324,24755	MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	4473,77888	MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	202,906106
ID: 095_B_N_VIII		ID: 105_C_S_VIII		ID: 107_C_N_VIII	
CARGA MÁXIMA (kN)	91,06334	CARGA MÁXIMA (kN)	290,915219	CARGA MÁXIMA (kN)	217,585359
ESFUERZO A COMP. PARALELA (σ_{ult}) (MPa)	13,3053121	ESFUERZO A COMP. PARALELA (σ_{ult}) (MPa)	17,8628839	ESFUERZO A COMP. PARALELA (σ_{ult}) (MPa)	12,3046082
R2	0,962	R2	0,9524	R2	0,9476
MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	190	MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	721,06	MÓDULO DE YOUNG GRÁFICO (Mpa)	495,74
MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	239,899739	MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	578,77494	MÓDULO DE YOUNG PROM FÓRMULA (Mpa)	383,69113

Fuente. Autor, 2019

Anexo 3. Resultados ensayo compresión perpendicular a la fibra.

Tabla 64. Resultado ensayo compresión perpendicular a la fibra, muestras expuestas a rayos UV

COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA EXPUESTA					
ID: 067_A_S_VIII		ID: 079_A_N_VIII		ID: 081_B_S_VIII	
CARGA MÁXIMA (kN)	1,87787341	CARGA MÁXIMA (kN)	3,93195752	CARGA MÁXIMA (kN)	2,10106
S	2221	S	3818	S	679,99
R2	0,9945	R2	0,9732	R2	0,9895
ESFUERZO A COMP. PERPENDICULAR (σ_{ult})	8,18516918	ESFUERZO A COMP. PERPENDICULAR (σ_{ult})	24,765507	ESFUERZO A COMP. PERPENDICULAR (σ_{ult})	11,4607273
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUFERENCIAL (MPa)	525,91	MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUFERENCIAL (MPa)	1544,07	MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUFERENCIAL (MPa)	584,78
ID: 100_B_N_VIII		ID: 102_C_S_VIII		ID: 103_C_N_VIII	
CARGA MÁXIMA (kN)	4,16521	CARGA MÁXIMA (kN)	2,36206	CARGA MÁXIMA (kN)	5,87982
S	2049	S	1062,9	S	1583
R2	0,9865	R2	0,9941	R2	0,9972
ESFUERZO A COMP. PERPENDICULAR (σ_{ult})	26,5004	ESFUERZO A COMP. PERPENDICULAR (σ_{ult})	6,1453	ESFUERZO A COMP. PERPENDICULAR (σ_{ult})	14,1305
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUFERENCIAL (MPa)	1973,63	MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUFERENCIAL (MPa)	571,51	MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUFERENCIAL (MPa)	790,70

Fuente. Autor, 2019

Tabla 65. Resultado ensayo compresión perpendicular a la fibra, muestras no expuestas a rayos UV

COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA NO EXPUESTA					
ID: 069_A_S_VIII		ID: 080_A_N_VIII		ID: 088_B_S_VIII	
CARGA MÁXIMA (kN)	0,2474	CARGA MÁXIMA (kN)	3,535756	CARGA MÁXIMA (kN)	1,938944
S	626,15	S	1444,9	S	684,78
R2	0,9789	R2	0,9948	R2	0,9914
ESFUERZO A COMP. PERPENDICULAR (σ_{ult})	1,2726	ESFUERZO A COMP. PERPENDICULAR (σ_{ult})	29,9935	ESFUERZO A COMP. PERPENDICULAR (σ_{ult})	7,3118
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUFERENCIAL (MPa)	187,26	MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUFERENCIAL (MPa)	1260,19	MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUFERENCIAL (MPa)	352,44
ID: 098_B_N_VIII		ID: 106_C_S_VIII		ID: 108_C_N_VIII	
CARGA MÁXIMA (kN)	3,46656	CARGA MÁXIMA (kN)	2,13111	CARGA MÁXIMA (kN)	11,58168
S	1868,4	S	1662,5	S	2945,9
R2	0,983	R2	0,9995	R2	0,9996
ESFUERZO A COMP. PERPENDICULAR (σ_{ult})	18,7645	ESFUERZO A COMP. PERPENDICULAR (σ_{ult})	5,1900	ESFUERZO A COMP. PERPENDICULAR (σ_{ult})	22,8332
MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUFERENCIAL (MPa)	1657,77	MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUFERENCIAL (MPa)	797,66	MÓDULO DE ELASTICIDAD CIRCUFERENCIAL (MPa)	1078,89

Fuente. Autor, 2019

Anexo 4. Registro fotográfico de los ensayos

Figura 37. Registro fotográfico ensayo a compresión paralela, probetas de 5 cm



Fuente. Autor, 2019

Figura 38. Registro fotográfico ensayo a compresión paralela, probetas de 10 cm



Fuente. Autor, 2019

Figura 39. Registro fotográfico ensayo a compresión paralela, probetas de 15 cm



Fuente. Autor, 2019

Figura 40. Registro fotográfico ensayo a compresión perpendicular a la fibra, probetas de 5 cm



Fuente. Autor, 2019

Figura 41. Registro fotográfico ensayo a compresión perpendicular a la fibra, probetas de 10 cm



Fuente. Autor, 2019

Figura 42. Registro fotográfico ensayo a compresión perpendicular a la fibra, probetas de 15 cm



Fuente. Autor, 2019