

**LA INCIDENCIA DEL TIPO DEL SUELO Y LA ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR  
EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA GUADUA (*ANGUSTIFOLIA KUNTH*)**

**DARIO ANDRES GIRALDO GIRALDO**

**ANDRÉS FELIPE TABARQUINO BUITRAGO**

**CARLOS ANDRES GARCIA**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA CIVIL**

**PEREIRA**

**2014**

**LA INCIDENCIA DEL TIPO DEL SUELO Y LA ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR  
EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA GUADUA (*ANGUSTIFOLIA KUNTH*)**

**DARIO ANDRES GIRALDO GIRALDO**

**ANDRÉS FELIPE TABARQUINO BUITRAGO**

**CARLOS ANDRES GARCIA**

**Director**

**M.Sc. MANUEL PINZÓN CANDELARIO**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA CIVIL**

**PEREIRA**

**2014**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Pereira 21, octubre de 2014**

## DEDICATORIA

*Los autores quieren dedicar este trabajo a todas las personas que aportaron su granito de arena para su realización. En especial a docentes, familiares y amigos, que con su apoyo y paciencia fortalecieron las aspiraciones profesionales de los autores.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Queremos agradecer al docente Manuel Pinzón Candelario por todo su apoyo y conocimiento.*

*A directivos y docentes de la Universidad Libre Seccional Pereira por la confianza brindada.*

*A las personas que comedidamente nos asesoraron en el Laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Tecnológica de Pereira. A ellos mil gracias.*

*Y a todas las personas que directa e indirectamente tuvieron incidencia en el feliz término de esta experiencia académica.*

*A todos, muchas gracias.*

## CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN .....   | 1  |
| 2. OBJETIVOS.....   | 5  |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL.....  | 5  |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 5  |
| 3. REFERENTES TEÓRICOS .....  | 6  |
| 3.1. RESEÑA HISTÓRICA SOBRE EL USO DE LA GUADUA EN COLOMBIA ..                                  | 6  |
| 3.2. ESTADO DEL ARTE DE LA GUADUA COMO MATERIAL INDUSTRIAL Y<br>CONSTRUCTIVO.....               | 11 |
| 3.3. MARCO TEÓRICO.....   | 15 |
| 3.3.1 Guadua angustifolia kunth .....   | 15 |
| 3.3.2 Morfología general de la guadua angustifolia .....  | 17 |
| 3.3.3 Partes de una guadua y su utilización .....   | 19 |
| 3.3.4 Propiedades físicas y mecánicas de la guadua .....  | 20 |
| 3.3.4.1 Resistencia a Flexión y Tracción .....  | 22 |
| 3.3.4.2 Esfuerzo.....   | 23 |
| 3.3.4.3 Resistencia y ensayo de compresión.....   | 23 |
| 3.3.4.4 Ensayo de dureza .....  | 26 |
| 3.3.4.5 Ensayo de flexión.....  | 27 |
| 3.3.3.6 Prueba de hipótesis entre dos medias poblacionales .....                                | 29 |
| 3.4. NORMATIVIDAD COLOMBIANA SOBRE EL USO DE LA GUADUA EN<br>EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN ..... | 30 |
| 3.5. REQUISITOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA GUADUA .....                                      | 32 |
| 4. MARCO METODOLÓGICO .....   | 34 |
| 4.1. TIPOS DE INVESTIGACIÓN.....  | 34 |
| 4.2. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.....  | 34 |
| 4.2.1 Etapa 1. (Recopilación bibliográfica).....  | 34 |
| 4.2.2 Etapa 2. (Selección de los sitios a diferente altura y tipo de suelo) .....               | 35 |
| 4.2.3 Etapa 3 (estudios propiedades mecánicas).....   | 40 |
| 4.2.4 Etapa 4 (propiedades del suelo) .....   | 42 |

|  |    |
|--|----|
| 4.2.5 Etapa 5 (proyecto) .....                                   | 42 |
| 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....                                  | 43 |
| 5.1. ESTUDIO DE COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y DUREZA.....                | 43 |
| 5.1.1 Datos recolectados de prueba de compresión.....            | 44 |
| 5.1.2 Datos recolectados de prueba de Flexión.....               | 48 |
| 5.1.3 Datos recolectados de prueba de Dureza.....                | 52 |
| 5.2. INFORMES DE ENSAYOS DE SUELOS.....                          | 56 |
| 6. CÁLCULOS DE LOS ESFUERZOS A COMPRESIÓN .....                  | 57 |
| 6.1. ESTUDIO COMPRESIÓN .....                                    | 57 |
| 6.1.1 Dosquebradas, estudio compresión de cepa .....             | 57 |
| 6.1.2 Santa Rosa de Cabal, estudio compresión de cepa .....      | 58 |
| 6.1.3 La Virginia, estudio compresión de cepa .....              | 59 |
| 6.1.4 Dosquebradas, estudio compresión basa.....                 | 60 |
| 6.1.5 Santa Rosa de Cabal, estudio compresión basa .....         | 61 |
| 6.1.6 La Virginia, compresión de basa.....                       | 62 |
| 6.1.7 Dosquebradas, compresión de sobrebasa .....                | 63 |
| 6.1.8 Santa Rosa de Cabal, compresión de sobrebasa.....          | 64 |
| 6.1.9 La Virginia, compresión de sobrebasa.....                  | 65 |
| 6.2. ESTUDIO DE FLEXIÓN .....                                    | 66 |
| 6.2.1 Dosquebradas, estudios de flexión en cepa .....            | 66 |
| 6.2.2 Santa Rosa de Cabal, estudios de flexión en cepa .....     | 67 |
| 6.2.3 La Virginia, estudios de flexión en cepa.....              | 68 |
| 6.2.4 Dosquebradas, estudios de flexión en basa .....            | 69 |
| 6.2.5 Santa Rosa de Cabal, estudios de flexión en basa .....     | 70 |
| 6.2.6 La Virginia, estudios de flexión en basa.....              | 71 |
| 6.2.7 Dosquebradas, estudios de flexión en sobrebasa .....       | 72 |
| 6.2.8 Santa Rosa de Cabal, estudios de flexión en sobrebasa..... | 73 |
| 6.2.9 La Virginia, estudios de flexión en sobrebasa.....         | 74 |
| 6.3. ESTUDIO DE DUREZA.....                                      | 75 |
| 6.3.1 Dosquebradas, estudio de dureza en cepa .....              | 75 |

|  |     |
|--|-----|
| 6.3.2 Santa Rosa de Cabal, estudio de dureza en cepa.....  | 76  |
| 6.3.3 La Virginia, estudio de dureza en cepa.....  | 77  |
| 6.3.4 Dosquebradas, estudio de dureza en basa .....  | 78  |
| 6.3.5 Santa Rosa de Cabal, estudio de dureza en basa.....  | 79  |
| 6.3.6 La Virginia, estudio de dureza en basa.....  | 80  |
| 6.3.7 Dosquebradas, estudio de dureza en sobrebasa .....   | 81  |
| 6.3.8 Santa Rosa de Cabal, estudio de dureza en sobrebasa .....                                      | 82  |
| 6.3.9 La Virginia, estudio de dureza en sobrebasa .....  | 83  |
| 7. ANÁLISIS.....   | 84  |
| 7.1. ANÁLISIS DE COMPRESIÓN.....   | 84  |
| 7.1.1. Análisis de compresión de cepa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia.....        | 84  |
| 7.1.2 Análisis de compresión de basa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia.....         | 87  |
| 7.1.3 Análisis de compresión de sobrebasa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia.....    | 89  |
| 7.2. ANÁLISIS DE FLEXIÓN.....  | 91  |
| 7.2.1. Análisis de flexión en cepa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia.....           | 91  |
| 7.2.2 Análisis de flexión en la basa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia.....         | 93  |
| 7.1.3 Análisis de flexión en la sobrebasa entre Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia..... | 95  |
| 7.3. ANÁLISIS DUREZA .....   | 97  |
| 7.3.1. Análisis de dureza de la cepa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia.....         | 97  |
| 7.3.2 Análisis de dureza de la basa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia.....          | 99  |
| 7.3.3 Análisis de dureza en la sobrebasa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia.....     | 100 |
| 7.4. ANÁLISIS DE SUELOS.....   | 102 |
| 8. RESULTADOS.....   | 106 |



|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 8.1. COMPRESIÓN.....       | 106 |
| 8.2. FLEXIÓN.....          | 107 |
| 8.3. DUREZA.....           | 108 |
| 8.4. ENSAYO DE SUELO ..... | 109 |
| 9. CONCLUSIONES .....      | 110 |
| BIBLIOGRAFÍA.....          | 112 |
| ANEXOS.....                | 115 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Campesinos junto a mulas transportando guadua. Inicios del siglo XX....  | 8  |
| Figura 2. Catedral de guadua en Pereira, año 2000. Levantada temporalmente tras el terremoto de 1999, mientras se adecuaba la catedral de Nuestra Señora de la Pobreza.. | 10 |
| Figura 3. Partes de la guadua.....   | 18 |
| Figura 4. Partes de una guadua y su utilización. ....  | 19 |
| Figura 5. Ilustración esquemática de cómo una carga de compresión produce una con tracción y una deformación lineal negativa..   | 25 |
| Figura 6. Cálculo de resistencia.....  | 27 |
| Figura 7. Ubicación del Eje Cafetero en Colombia .....   | 35 |
| Figura 8. Ubicación geográfica de La Virginia, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal..  | 36 |
| Figura 9. Ubicación de las fincas Corozal y El Vergel en el Municipio de La Virginia.....  | 39 |
| Figura 10. Ubicación de las fincas La Isabela y La Esperanza en el Municipio de Dosquebradas.....  | 40 |
| Figura 11 Ubicación de las fincas La Renata y San Camilo en el Municipio de Santa Rosa de Cabal.....   | 41 |
| Figura 13. Finca cultivo de guadua.....  | 43 |
| Figura 14. Muestras de Guadua. ....  | 43 |
| Figura 15. Prueba flexión de la guadua. ....   | 44 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Resistencia a tracción, comprensión y flexión de la guadua y otras maderas..... | 22 |
| Tabla 2. Muestra de los ensayos de comprensión.....                                      | 40 |
| Tabla 3. Muestra de los ensayos de flexión.....  | 41 |
| Tabla 4. Muestra de los ensayos de dureza.....   | 41 |
| Tabla 5. Datos de la prueba de comprensión en Dosquebradas Finca 1.....                  | 45 |
| Tabla 6. Compresión Dosquebradas Finca 2.....  | 45 |
| Tabla 7. Compresión Santa Rosa de Cabal Finca 1.....                                     | 46 |
| Tabla 8. Compresión Santa Rosa de Cabal Finca 2.....                                     | 46 |
| Tabla 9. Compresión La Virginia Finca 1.....   | 47 |
| Tabla 10. Compresión La Virginia Finca 2.....  | 47 |
| Tabla 11. Flexión Dosquebradas Finca 1.....  | 48 |
| Tabla 12. Flexión Dosquebradas Finca 2.....  | 49 |
| Tabla 13. Flexión Santa Rosa de Cabal Finca 1.....                                       | 49 |
| Tabla 14. Flexión Santa Rosa de Cabal Finca 2.....                                       | 50 |
| Tabla 15. Flexión La Virginia Finca 1.....   | 50 |
| Tabla 16. Flexión La Virginia Finca 2.....   | 51 |
| Tabla 17. Dureza Dosquebradas Finca 1.....   | 52 |
| Tabla 18. Dureza Dosquebradas Finca 2.....   | 53 |
| Tabla 19. Dureza Santa Rosa de Cabal Finca 1.....  | 53 |
| Tabla 20. Dureza Santa Rosa de Cabal Finca 2.....  | 54 |
| Tabla 21. Dureza La Virginia Finca 1.....  | 54 |
| Tabla 22. Dureza La Virginia Finca 2.....  | 55 |
| Tabla 23. Informe de suelo Dosquebradas.....   | 56 |
| Tabla 24. Informe de suelo Santa Rosa de Cabal.....                                      | 56 |
| Tabla 25. Informe de suelo La Virginia.....  | 56 |
| Tabla 26. Compresión cepa Dosquebradas Finca 1.....                                      | 57 |
| Tabla 27. Resistencia a la compresión cepa Dosquebradas Finca 2.....                     | 57 |
| Tabla 28. Compresión cepa Dosquebradas indicadores.....                                  | 57 |
| Tabla 29. Compresión cepa Santa Rosa de Cabal Finca 1:.....                              | 58 |
| Tabla 30. Compresión cepa Santa Rosa de Cabal Finca 2.....                               | 58 |
| Tabla 31. Compresión cepa Santa Rosa indicadores.....                                    | 58 |
| Tabla 32. Compresión cepa La Virginia Finca 1.....                                       | 59 |
| Tabla 33. Compresión cepa La Virginia Finca 2.....                                       | 59 |
| Tabla 34. Compresión cepa La Virginia indicadores.....                                   | 59 |
| Tabla 35. Compresión basa Dosquebradas Finca 1.....                                      | 60 |
| Tabla 36. Compresión basa Dosquebradas Finca 2.....                                      | 60 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 37. Compresión basa Dosquebradas indicadores .....            | 60 |
| Tabla 38. Compresión basa Santa Rosa de Cabal Finca 1 .....         | 61 |
| Tabla 39. Compresión basa Santa Rosa de Cabal Finca 2 .....         | 61 |
| Tabla 40. Compresión basa Santa Rosa de Cabal indicadores.....      | 61 |
| Tabla 41. Compresión basa La Virginia Finca 1 .....                 | 62 |
| Tabla 42. Compresión basa La Virginia Finca 2 .....                 | 62 |
| Tabla 43. Compresión basa La Virginia indicadores.....              | 62 |
| Tabla 44. Compresión sobrebasa Dosquebradas Finca 1 .....           | 63 |
| Tabla 45. Compresión sobrebasa Dosquebradas.....                    | 63 |
| Tabla 46. Compresión sobrebasa Dosquebradas indicadores .....       | 63 |
| Tabla 47. Compresión sobrebasa Santa Rosa de Cabal Finca 1 .....    | 64 |
| Tabla 48. Compresión sobrebasa Santa Rosa de Cabal Finca 2 .....    | 64 |
| Tabla 49. Compresión sobrebasa Santa Rosa de Cabal indicadores..... | 64 |
| Tabla 50. Compresión sobrebasa La Virginia Finca 1 .....            | 65 |
| Tabla 51. Compresión sobrebasa La Virginia Finca 2 .....            | 65 |
| Tabla 52. Compresión sobrebasa La Virginia indicadores.....         | 65 |
| Tabla 53. Flexión cepa Dosquebradas Finca 1 .....                   | 66 |
| Tabla 54. Flexión cepa Dosquebradas Finca 2.....                    | 66 |
| Tabla 55. Flexión cepa Dosquebradas, indicadores .....              | 66 |
| Tabla 56. Flexión cepa Santa Rosa de Cabal Finca 1 .....            | 67 |
| Tabla 57. Flexión cepa Santa Rosa de Cabal Finca 2.....             | 67 |
| Tabla 58. Flexión cepa Santa Rosa indicadores.....                  | 67 |
| Tabla 59. Flexión cepa La Virginia Finca 1 .....                    | 68 |
| Tabla 60. Flexión cepa La Virginia Finca 2 .....                    | 68 |
| Tabla 61. Flexión cepa La Virginia indicadores .....                | 68 |
| Tabla 62. Flexión basa Dosquebradas Finca 1 .....                   | 69 |
| Tabla 63. Flexión basa Dosquebradas Finca 2.....                    | 69 |
| Tabla 64. Flexión basa Dosquebradas indicadores .....               | 69 |
| Tabla 65. Flexión basa Santa Rosa de Cabal Finca 1 .....            | 70 |
| Tabla 66. Flexión basa Santa Rosa de Cabal Finca 2.....             | 70 |
| Tabla 67. Flexión basa Santa Rosa de Cabal indicadores .....        | 70 |
| Tabla 68. Flexión basa La Virginia Finca 1 .....                    | 71 |
| Tabla 69. Flexión basa La Virginia Finca 2 .....                    | 71 |
| Tabla 70. Flexión basa La Virginia indicadores .....                | 71 |
| Tabla 71. Flexión sobrebasa Dosquebradas Finca 1 .....              | 72 |
| Tabla 72. Flexión sobrebasa Dosquebradas Finca 2.....               | 72 |
| Tabla 73. Flexión sobrebasa Dosquebradas indicadores .....          | 72 |
| Tabla 74. Flexión sobrebasa Santa Rosa de Cabal Finca 1 .....       | 73 |
| Tabla 75. Flexión sobrebasa Santa Rosa de Cabal Finca 2.....        | 73 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 76. Flexión sobrebasa Santa Rosa de Cabal indicadores ..... | 73  |
| Tabla 77. Flexión sobrebasa La Virginia Finca 1 .....             | 74  |
| Tabla 78. Flexión sobrebasa La Virginia Finca 2 .....             | 74  |
| Tabla 79. Flexión sobrebasa La Virginia indicadores.....          | 74  |
| Tabla 80. Dureza cepa Dosquebradas Finca 1 .....                  | 75  |
| Tabla 81. Dureza cepa Dosquebradas Finca 2.....                   | 75  |
| Tabla 82. Dureza cepa Dosquebradas indicadores .....              | 75  |
| Tabla 83. Dureza cepa Santa Rosa de Cabal Finca 1 .....           | 76  |
| Tabla 84. Dureza cepa Santa Rosa de Cabal Finca 2 .....           | 76  |
| Tabla 85. Dureza cepa Santa Rosa indicadores.....                 | 76  |
| Tabla 86. Dureza cepa La Virginia Finca 1 .....                   | 77  |
| Tabla 87. Dureza cepa La Virginia Finca 2 .....                   | 77  |
| Tabla 88. Dureza cepa La Virginia indicadores .....               | 77  |
| Tabla 89. Dureza basa Dosquebradas Finca 1 .....                  | 78  |
| Tabla 90. Dureza basa Dosquebradas Finca 2.....                   | 78  |
| Tabla 91. Dureza basa Dosquebradas indicadores .....              | 78  |
| Tabla 92. Dureza basa Santa Rosa de Cabal Finca 1 .....           | 79  |
| Tabla 93. Dureza basa Santa Rosa de Cabal Finca 2.....            | 79  |
| Tabla 94. Dureza basa Santa Rosa de Cabal indicadores .....       | 79  |
| Tabla 95. Dureza basa La Virginia Finca 1 .....                   | 80  |
| Tabla 96. Dureza basa La Virginia Finca 2 .....                   | 80  |
| Tabla 97. Indicadores estadísticos para La Virginia:.....         | 80  |
| Tabla 98. Dureza sobrebasa Dosquebradas Finca 1 .....             | 81  |
| Tabla 99. Dureza sobrebasa Dosquebradas Finca 2.....              | 81  |
| Tabla 100. Dureza sobrebasa Dosquebradas indicadores .....        | 81  |
| Tabla 101. Dureza sobrebasa Santa Rosa de Cabal Finca 1 .....     | 82  |
| Tabla 102. Dureza sobrebasa Santa Rosa de Cabal Finca 2 .....     | 82  |
| Tabla 103. Dureza sobrebasa Santa Rosa de Cabal indicadores ..... | 82  |
| Tabla 104. Dureza sobrebasa La Virginia Finca 1 .....             | 83  |
| Tabla 105. Dureza sobrebasa La Virginia Finca 2 .....             | 83  |
| Tabla 106. Dureza sobrebasa La Virginia Indicadores .....         | 83  |
| Tabla 107. Altura sobre el nivel del mar.....                     | 85  |
| Tabla 108. Ensayo de suelos.....                                  | 102 |
| Tabla 109. Análisis de compresión .....                           | 106 |
| Tabla 110. Análisis Flexión .....                                 | 107 |
| Tabla 111 . Dureza .....  | 108 |
| Tabla 112. Ensayo de suelo .....                                  | 109 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|   |     |
|---|-----|
| Gráfico 1. Promedio compresión cepa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia .....                            | 84  |
| Gráfico 2. Promedio compresión basa .....   | 87  |
| Gráfico 3. Promedio de compresión en la parte de la sobrebasa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia: ..... | 89  |
| Gráfico 4. Promedio flexión cepa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia .....                               | 91  |
| Gráfico 5. Promedio de flexión en basa .....  | 93  |
| Gráfico 6. Flexión en la sobrebasa entre Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia: .....                         | 95  |
| Gráfico 7. Promedio de dureza de la cepa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia .....                       | 97  |
| Gráfico 8. Promedio de dureza de la basa de la guadua entre Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia .....       | 99  |
| Gráfico 9. Dureza en la sobrebasa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia .....                              | 100 |
| Gráfico 10. pH del suelo de Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia.  | 102 |
| Gráfico 11. M.O del suelo de Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia .....                                      | 103 |
| Gráfico 12. N del suelo de Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia...   | 103 |
| Gráfico 13. K del suelo de Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia...   | 104 |
| Gráfico 14. K del suelo de Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia...   | 104 |
| Gráfico 15. Mg del suelo de Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia   | 105 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|  |     |
|--|-----|
| Ecuación 1. Esfuerzo de compresión.....      | 24  |
| Ecuación 2. La deformación nominal .....     | 24  |
| Ecuación 3. Esfuerzo de Flexión.....         | 29  |
| Ecuación 4. Distribución “t - student” ..... | 30  |
| Ecuación 5. Prueba de hipótesis 1.....       | 86  |
| Ecuación 6. Prueba de hipótesis 2.....       | 86  |
| Ecuación 7. Prueba de hipótesis 1.....       | 88  |
| Ecuación 8. Prueba de hipótesis 2.....       | 88  |
| Ecuación 9. Prueba de hipótesis 1.....       | 90  |
| Ecuación 10. Prueba de hipótesis 2.....      | 90  |
| Ecuación 11. Prueba de hipótesis 1.....      | 92  |
| Ecuación 12. Prueba de hipótesis 2.....      | 92  |
| Ecuación 13. Prueba de hipótesis 1.....      | 94  |
| Ecuación 14. Prueba de hipótesis 2.....      | 94  |
| Ecuación 15. Prueba de hipótesis 1.....      | 96  |
| Ecuación 16. Prueba de hipótesis 2.....      | 96  |
| Ecuación 17. Prueba de hipótesis 1.....      | 98  |
| Ecuación 18. Prueba de hipótesis 2.....      | 98  |
| Ecuación 19. Prueba de hipótesis 1.....      | 101 |
| Ecuación 20. Prueba de hipótesis 2.....      | 101 |

## RESUMEN

El trabajo se encuentra soportado metodológica y conceptualmente en otros trabajos que han precedido el estudio la guadua en la región. El trabajo está estructurado en siete secciones. La primera de ellas está conformada por los capítulos preliminares, en donde se describen los objetivos, la justificación y el planteamiento del problema. La segunda sección corresponde al marco teórico y de referencia. En este se desglosan los conceptos básicos con los que se aborda las características y propiedades físicas y mecánicas de la guadua y se describe el estado del arte en lo que hace referencia al estudio de la guadua como material de construcción. Un breve recorrido a la normatividad nacional respecto al uso de la guadua como material de construcción complementa este acápite.

En la sección tercera se abordan los marcos metodológicos que soportaron el estudio técnico, con sus respectivas fases y las diversas técnicas de recolección de información. Los resultados y sus correspondientes análisis se presentan en el cuarto apartado, en el que se desglosan los componentes y las variables con sus respectivos diagnósticos y evaluaciones de las propiedades de la guadua en los diferentes tipos y escalas de suelo. Finalmente, las conclusiones y las recomendaciones encuentran cabida en la cuarta y la última sección del documento.

**Palabras clave:** Guadua angustifolia, estudio compresión, estudio flexión, estudio dureza, ensayo de suelos



## 1. INTRODUCCIÓN

Aunque está más que documentado que la guadua (*angustifolia kunth*) fue un elemento de gran importancia para los indígenas precolombinos del actual territorio de Colombia y la base de la construcción de villas y ciudades durante los años venideros, también es cierto que desde inicios del siglo XX este importante elemento arquitectónico fue relegado por la irrupción de productos como el acero y el cemento, entrando de tal forma en una especie anonimato en el campo de la construcción y la arquitectura.

A raíz del terremoto de 1999 en la zona occidental de Colombia, que destruyó miles de estructuras de cemento de las ciudades de Armenia y Pereira, dejando consigo un centenar de muertos y heridos, las escuelas de ingeniería y arquitectura del país volcaron su mirada a la guadua, ya que inesperadamente fueron las construcciones realizadas en bahareque (en cementado, guadua y madera) y las construcciones en guadua las que mejor soportaron la onda de energía sísmica.

Por tal motivo, se puede asegurar que la guadua y el bambú como elemento esencial en el campo de la ingeniería en Colombia es una práctica que está tomando importancia. Incluso sus condiciones de conservación, su óptima resistencia y por sus propiedades han cautivando a la comunidad científica alemana, italiana y holandesa, por lo que en los últimos años le ha denominado a la guadua como el “acero vegetal”.

La guadua *angustifolia kunth* ha hecho parte de la cultura cafetera a lo largo de siglos. Desde los tiempos precolombinos, pasando por la época de colonización antioqueña a mediados del siglo XIX, pasando por siglo XX, hasta el día de hoy, ha sido un elemento clave en la construcción de poblados y otros proyectos de orden urbano del suroccidente del país.

La guadua es considerada un material de gran utilidad para la construcción debido a que presenta un alto factor de sismo-resistencia a causa de su liviandad, lo que le permite disminuir peso a la construcción. Así mismo, las fibras exteriores de la guadua la hacen muy resistente a fuerzas axiales.

La relación entre peso o carga máxima y su forma tubular (apto para fuerzas axiales) la hacen un material perfecto para estructuras espaciales en donde solo trabajan dichas fuerzas axiales. El rápido crecimiento de la hace económicamente muy competitiva frente a otros materiales y es un elemento bastante beneficioso que se encuentra en grandes cantidades en el Eje cafetero colombiano.

Los distintos sismos registrados en la historia colombiana y principalmente el ocurrido en el año de 1999 en el eje cafetero, demostraron el buen práctica sísmico de estructuras construidas con guadua<sup>1</sup>, pero también han hecho evidente los errores cometidos por su utilización inadecuada. Esto motiva a la introducción de parámetros estandarizados para el diseño de este tipo de estructuras, que incluyan la definición de valores de esfuerzos admisibles y exijan un control de calidad del material usado durante la construcción.

Si bien la guadua angustifolia kunth ha sido empleada tradicionalmente en la construcción, su uso ha sido restringido principalmente a prácticas artesanales con poco sustento técnico. Aunque no es un material nuevo, hay que decir que la documentación con respecto a su comportamiento estructural y biológico desde aspectos ambientales es bastante reducido.

No obstante, es sabido que el comportamiento de la guadua puede variar mucho con respecto a la especie, a la edad, al contenido de humedad y a la parte del culmo o de la sección que se esté utilizando, y que puede crecer en casi cualquier tipo de suelo y altura a nivel de mar. Sin embargo, en los últimos años en Colombia, en especial en el Eje cafetero, la guadua ha sido sometida a grandes presiones que ha ocasionado su deforestación y que la han llevado a ser reemplazada por actividades agropecuarias; de extensas áreas existentes de guadua se ha pasado a pequeñas manchas boscosas ubicadas en las orillas de los ríos y en los bosques húmedos de las laderas de montaña, especialmente en los departamento de Quindío, Risaralda, Caldas, Tolima, Vallé del Cauca, Cundinamarca y Santander.

---

<sup>1</sup> JIMÉNEZ, Carlos. Al eje cafetero lo mató el abuso de casas en concreto. En: El Tiempo. Bogotá, 11 de febrero. [En línea] [Consultado el 5 de octubre, 2014] Disponible en: [www.eltiempo.com](http://www.eltiempo.com)

A pesar de que la guadua angustifolia ha penetrado directa e indirectamente en casi todos los ámbitos de la vida regional, su uso se ha reducido en los últimos años a causa de la presencia de nuevos materiales que cuentan con una mayor característica física en cuanto a tener una mejor durabilidad y resistencia y cuyo comercio representa intereses económicos abiertamente impulsados desde grandes firmas urbanísticas de la construcción.

Bajo este panorama la guadua angustifolia presenta la extraña particularidad de ser en los últimos años materia de estudio desde diferentes disciplinas académicas, debido a sus propiedades y usos, pero presenta una notable disminución en la zona, especialmente por la irrupción y consolidación de nuevas economías de la construcción.

Esta actualidad lleva a interrogar sobre el tipo de afectación que puede causar la diversidad geográfica (ms.n.m. y tipo de suelo) en su resistencia, más cuando se sabe que la guadua angustifolia es sembrada en diferentes regiones del país. Así mismo, merece indagar sobre qué tipos de suelos es más resistente la guadua y cómo afecta este cambio a la guadua en sus partes (base, sobre-base y sepa).

Estas ventajas, no obstante, son poco aprovechadas y los recursos forestales son repulsados y devastados por una falta de conciencia. Indagar acerca de la incidencia que los aspectos ambientales tienen sobre las características de la guadua surge de la necesidad por conocer si estos inciden en su utilidad como elemento de construcción. Debido al auge de la construcción con guadua en Colombia es necesario desarrollar estudios que dictaminen sus propiedades físicas en distintas regiones y suelos del país, más cuando aún existe un sobrediseño por falta de conocimiento en las propiedades físico mecánicas de la guadua.

La importancia del uso de recursos forestales como la guadua, tiene su connotación en los beneficios que su uso “racional” trae al medio ambiente. El uso de estos materiales incentiva la reforestación y el aprovechamiento de por sí valiosos recursos renovables.

En efecto, la presente investigación surge a raíz del compromiso ambiental que en la actualidad las diferentes disciplinas científicas manifiestan frente a los recursos naturales.

Es sabido que la reforestación de bosques para la explotación industrial y arquitectónica presta servicios a los ecosistemas, como la protección de los suelos ante la erosión, la liberación de grandes cantidades de oxígeno, el aseguramiento del hábitat de la fauna, y la retención del dióxido de carbono que contamina y que cada vez más se produce en el planeta.

Bajo este panorama, una región como la “cafetera” tiene todas las ventajas para la explotación de sus recursos forestales, ya que cuenta con una posición geográfica excepcional, contando con un clima templado propicio para su desarrollo, además de la variedad y la gran cantidad de superficie cultivable con la que cuenta. Esta ventaja implica que el uso de este valioso material se dé por medio de procedimientos de diseño valores de resistencias, elasticidad, flexión, dureza y otros procesos encaminados a desarrollar estructuras sismo-resistentes, funcionales y estéticas para la construcción civil.

Lo anterior se hace obvio al observar construcciones con guadua angustifolia kunth en la zona cafetera que se caracterizan por tener características aún rupestres, bastante artesanales, que están lejos de sacar el máximo beneficio que este eficiente material ofrece. El aprovechamiento de la guadua mediante la tecnología daría lugar a la fabricación de elementos con cualidades que permitan su uso con fines estructurales, sin olvidar, las ventajas formales y estéticas que tienen estos materiales, tales como la textura, el color y la forma.

Así, el conocimiento de este material implica el paso por una evaluación que mida su aptitud en una aplicación de construcciones, por lo que es menester determinar un sistema de análisis que aproveche las cualidades del material y sea consecuente con sus posibilidades para la ingeniería.

Bajo este panorama el presente trabajo tiene como objeto indagar por las propiedades de la guadua teniendo como variable de análisis la escala de pisos térmicos y el tipo de suelos en tres territorios distintos del país. Para ello se propone una investigación cuantitativa y descriptiva con las respectivas fases de análisis de fuentes secundarias, información primaria, trabajo de campo y los respectivos ensayos y resultados.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

Investigar la incidencia que tiene el tipo del suelo y altura al nivel de mar (m.s.n.m.) en las propiedades mecánicas de las diferentes partes (basa, sobre basa, cepa) de la guadua (*Angustifolia kunth*).

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer tres sitios con diferentes condiciones de suelo y de metros sobre el nivel del mar m.s.n.m.
- Determinar la influencia de m.s.n.m., y del suelo en la resistencia a compresión, flexión y dureza sobre las diferentes partes (basa, sobre basa y cepa) de la guadua (*angustifolia kunth*)
- Realizar el análisis comparativo de las propiedades mecánicas de suelo en las diferentes condiciones.

### 3. REFERENTES TEÓRICOS

#### 3.1. RESEÑA HISTÓRICA SOBRE EL USO DE LA GUADUA EN COLOMBIA

Dice Jörg Stamm que cuando en 1801 el botánico Alejandro von Humboldt viajó por Colombia, describió asombrado la gran abundancia de bosques dominados por bambúes. La planta la encontró desde el valle del río Cauca hasta en el remoto Orinoco, describiéndola como “una caña gruesa como la pierna de un hombre”<sup>2</sup>.

La importancia de la guadua en la vida de los aborígenes que poblaron lo que hoy se conoce como el territorio del Viejo Caldas y las regiones vecinas no ofrece ningún tipo de dudas, como tampoco el extenso uso que tuvo este bambú en otras áreas de Colombia y América.

Los cronistas que acompañaron a los conquistadores españoles las describieron así:

Estas guadúas son muy gruesas cañas, huecas y altas sobre seis estados, de que rodean mucho sus cabañas [...] Tal planta es que nunca lleva fruto ni de viciosa hoja se cobija, sino ramo de puntas mal instruto [...] son cañas, altas, huecas pero duras tanto que no tendré por gran exceso comparallas en estas esciptura a la dureza del humano hueso: largos cañutos son sus coyunturas, como muslo de un hombre lo mas [sic] grueso<sup>3</sup>.

Sin embargo, años más tarde, en 1822, el botánico alemán Karl Sigismund Kunth después de un detallado estudio, dedujo que este bambú americano era único y

---

<sup>2</sup> STAMM, Jörg. Expansión de la guadua y cambios climáticos históricos. En: LÓPEZ, Carlos y CANO, Martha (compiladores). Cambios ambientales en perspectiva histórica. Vol. I. Pereira: UTP-GTZ, 2004, p. 92.

<sup>3</sup> Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia (Tesis de Doctorado de doctorado en Construcción - Restauración y Rehabilitación Arquitectónica). Universidad de Cataluña. Barcelona, 2006, p. 13

diferente, por lo el nuevo género cambió su nombre de *Bambuso guadua* al nombre científico de *Angustifolia Kunth*<sup>4</sup>.

Aunque los indígenas hicieron importante uso de la guadua durante la época precolombina para construir sus poblados, hay que decir que la guadua en Colombia fue pieza fundamental durante el proceso poblacional ocurrido en el suroccidente del país durante el periodo de la colonización antioqueña. La guadua contribuyó con sus versátiles propiedades a agilizar el proceso de poblamiento de las comunidades emigrantes que finalmente establecieron en la hoya geográfica del cauca, ciudades como Pereira, Manizales y Armenia, que hoy se constituyen entre las más importantes del país, forjaron su estructura urbana a partir del uso de este material<sup>5</sup>.

La guadua fue además un vegetal que desempeñó un significativo rol como especie protectora de las cuencas hidrográficas, y como un componente imprescindible para el desarrollo socio cultural de la población del eje cafetero, tal como se ve en la Figura 1. Por medio de la guadua se encontró solución efectiva a la hora de erigir sencillos puentes para conectar territorios y comunidades. Actualmente, el uso de este material se ha intensificado y las técnicas de ensamble han evolucionado hasta permitir el diseño y construcción de estructuras más sofisticadas, estéticas, funcionales y seguras<sup>6</sup>.

Siguiendo con la reseña histórica, hay que anotar que durante el siglo XIX y principios del siglo XX las nuevas técnicas constructivas establecidas en Colombia fueron bastante variadas y separadas regionalmente en muchos casos: “arquitectura de madera en las costas, basada en influencias propias del área del Caribe, la cual se trasladó a la costa pacífica a través de las rutas comerciales del canal de Panamá; arquitectura de piedra y ladrillo en el interior; arquitectura de guadua en la región de la colonización antioqueña”<sup>7</sup>.

---

<sup>4</sup> STAMM. Op. Cit., p. 92

<sup>5</sup> FONSECA, Lorenzo y SALDARRIAGA, Alberto. Arquitectura popular en Colombia. Bogotá: Altamir ediciones, 1992, p. 23

<sup>6</sup> REVISTA M & M. Puentes en guadua: Pasos sobre material constructivo eficiente. [En línea] [Consultado el 4 de octubre de 2014] Disponible en: [www.revista-mm.com](http://www.revista-mm.com)

<sup>7</sup> ROBLEDO, Jorge Enrique. La Ciudad en la Colonización Antioqueña: Manizales. Manizales: Editorial Universidad Nacional EUN, 1996, p.96.



Figura 1. Campesinos junto a mulas transportando guadua. Inicios del siglo XX. Fuente: Fondo Fotográfico Birkigt, Biblioteca Nacional de Colombia

Como lo plantea Edgar Giraldo y Aureliano Sabogal, respecto a los usos históricos de la guadua en la región cafetera:

Desde su llegada al Quindío los colonos encontraron a porrillo la guadua, especie de bambú gigantesco y la utilizaron para hacer sus casas, sus camas, los instrumentos musicales, la banqueta, la tapia del fogón, el aparador, el tarro de sal, el cedazo, el parapeto para la piedra de moler, los burros típicos para el juego de los, las estacas y talanqueras del potrero, las canoas que conducen el agua limpia desde la acequia, el lavadero, la puerta de trampas, el granero en conclusión la guadua fue y ha sido el único soporte de aquella raza, el símbolo de la civilización en estas tierras, como la porcelana en Asia, la piedra en Europa y el hierro y el cemento en Estados Unidos<sup>8</sup>.

Jaime Jaramillo en Historia de Pereira, describe que la múltiple utilización de la guadua en la significativa emigración antioqueña hacia el sur del país. Jaramillo denominó el desarrollo de este proceso colonizador como “la cultura dela guadua”. El profesor dice:

---

<sup>8</sup> GIRALDO HERRERA, Edgar y SABOGAL, Aureliano. La guadua una alternativa sostenible, publicación de la corporación autónoma regional del Quindío. Armenia: CRQ Quindío, p. 33.



“De las valiosas maderas de sus bosques –comino, cedro, laurel, guayacanes, nogales, robles-, una fue decisiva para la colonización: la guadua. Ella facilitó la rápida formación de las aldeas y fue todo en la vida rural. La facilidad de la cortada, traspuntarla, pulirla y manejarla hizo más rápidas todas las operaciones de construcción”<sup>9</sup>.

De tal manera que la misma condición geográfica del país, fue factor determinante para que la zona antioqueña y cafetera desarrollara una arquitectura rural construida con guadua” que posteriormente influyó en la arquitectura urbana de la misma región y se convirtió en una de las tradiciones más firmes y existentes en el país. La guadua ha servido a la religión de distintas maneras, tal cual como se ve en la figura 2, sirviendo para la construcción de una catedral. La arquitectura de la guadua y de la “colonización antioqueña”, dice Jorge Enrique Robledo, fue un fenómeno gestado y desarrollado ampliamente durante el siglo XIX, en el que se conjugan herencias hispánicas con vestigios de una tradición prehispánica, la construcción en guadua y los insumos propios del siglo XIX<sup>10</sup>.

La entrada del siglo XX en Colombia trajo consigo la inserción del país en los mercados mundiales y con eso la irrupción primaria y leve del capitalismo. Los centros urbanos de las pequeñas ciudades comenzaron a modificar sus apariencias por estilos modernos. La tapia pisada y el bahareque en la zona de la colonización antioqueña y las técnicas y conceptos de la construcción colonial en el centro del país dieron paso a la arquitectura republicana de los años XX, conformado por materiales modernos traídos desde Europa<sup>11</sup>.

---

<sup>9</sup> VILLEGAS, Marcelo. Bambusa guadua. Bogotá: Villegas Editores, 1989, p. 21

<sup>10</sup> Ibíd.

<sup>11</sup> BIBLIOTECA VIRTUAL BANCO DE LA REPÚBLICA. Arquitectura Republicana. [En línea] [Consultado el 4 de octubre de 2014] Disponible en:

<http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/todaslasartes/arca/arca03aa.htm>

ver también: ROBLEDO, Jorge Enrique. La Ciudad en la Colonización Antioqueña: Manizales. Manizales: Editorial Universidad Nacional EUN, 1996, p.96.



Figura 2. Catedral de guadua en Pereira, año 2000. Levantada temporalmente tras el terremoto de 1999, mientras se adecuaba la catedral de Nuestra Señora de la Pobreza. Fuente: Tomada de la web.

Se suma a ello que en los años 40 se da la consolidación del modelo de construcción estadounidense con base en el cemento y el acero, lo que produjo que en el país la guadua y otros materiales artesanales quedaran relegados a prácticas constructivas marginales o netamente rurales. De tal forma que los años 50 y 60 del siglo XX, momento en el que se da la explosión y crecimiento demográfico de las ciudades en Colombia, a causa del desplazamiento campesino por la violencia partidista, las ciudades se forjaron con cemento y ladrillo, relegando el uso de la guadua parcialmente del panorama urbano durante buena parte del siglo XX<sup>12</sup>.

Sin duda alguna el terremoto de 1999 (que destruyó miles de estructuras de cemento de las ciudades de Armenia y Pereira, dejando consigo un centenar de muertos y heridos) hizo que las diferentes disciplinas de la ingeniería profesional volcaran su mirada a la guadua, ya que inesperadamente fueron las construcciones realizadas en bahareque (en cementado, guadua y madera) y las edificaciones en guadua las que mejor soportaron la onda de energía sísmica.

---

<sup>12</sup> TORRES, Jaime y SALAZAR, Luz. Introducción a la historia de la ingeniería y de la educación en Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2002, p. 93

Bajo esta circunstancia a inicios del siglo XXI la guadua adquiere un renovado posicionamiento como material de construcción (un ejemplo de ello se ve en la Figura 2). Sus múltiples cualidades y propiedades han llevado a que en los últimos años varios proyectos urbanísticos a nivel nacional tengan a la guadua como principal elemento.

En Armenia, por ejemplo, fueron innumerables los proyectos que se construyeron en Guadua, los que realizaron con fondos del FOREC y de las ayudas internacionales que llegaron para la reconstrucción de las poblaciones ubicadas en la zona de influencia del desastre, en la mayoría de estas construcciones la guadua fue utilizada como material principal, tanto para soportar la estructura, como para los cerramientos de las construcciones —tal y como se describía en el párrafo anterior— entre estos proyectos se puede citar barrios residenciales, como el barrio “el italiano”<sup>13</sup>.

### **3.2. ESTADO DEL ARTE DE LA GUADUA COMO MATERIAL INDUSTRIAL Y CONSTRUCTIVO**

Sin duda el terremoto de 1999 que sacudió las principales ciudades de la región del Viejo Caldas, denotó un punto de inicio para la consolidación de la guadua como material moderno de construcción. Esto ha traído consigo un crecimiento mayúsculo de nuevas investigaciones en torno al material en universidades, institutos de investigación y entidades dedicadas a preservar los recursos naturales.

En relación con el estado del arte, específicamente de investigaciones y publicaciones referentes al tema en cuestión, a continuación se relaciona algunos de los más importantes trabajos en torno al estudio de la guadua como material de construcción civil.

Los estudios adelantados en Colombia para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del bambú guadua angustifolia tienen sus orígenes en la década de 1970 con los trabajos “Elementos de concreto reforzado con guadua” de Fernando Merino y otros;

---

<sup>13</sup> SALAS, Eduardo. Op. Cit.

“Concreto reforzado con guadua Universidad” de Daniel Díaz Sasiain, Antonio Faccini Freymond y Jairo Rojas Peña; “Determinación de la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la Guadua de Castilla” de José Virgilio Martín B y Lelio Mateus, y el trabajo “Construcción de guadua” de Margarita Trujillo y Juan Peláez, entre otros.

Estos trabajos de investigación son considerados como documentos históricos además de pioneros de los estudios modernos de las propiedades constructivas de la guadua, tal como son las publicaciones de Oscar Hidalgo, catalogado como una autoridad a nivel mundial en el tema del bambú, autor de un importante número de publicaciones acerca del uso de la guadua en Colombia, como un valioso aporte desde el punto de vista académico e investigativo. “Nuevas técnicas de construcción con bambú” y “Concreto reforzado con cables de bambú”, ambos publicados en 1978.

A mediados del decenio de 1980 surgen estudios importantes como “Vivienda típica prefabricada en concreto reforzado con bambú” de Miguel Jaimes y Gilberto Torre, realizado en la Universidad de Santander; “Guadua y madera aplicadas a nuevas tecnologías de vivienda popular en Caldas” de Jorge Arcila Losada y otros, realizado en Manizales; “Estudio de comportamiento de elementos estructurales de suelo-cemento reforzado con Bambusa guadua sometidos a flexión” de Ernesto Sánchez, realizado en Bogotá, son trabajos que muestran una primera diversificación geográfica para el estudio técnico de la guadua en Colombia.

Los años 90 llegan con el buen estudio de Jorge Enrique Robledo, “La Ciudad en la Colonización Antioqueña: Manizales”, un trabajo muy bien documentado y con carácter histórico sobre la incidencia de la guadua en la configuración arquitectónica de las ciudades del eje cafetero.

Por estos años, 1996, se publica el estudio “Industrialización de la construcción de viviendas en guadua” de Juan Carlos Aristizabal y otros; Jorge Botero publica “Los muros en guadua: una alternativa económica en las soluciones de vivienda” y “Urbanización Dihoma: Barcelona Quindío” de Alejandro Pinto. Propuesta con cierta caracterización desarrollista e impulsados y desarrollados entre universidades y Estado.

“Resistencia a la flexión de la Guadua angustifolia Kunth a escala natural” de Eugenia González es otra propuesta que surge un año después del terremoto de 1999. Ese mismo año Luis Fernando Campos Saab publica “Metodología para la evaluación de procesos constructivos en vivienda de interés social para zonas semirurales”; Jorge Gómez Quintero firma “Sistema semi-industrializado de construcciones en guadua, madera y materiales alternativos”; y “Comportamiento sismo – resistente de estructuras en bahareque” de Mario Silva y Luis Felipe López son algunos de los trabajos que cierran la década del 2000 en materia de tecnología de la construcción – tecnología de los materiales.

Posteriormente en el año 2001, la investigación titulada: “Comportamiento de elementos y ensambles contruidos con bahareque de madera y guadua” sirvió como base para la redacción del “Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado” (AIS), el cual fue incluido en el capítulo E7 de la NSR-98 (decreto 52 de 2002). El manual se presentó en Ravello (Italia) y fue recibido con mucho interés por considerarlo una evolución, técnicamente rigurosa, de una cultura sísmica local<sup>14</sup>.

Dos años más tarde, aparecen las obras de la casa editorial Villegas Editores, que ha realizado publicaciones acerca de la bambusa guadua en Colombia, en las cuales se resalta la obra del pionero de los estudios de construcción de la guadua en Colombia, Simón Vélez. La primera edición publicada en el año 1985, la segunda edición en 1996 y la última edición en el 2003.

Recientemente el estudio “El Bambú como material estructural: análisis de un caso práctico” de Alonso Rodríguez y Estefan Morales es una importante investigación que participa en la búsqueda por encontrar nuevas formas para el uso del bambú. La idea principal de la investigación es aplicar al bambú las técnicas modernas de estructuras livianas, espaciales y flexibles del acero o la madera. De allí que los autores investiguen sistemas estructurales que respondan a las pautas de diseño: aprovechamiento de la longitud y flexibilidad natural del bambú; control de su curvatura; aumento de la rigidez

---

<sup>14</sup> CASTRILLÓN, Brigitte Matilde y MALAVER, Diego. Procedimientos de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la guadua. Trabajo de grado Facultad De Ingeniería Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2004, p. 94

flexional; superación de la escala natural del material para salvar grandes luces; posibilidad de generación de diferentes configuraciones espaciales; utilización de materiales de bajo costo y fácil obtención y empleo de mano de obra no especializada.

En el 2006 se publica “Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de Guadua angustifolia” de Luis Edgar Moreno Montoya, Lina Rocío Osorio Serna y Efraín Eduardo Trujillo De los Ríos, investigación que abarcó la determinación de las propiedades mecánicas de los haces de fibra de Guadua angustifolia en función de tres factores: edad del culmo, altura del culmo y espesor de pared, con el propósito de evaluar la posibilidad de que dichos haces puedan ser utilizados como fase de refuerzo en materiales compuestos.

Otro trabajo a considerar en la actualidad es el de Luis Octavio González Salcedo, “Elementos para la caracterización mecánica de la guadua angustifolia kunth”, en el que se hace una descripción de los elementos para la caracterización de las propiedades mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth, basado en una extensa revisión bibliográfica de investigaciones desde 1950 hasta 2005.

En el proyecto “Determinación de la rigidez de un tipo de conexión viga-columna en guadua Angustifolia”, Fabián Augusto Lamus Báez y Caori Patricia Takeuchi presentan los resultados obtenidos para el valor de rigidez a flexión para una conexión entre dos elementos en guadua angustifolia. En la investigación los autores ensayaron 15 conexiones viga-columna construidas a escalas naturales y sometidas a ensayos pseudo-estáticos de carga y descarga. A partir de los datos experimentales se construyeron las curvas momento-giro para cada una de las probetas ensayadas y se determinó la rigidez de la conexión como la pendiente de dichas curvas.

En 2007 se publica “Estudio de las características físicas de haces de fibra de guadua angustifolia” por Luis Edgar Moreno, Efraín E. Trujillo y Lina Rocío Osorio, artículo que presenta los resultados obtenidos del estudio de características físicas de haces de fibra de Guadua angustifolia, tales como: porcentaje de contenido de humedad, porcentaje de absorción de agua, densidad aparente promedio, forma de la sección transversal y

textura superficial. Esta caracterización se hizo con el fin de comparar los resultados obtenidos con características similares de otras fibras naturales y sintéticas y evaluar la factibilidad de utilizar los haces de fibra estudiados como posible material de refuerzo de materiales compuestos. Para lograr este objetivo fue necesario utilizar diferentes técnicas de caracterización de materiales sencillas y sofisticadas.

Recientemente el estudio “Efecto del contenido de humedad en la resistencia a tensión paralela a la fibra del bambú *Guadua Angustifolia Kunth*” de Mateo Gutiérrez-González y, Caori Patricia Takeuchi-Tam la investigación se tomaron muestras de 10 culmos obtenidos de 3 regiones de Colombia. Se seleccionaron tramos de las diferentes partes de la guadua en altura: cepa, basa y sobrebasa. De cada tramo se extrajeron como mínimo siete probetas, las cuales conservaban características muy similares ya que provenían de la misma sección de bambú y se ensayaron con diferente contenido de humedad. La determinación de la resistencia a tensión paralela a la fibra y el contenido de humedad del material, se hizo siguiendo los procedimientos de la Norma Técnica Colombiana NTC 5525. El estudio encontró que la resistencia a tensión paralela a la fibra no se ve afectada en el rango de contenido de humedad en el que el material es usado como elemento estructural en construcciones.

### **3.3. MARCO TEÓRICO**

#### ***3.3.1 Guadua angustifolia kunth***

La guadua es una gramínea nativa, de una amplia distribución en América, donde ha cumplido un importante papel ambiental, cultural y económico. Esta hierba es fácil de utilizar y cuenta con numerosos usos, en Colombia se le encuentra ampliamente dispersa, conformado rodales casi puros que cumplen indiscutible efecto protector sobre el suelo y las aguas contribuyendo a su recuperación y conservación

Se caracteriza por su resistencia, durabilidad y su fácil manejo, ha sido denominado el acero vegetal. Su crecimiento es muy ligero alcanzando en cinco años la altura de treinta metros. En el clima adecuado, como, puede crecer hasta once centímetros al día y lograr

su altura total en seis meses. Es un recurso sostenible y renovable, que se auto multiplica vegetativamente, sin necesidad de semillas para reproducirse.

La guadua angustifolia kunth es considerada un recurso natural muy importante. En los últimos años se ha utilizado este material en las construcciones por sus características de resistencia, flexibilidad y dureza; como prueba de esto, varias universidades empezaron a realizar estudios más a fondo para conocer más de la misma.

La guadua compone el género de bambú nativo más importante de América tropical, es habitual de este continente, con aproximadamente 30 especies distribuidas desde México hasta Argentina, las que se pueden encontrar en un rango de altitud que va desde el nivel del mar hasta los 2.200 ms.n.m. Es calificada el tercer bambú más grande del mundo, superada solo por dos especies asiáticas<sup>15</sup>.

En Colombia se encuentran 5 formas gigantes, denominadas guadua: guadua macana, guadua cebolla, guadua castilla, guadua cotuda y guadua amarilla.

Según la definición de A. Arbeláez, la guadua es una gramínea gigante que puede alcanzar 30 metros de altura o más y cuyo diámetro puede variar de uno a 22 centímetros<sup>16</sup>. Morfológicamente en una guadua angustifolia se pueden distinguir las siguientes partes: raíz, tallo, flores, hojas, y frutos, sin embargo, es el tallo, y particularmente el culmo, el que tradicionalmente se ha aprovechado para diferentes aplicaciones<sup>17</sup>.

Según la descripción de Luis Moreno, Lina Osorio y Efraín Trujillo, el culmo se origina en el ápice del rizoma, y una vez brota del suelo lo hace cubierto de hojas caulinares con el diámetro máximo que tendrá de por vida:

---

<sup>15</sup> MORENO MONTROYA, Luis Edgar, OSORIO, Lina Rocío y TRUJILLO DE LOS RÍOS, Efraín Eduardo. Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de Guadua angustifolia. En: Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte. No. 20, 2006, p. 125-133,

<sup>16</sup> ARBELÁEZ, Alonso. La estructura morfológica del culmo de la Guadua Angustifolia Kunth. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1998, p. 3-18.

<sup>17</sup> LONDOÑO, Xavier. La Guadua un bambú importante de América. En: Memorias Primer Seminario Bambú, Guayaquil, Ecuador, 8-10 de agosto de 2001.



Dependiendo de las condiciones climáticas, edáficas y de la época de brotamiento, demora entre 4 a 6 meses para desarrollar su altura definitiva. El culmo de esta especie es un cilindro hueco y adelgazado dividido en segmentos o internodos separados por diafragmas (nodos), que en conjunto con una pared maciza dan al tallo una increíble resistencia mecánica. Los internodos pueden alcanzar diámetros entre 10 y 14 cm y alturas entre 17 y 23 m<sup>18</sup>.

### **3.3.2 Morfología general de la *guadua angustifolia***

La estructura de una guadua varía dependiendo de la especie, variedad o biotipo a la cual pertenezca, así mismo como en alturas, diámetros, y forma de los nudos facilitándose así su clasificación. La guadua (Figura 3 y 4) *angustifolia* se divide en las siguientes partes:

**Rizoma:** Es un tallo modificado, subterráneo, que conforma el soporte de la planta. Es el lugar por donde la guadua absorbe los nutrientes. Se ha utilizado en estabilización de las laderas y prevención de la erosión producida por escorrentía, vientos fuertes y desmoronamiento. El rizoma es la estructura soporte de la planta. Consta de dos partes: el cuello del rizoma, que carece de yemas; y del rizoma en sí, que es subterráneo y tiene raíces, yemas y brácteas<sup>19</sup>.

Normalmente los rizomas alcanzan profundidades de anclaje entre 1 y 3 metros.

**Cepa:** Es la parte del culmo con mayor diámetro y espesores de pared mayores; Posee una longitud de 4 metros. Las distancias de cañutos son las más cortas y en la construcción se les utiliza para columnas, portes y cercas<sup>20</sup>.

---

<sup>18</sup> MORENO, OSORIO y TRUJILLO. Op. Cit., p. 126

<sup>19</sup> PEREA, Jairo (coordinador). Evaluación y documentación de prácticas sobresalientes sobre el manejo de la cosecha y maduración de la guadua en el departamento del Huila. Neiva: Ministerio De Agricultura y Desarrollo Rural- FUNDAIN, 2003, p. 8

<sup>20</sup> OBSERVATORIO AGROCADENAS COLOMBIA. La Cadena de la Guadua en Colombia. Bogotá, Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2003, p. 2001

**Basa:** El diámetro es intermedio y la distancia entre nudos es mayor que en la cepa; es la parte del culmo de la guadua que más se utiliza; tiene una longitud aproximada de 11 metros<sup>21</sup>.

**Sobrebasa:** El diámetro es menor y la distancia entre nudos es un poco mayor, comprado con la basa, la longitud es de aproximadamente cuatro metros. Puede ser usada en la construcción o para obtener esterilla de un menor ancho.

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

**Copa:** Es la parte apical de la guadua, con una longitud entre 1,20 a 2,00 metros.

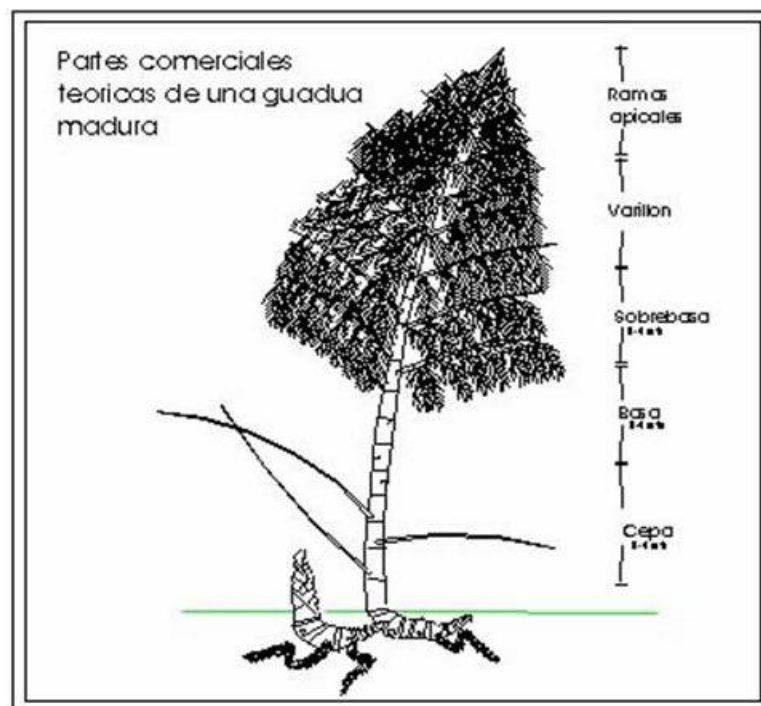


Figura 3. Partes de la guadua. Fuente: PEREA, Jairo. Evaluación y documentación de prácticas sobresalientes sobre el manejo de la cosecha y maduración de la guadua en el departamento del Huila.

<sup>21</sup> Ibíd.

### 3.3.3 Partes de una guadua y su utilización

La Figura 4 se describe cada una de las partes de la guadua, así como algunas de sus características físicas.

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

Figura 4. Partes de una guadua y su utilización. Fuente: CIVILGEEKS. La Guadua, acero vegetal y prodigio de la naturaleza [En línea]

### **3.3.4 Propiedades físicas y mecánicas de la guadua**

La guadua es sin duda un material ligero, de fácil y económico desarrollo en muchas regiones de la geografía colombiana, por lo que requiere de un uso adecuado a partir de parámetros de diseño apoyados en sus particulares propiedades físicas y mecánicas, de procesos de preservación si fuese necesario.

Las propiedades físico-mecánicas de la guadua son la expresión de su comportamiento bajo la acción de fuerzas externas; este comportamiento depende de la clase de fuerza aplicada y de la estructura de la misma. En general, estas propiedades son las que determinan la aptitud de la madera para propósitos de construcción y para innumerables usos como artesanías, entre otros<sup>22</sup>.

Según la definición de Luis González en su estudio Elementos para la caracterización mecánica de la guadua angustifolia kunth:

La guadua es un material poroso de origen vegetal y constituido por células, sus fibras están dispuestas axial y longitudinalmente, es un material anisotrópico ya que sus propiedades físicas, mecánicas y de laborabilidad 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 humedad. Todo esto hace que la guadua se comporte similar a la madera y por esta razón se ha referenciado con los estudios de la madera para la determinación de propiedades físicas y mecánicas para la guadua<sup>23</sup>.

---

<sup>22</sup> LUNA, Patricia y otros. Metodología de diseño de estructuras en guadua angustifolia como material estructural por el método de esfuerzos admisibles. Revista Educación en Ingeniería. No. 11, junio de 2011, pp. 66-75

<sup>23</sup> GONZÁLEZ, Luis. Elementos para la caracterización mecánica de la guadua angustifolia kunth. [En línea] [Consultada el 05 de octubre de 2014] Disponible en: [http://www.bambubrasileiro.com/arquivos/articulo\\_gonzalez\\_caracterizacion\\_mecanica\\_gadua.pdf](http://www.bambubrasileiro.com/arquivos/articulo_gonzalez_caracterizacion_mecanica_gadua.pdf)

Luis González expone como punto de partida para el conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de esta especie vegetal la realización de pruebas en las que se tomen las condiciones de ensayo de las normas colombianas sobre maderas establecidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC y las normas de la American Society for Testing and Materials ASTM (ver más adelante en el apartado Marco legal)<sup>24</sup>.

Hay que decir que la guadua por su esbeltez, durante su crecimiento es sometida a grandes y constantes cargas de viento. Los tabiques de entrenado producen rigidez y elasticidad, evitan su ruptura al curvarse (característica apropiada para construcciones sismorresistentes). Su crecimiento cónico constituye una desventaja, ya que se obtienen secciones de diámetros variables, pero a través de un proceso de cultivo de invernadero es posible obtener grosores secuencialmente que logren facilitar la resolución de uniones la bambusa guadua es abundante en el eje cafetero colombiano, su rápido crecimiento constituye una de sus principales ventajas. Es un material económico muy resistente a los esfuerzos de compresión, tracción y flexión<sup>25</sup>.

Las propiedades mecánicas de la guadua dependen de las características físicas del material que en particular sea utilizado construcción y no corresponden a valores absolutos o comparables con otras muestras, ya que las condiciones varían notablemente. Estos gráficos (Tabla 1) corresponden sólo a un esquema comparativo general ya que casi siempre, para un mismo material sus resistencias pueden variar<sup>26</sup>.

---

<sup>24</sup> Ibíd.

<sup>25</sup> RODRÍGUEZ, Alonso y MORALES, Estefan. El Bambú como material estructural: análisis de un caso práctico. Escuela Politécnica Superior, 2005 [En línea] [Consultado el 5 de octubre de 2005] Disponible en: <http://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/1128>

<sup>26</sup> Ibíd.

Tabla 1. Resistencia a tracción, compresión y flexión de la guadua y otras maderas.

| Unidades en Kg/cm <sup>2</sup> | Resistencia a tracción | Resistencia a compresión |                     | Resistencia a flexión |
|--------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|
|                                |                        | Perpendicular a la fibra | Paralelo a la fibra |                       |
| MATERIAL                       |                        |                          |                     |                       |
| <b>GUADUA</b>                  | 430                    | 560                      | 650                 | 740                   |
| <b>ALISO</b>                   | 108                    | 68                       | 357                 | 460                   |
| <b>ARBOLOCO</b>                | 500-1500               | 132                      | 405                 | 390                   |
| <b>OTRAS MADERAS</b>           | 1000                   | 50-144                   | 400                 | 500-720               |

Fuente: BANDA, Mabely y SALAS, Eduardo. El sistema constructivo del Pabellón Zeri (p. 30)

A continuación se ofrecen algunas definiciones de tipo técnico, tomadas del estudio El Bambú como material estructural: análisis de un caso práctico, de Alonso Rodríguez y Estefan Morales<sup>27</sup>, en relación con la resistencia del material, cuando está sometida a diferentes esfuerzos dentro de una construcción.

#### **3.3.4.1 Resistencia a Flexión y Tracción<sup>28</sup>**

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

<sup>27</sup> Ibíd.

<sup>28</sup> Ibíd., p. 31

### **3.3.4.2 Esfuerzo**

Es una fuerza expresada con base en la unidad medida de área.

### **3.3.4.3 Resistencia y ensayo de compresión<sup>29</sup>**

Se presenta cuando la fuerza actúa acortando una dimensión o reduciendo el Volumen del cuerpo en cuestión; se define como la fuerza total de compresión dividida por el área de la sección transversal de la pieza sometida al esfuerzo. La compresión paralela a la fibra o al grano, está implicada en muchos usos de la guadua, en columnas, postes, puntales para minas y todos aquellos casos donde la madera está sometida a cargas (ver Figura 5 y Anexo B). Del ensayo de compresión perpendicular se obtienen datos para el cálculo de esfuerzo de las fibras al límite proporcional (EFLP), que es el esfuerzo máximo en compresión que la madera puede soportar sin deformarse, máxima resistencia a la compresión y el módulo de la elasticidad.

La resistencia del bambú a la compresión es relativamente alta, pero carece de significado si no se especifica el grado de sazónamiento y la relación entre la longitud y el diámetro de la pieza. Estos estudios se realizan si las fuerzas que operan en servicio son de este tipo. Un ensayo de compresión se realiza de forma similar a un ensayo de tracción, es decir, se deforma una probeta con una carga de compresión que aumenta gradualmente y que es aplicada uniáxicamente a lo largo del eje de la probeta. Generalmente la sección de la probeta es circular, pero también se utilizan probetas de sección rectangular. Al aplicar la fuerza compresiva a la probeta, esta se contraerá a lo largo de la dirección de la fuerza. El esfuerzo de compresión se calculará mediante la siguiente fórmula:

---

<sup>29</sup> *Ibíd.*, p. 31

Ecuación 1. Esfuerzo de compresión

$$\sigma = F/A_0$$

$\sigma$  = tensión nominal cuyas unidades son libras fuerza por pulgada cuadrada (lbf / pulg<sup>2</sup>) o megapascuales (MPa = 106N /m<sup>2</sup>)

F= la carga instantánea aplicada perpendicularmente a la sección de la probeta, en unidades de newton (N) o libras fuerza (lbf)

A<sub>0</sub>= es el área de la sección original antes de aplicar la carga (m<sup>2</sup>o pulg<sup>2</sup>).

La deformación nominal se define como:

Ecuación 2. La deformación nominal

$$\epsilon = (l_i - l_0) / l_0 = \Delta l / l_0$$

$\epsilon$  = es la deformación nominal que no posee unidades, aunque a veces se expresa como porcentaje, esto es, el valor de la deformación multiplicado por 100,

l<sub>0</sub> =es la longitud antes de aplicar la carga

l<sub>i</sub>= es la longitud instantánea<sup>30</sup>.

Algunas veces la cantidad l<sub>i</sub> – l<sub>0</sub> se indica simplemente mediante  $\Delta l$ , y es el alargamiento producido por deformación o cambio en longitud en un instante determinado, con respecto a la longitud inicial. Como l<sub>0</sub> es mayor que l<sub>i</sub>.

Las deformaciones de compresión serán necesariamente negativas. En la mayoría de los materiales utilizados en aplicaciones estructurales, se obtiene muy poca información adicional a partir del ensayo de compresión, por eso se suele usar más frecuentemente el ensayo de tracción. Los ensayos de compresión se utilizan cuando se desea conocer el

---

<sup>30</sup> Ibíd.



comportamiento del material bajo deformaciones permanentes grandes (o sea plásticas), tal como ocurren en los procesos de conformación, o bien cuando el material tiene un comportamiento frágil a tracción.

Es importante definir el grado de sazónamiento puesto que como en la madera, la humedad disminuye la rigidez de las células fibrosas, trayendo consigo una disminución de las propiedades mecánicas, sobre todo en compresión y flexión. Si la longitud del culmo es suficientemente grande con respecto a la mínima sección transversal, la resistencia bajo carga compresiva disminuye considerablemente por efecto de flexión de columna (pandeo).

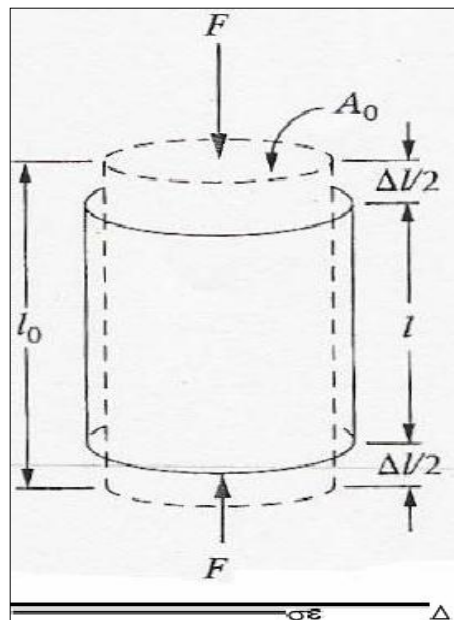


Figura 5. Ilustración esquemática de cómo una carga de compresión produce una con tracción y una deformación lineal negativa. Fuente: PEREA, Jairo. Evaluación y documentación de prácticas sobresalientes sobre el manejo de la cosecha y maduración de la guadua en el departamento del Huila.

En el estudio de Alonso Rodríguez y Estefan Morales se recomiendan entre otros aspectos los siguientes:

- Seleccionar el material a utilizar, descartando todos aquellos elementos que presenten defectos tales como grietas, curvaturas y daños producidos por agentes exteriores.
- Utilizar como valor del módulo de elasticidad  $E = 90913 \text{ kg/cm}^2$
- Recomienda un factor de seguridad  $FS = 3.0$  para el esfuerzo de la compresión paralela a la fibra<sup>31</sup>.

#### **3.3.4.4 Ensayo de dureza**

En el artículo Acerca del ensayo de dureza, el ensayo de dureza es definido como uno de los más empleados a la hora de la selección y control de calidad de los materiales. Intrínsecamente la dureza es una condición de la superficie del material y no representa ninguna propiedad fundamental de la materia<sup>32</sup>. Este ensayo físico mide la resistencia a la penetración sobre la superficie de un material efectuado por un objeto duro. Interesa entre otros fines para determinar las propiedades de los aceros y los tratamientos, composiciones o tipos de aceros más adecuados para un fin determinado. Nos permite establecer las causas de fracaso puestos en servicios y determinar si el material ha de ser reemplazado por otro<sup>33</sup>.

El ensayo de dureza es simple, de alto rendimiento ya que no destruye la muestra y particularmente útil para evaluar propiedades de los diferentes componentes microestructurales de la materia<sup>34</sup>.

---

<sup>31</sup> *Ibíd.*

<sup>32</sup> SANTOS, Eulogio y otros. Acerca del ensayo de dureza. Industrial Data, 2001, No.4, Vol. 2, p. 73

<sup>33</sup> RODRÍGUEZ y MORALES. Op. Cit.

<sup>34</sup> SANTOS y otros. Op. Cit., p. 73

Escala de dureza mineralógico resistencia que oponen los cuerpos a ser rayados y el primer aparato que se utilizó para ensayar la dureza de los cuerpos fue el Esclerómetro de Martens. El procedimiento más simple y más extendido para apreciar la dureza de los metales fue el Ensayo de la lima, comparando el esfuerzo necesario para el rayado o la profundidad de la huella se pueden clasificar con cierta aproximación la dureza de distintos materiales. Existen muchos métodos con mayor precisión para medir la dureza de los materiales, entre ellos, los más comunes son los de Brinell, Rockwell, Vickers y Shore.

### 3.3.4.5 Ensayo de flexión

Es un ensayo complementario del de tracción para algunos materiales, ya que sólo se realiza en piezas que van a ser sometidas a esfuerzos de flexión (figura 6). Las probetas son cilíndricas y rectangulares normalmente, aunque también puede realizarse sobre probetas cuadradas.

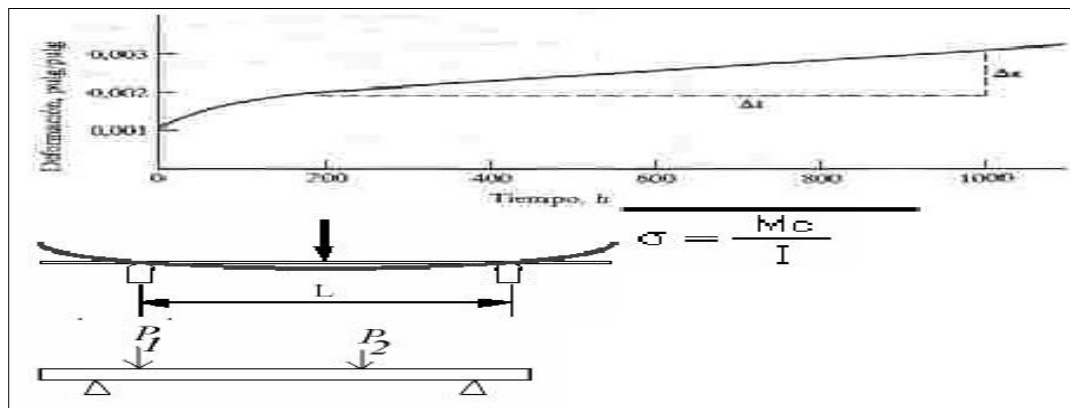


Figura 6. Cálculo de resistencia. Fuente: PEREA, Jairo. Evaluación y documentación de prácticas sobresalientes sobre el manejo de la cosecha y maduración de la guadua en el departamento del Huila.

Los miembros que soportan cargas perpendiculares a sus ejes longitudinales se llaman vigas. Debido a las cargas aplicadas, las vigas desarrollan un momento flexionante que

varía punto a punto a lo largo del eje de la viga. El ensayo consiste en someter las probetas apoyadas libremente por los extremos a un esfuerzo aplicado en el centro o dos iguales aplicados a la misma distancia de los apoyos. Normalmente el ensayo se realiza colocando dos rodillos con la separación  $L=20d$ , siendo  $d$  el diámetro de la probeta. En la figura adyacente se reproduce un pequeño esquema de este ensayo.

Los miembros que soportan cargas perpendiculares a sus ejes longitudinales se llaman vigas. Debido a las cargas aplicadas, las vigas desarrollan un momento flexionante que varía punto a punto a lo largo del eje de la viga. El ensayo consiste en someter las probetas apoyadas libremente por los extremos a un esfuerzo aplicado en el centro o dos iguales aplicados a la misma distancia de los apoyos. Normalmente el ensayo se realiza colocando dos rodillos con la separación  $L=20d$ , siendo  $d$  el diámetro de la probeta. En la figura adyacente se reproduce un pequeño esquema de este ensayo. Como convenio tomamos el signo del momento flexionante positivo si este genera compresión en las fibras superiores de la viga. La fórmula de la flexión que sirve para calcular el esfuerzo normal es la siguiente:

Donde  $\sigma$  es el esfuerzo normal,

M: es el momento interno resultante,

I: es el momento de inercia

C: distancia perpendicular desde el eje neutro (es el eje de la barra que no experimenta un cambio de longitud) al punto donde estamos calculando el esfuerzo.

Para el ensayo de flexión sometemos una barra a presión sin que falle por pandeo o por corte antes de llegar a su máxima resistencia por flexión, para que esto suceda la viga bajo ensayo no debe ser demasiado corta con respecto al peralte ni tampoco demasiado largo.

La investigación Resultados del ensayo a flexión en muestras de bambú de la especie, plantea que el esfuerzo de Flexión en el Bambú para culmos se determina de acuerdo ISO 22 157-1:2004 *Bamboo – Determination of physical and mechanical properties – Part 1*, con un test de flexión que se realiza aplicando la carga perpendicular al eje del culmo. Con especímenes de Bambú, en éste caso Guadua se determina la capacidad de flexión

de los culmos en cuatro puntos, la carga versus la curva de reflexión vertical y el (MOE) Módulo de Elasticidad. Para éstas pruebas de Flexión se empleó la Norma DIN EN 52 186 usada para maderas<sup>35</sup>.

Ecuación 3. Esfuerzo de Flexión

$$\sigma_{ult} = F * L * \frac{D}{2} * \frac{1}{6} * I; \quad \text{MPa (ó N/mm}^2\text{)}$$

Donde:  $\sigma_{ult}$  : El esfuerzo último de flexión, se expresa con una precisión de 1 MPa ( N/mm<sup>2</sup>)

$F$  : La máxima carga aplicada en N. (el total de carga aplicada en dos puntos de carga).

$L$  : El espacio libre entre apoyos en mm.

$D$  : Diámetro externo en mm.

$I$  : El momento de inercia en mm<sup>4</sup><sup>36</sup>.

### **3.3.3.6 Prueba de hipótesis entre dos medias poblacionales**

Cuando se realiza una investigación con base a una muestra de una población se obtienen estimadores que únicamente caracterizan dicha muestra y para poder concluir sobre la población en general con base a estos estimadores se deben generar unas hipótesis y aplicar las técnicas de inferencia respectivas que permitan validar la información obtenida y así poder hablar de la población generalizada.

Siempre que se realice una prueba de hipótesis se está sujeto a dos tipos de errores debido a que los datos se apoyan de una muestra. Cuando el tamaño de la muestra es

---

<sup>35</sup> GONZÁLEZ, Héctor, MONTROYA, Jorge y BEDOYA, José Rubiel. Resultados del ensayo a flexión en muestras de bambú de la especie. En: Scientia et Technica. Año XIII, No. 35, agosto de 2007, p. 503

<sup>36</sup> Ibíd.

inferir a los 30 datos se presenta una mayor variabilidad por lo tanto se debe aplicar la distribución “t - student” que está diseñada para minimizar el impacto de la variabilidad usando la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Distribución “t - student”

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - D_0}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$\bar{X}$  =media,  $n$  =muestra, S=desviación estándar y D= Valor de prueba

### 3.4. NORMATIVIDAD COLOMBIANA SOBRE EL USO DE LA GUADUA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

La ley 1400 de 1984 (Código Colombiano de Construcciones Sismo-resistentes) fue quizá el primer intento del Estado colombiano por regular la construcción de edificaciones a nivel nacional. Esta surgió a raíz de los graves daños presentados en el terreno de Popayán, que puso en cuestión la necesidad de replantear la calidad de construcción del sector urbano. Sin embargo, la norma se enfocó en las construcciones consideradas edificaciones “nuevas” o edificaciones compuestas por concreto, acero y ladrillo y no en materiales tradicionales como la madera, el bahareque y la guadua<sup>37</sup>.

Iniciando el decenio de 1990 y con la participación de asociaciones gremiales y profesionales de la construcción se logró actualizar las normas de diseño y construcción sismorresistente dando como resultado la Norma Sismorresistente de 1998 (NSR-98 Ley 400 /97 Decreto 33 / 98 Y Decreto 34 /99), ampliándose las normas desde el título G hasta el K, donde fue incluido el tema de las maderas, este último tema, basado en el

<sup>37</sup> CASTRILLÓN y MALAVER. Op. Cit., p. 28

Manual de Diseño Para Maderas del Grupo Andino de la junta del acuerdo de Cartagena<sup>38</sup>.

Esto significa que Colombia cuenta con una normatividad para la construcción sismorresistente relativamente nueva, aunque no es menos importante considerar que al comienzo, las normas sismorresistentes del país fueron traducciones de normas norteamericanas como es el caso del código del American Concrete Institute (ACI 318-77)<sup>39</sup>.

Posteriormente en el año 2001 se publica el Manual de Construcción Sismo Resistente de Viviendas en Bahareque Encementado (AIS), el cual fue incluido en el capítulo E7 de la NSR-98 (decreto 52 de 2002). El manual se presentó en Ravello (Italia) y fue recibido con mucho interés por considerarlo una evolución, técnicamente rigurosa, de una cultura sísmica local<sup>40</sup>.

Es importante anotar que existe una Norma Unificada en Guadua de febrero del 2002, que reglamente el manejo, aprovechamiento y establecimiento de la guadua, caña brava y bambúes por las Corporaciones Autónomas del Eje Cafetero, Valle y el Tolima<sup>41</sup>.

En la actualidad se encuentran pocas referencias de normativas aplicadas al diseño en guadua; en el año 1998 la Norma de Diseño Sismo Resistente NSR-98 (AIS, 1998), en el capítulo E-7 contempla el uso de la guadua como parte esencial para la conformación de muros de bahareque encementado pero no establece parámetros de diseño de estructuras usando guadua rolliza como material estructural; en el año 2004 la norma ISO 22156 (ISO, 2004) estableció una metodología para el diseño de estructuras en bambú por esfuerzos admisibles y por resistencia última, sin embargo, no especifica valores

---

<sup>38</sup> Ibíd.

<sup>39</sup> Ibíd.

<sup>40</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SISMÍCA AIS – FOREC. Manual de Construcción Sismo Resistente de Viviendas en Bahareque Encementado. [En línea] [Consultado el 5 de octubre de 2014] Disponible en:

[http://www.desenredando.org/public/libros/2001/csrve/gadua\\_lared.pdf](http://www.desenredando.org/public/libros/2001/csrve/gadua_lared.pdf)

<sup>41</sup> MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE REPÚBLICA DE COLOMBIA. Proyectos manejo sostenible de bosques en Colombia. Convenio 020 de 2001. Bogotá, 2001.

admisibles o de resistencia última; en el año 2006 el ICONTEC publica la Norma Técnica Colombiana NTC5407<sup>42</sup>

El documento Guías de diseño para estructuras en Guadua Angustifolia Kunth, en el que se consigna la metodología de diseño resultado del trabajo realizado en el desarrollo del proyecto de investigación Validación de la Guadua Angustifolia como material estructural para diseño, por el método de los esfuerzos admisibles” se utilizó como material base del Capítulo G.12 del nuevo Reglamento de Diseño Sismo Resistente NSR-10<sup>43</sup>.

En el año 2006 el ICONTEC publica la Norma Técnica Colombiana NTC5407 en la cual se hace una descripción cualitativa de las diferentes uniones que pueden ser usadas para la conformación de estructuras en guadua. Solo hasta el año de 2010 la guadua fue reconocida como material estructural en Colombia, siendo incluida en el nuevo Reglamento de Diseño Sismo Resistente NSR-10 en el Capítulo G.12, estableciendo los requisitos de diseño estructural para edificaciones que usan Guadua Angustifolia Kunth como material principal limitando su uso a estructuras de vivienda, comercio, industria y educación con altura máxima de dos pisos<sup>44</sup>.

De igual forma cada guadua utilizada en la construcción de edificaciones debe contar con algún procedimiento de preservación para conservar sus características y propiedades a lo largo del tiempo; los procedimientos de preservación permitidos son los contemplados en la Norma Técnica Colombiana NTC5301.

### **3.5. REQUISITOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA GUADUA<sup>45</sup>**

El objeto de los aprovechamientos no sólo es económico, deben obedecer a una planificación forestal para lograr un rendimiento sostenido. Para el aprovechamiento de todo gradual es indispensable obtener el permiso de la correspondiente Corporación

---

<sup>42</sup> CASTRILLÓN y MALAVER. Op. Cit., p 28

<sup>43</sup> LUNA y otros. Op. Cit., p. 74

<sup>44</sup> Para la redacción de este capítulo se utilizó como material base el documento “Guías de diseño para estructuras en Guadua Angustifolia Kunth” producto del proyecto “Validación de la Guadua Angustifolia como material estructural para diseño, por el método de los esfuerzos admisibles” desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia. LUNA y otros. Op. Cit., p. 67

<sup>45</sup> Tomado textualmente de RDORÍGUEZ y MOREALEZ. Op. Cit.



Regional, cuya solicitud se debe presentar ante la División de Gestión Ambiental o al respectivo Promotor Ambiental del Municipio.

Esta debe contener: identificación del solicitante, localización y extensión del predio, clase de permiso y productos a obtener y se deben anexar los siguientes documentos:

- Escritura del predio
- Certificado de delimitación
- Si el solicitante no es el propietario debe presentar la correspondiente autorización y plano de la finca.

Para permisos mayores de 1000 guaduas, se solicitará la presentación por parte del interesado de un estudio técnico de aprovechamiento y reposición del guadual, realizado por un Ingeniero Forestal.

La resolución es emitida por la Entidad fijando una serie de obligaciones que el solicitante debe cumplir, tales como:

- Realizar los cortes por encima del primer nudo basal como se ilustra más adelante.
- Efectuar el aprovechamiento dentro del área fijada
- Aprovechar la cantidad autorizada
- Realizar el aprovechamiento dentro del plazo estipulado
- Cumplir las recomendaciones que exige la Corporación para cada caso
- Permitir el acceso de los funcionarios de la Corporación al predio para efectos de control.

## **4. MARCO METODOLÓGICO**

### **4.1. TIPOS DE INVESTIGACIÓN**

La investigación fue cuantitativa pues se llevó a cabo varios estudios de los cuales se tomaron muestras a un grupo de guadas (*angustifolia kunth*) en diversas regiones del Eje Cafetero (ver Figuras 7, 8, 9, 10 y 11), en cuanto al diámetro, altura y nivel de maduración, con el fin de evaluar el comportamiento de la guada (*angustifolia kunth*) y recolectar datos que sean de utilidad para llevar a cabo posibles construcciones.

También planteó un modelo de investigación descriptiva en razón a que este proyecto estuvo encaminado a especificar las propiedades más importantes de la guada (*angustifolia kunth*) y de sus partes que la integran para determinar cuál aporta más a las condiciones físico-mecánicas.

### **4.2. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN**

El proyecto contó con unas etapas, que indicaron el proceso al seguir en cada una de ellas.

#### ***4.2.1 Etapa 1. (Recopilación bibliográfica)***

##### **Actividad 1 (Revisión de información secundaria)**

Se obtuvo información de libros, proyectos de grado, artículos científicos e internet.

##### **Actividad 2 (Información primaria)**

Se contó con la colaboración de profesores y personas expertas de tema.

#### 4.2.2 Etapa 2. (Selección de los sitios a diferente altura y tipo de suelo)

##### Actividad 1

El proyecto se realizó en el eje cafetero colombiano (figura 7 y 8), donde se localizó específicamente en los municipios de La Virginia, Santa Rosa de Cabal y Dosquebradas. Se tomó como referencia 2 cultivos con diferentes condiciones de suelo a una altura de 932 m.s.n.m. (La Virginia) como se puede apreciar en la figura 9.



Figura 7. Ubicación del Eje Cafetero en Colombia. Fuente: tomado de la web.

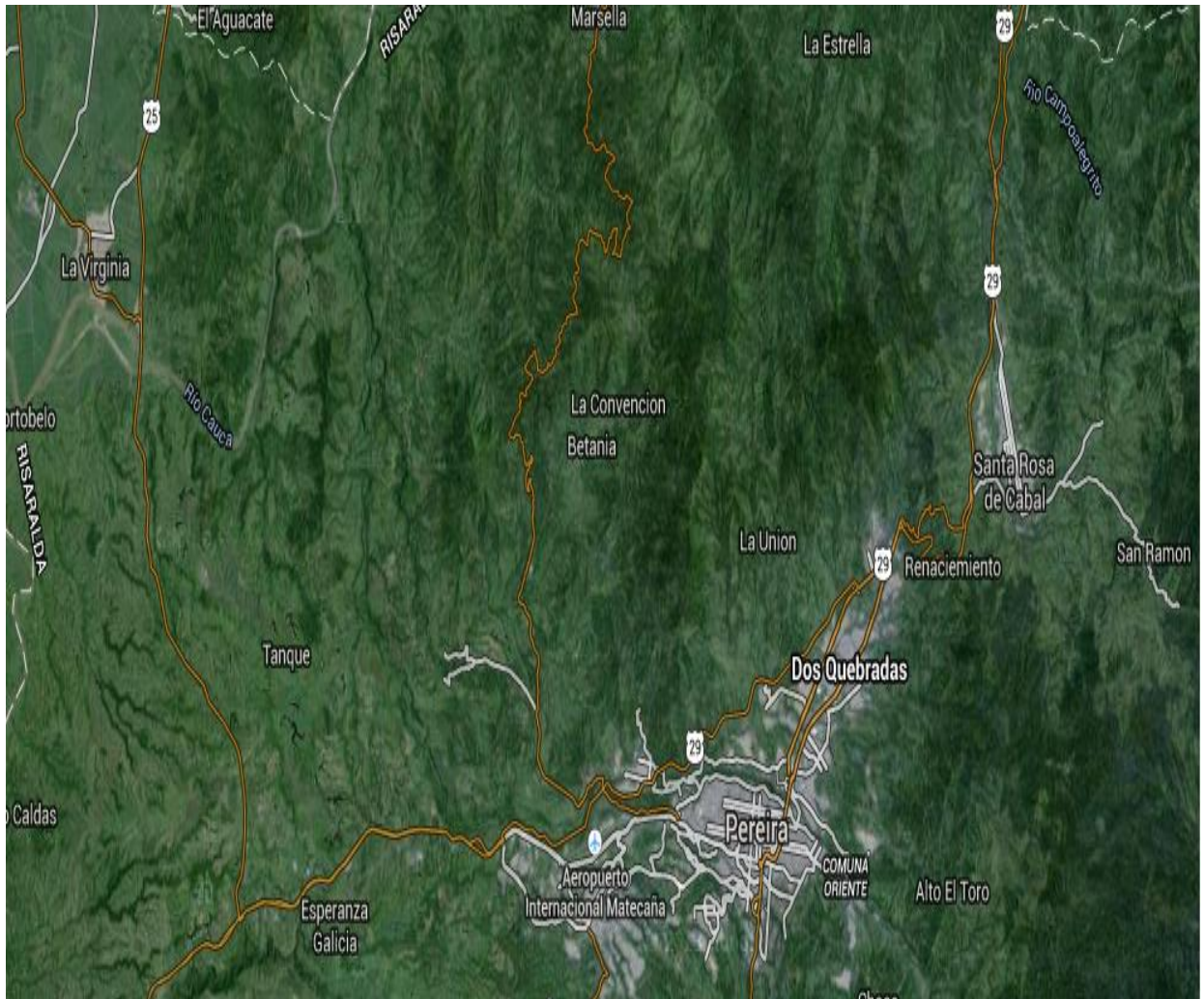


Figura 8. Ubicación geográfica de La Virginia, Dosquebradas y Santa Rosa de cabal. Fuente: Google Maps.

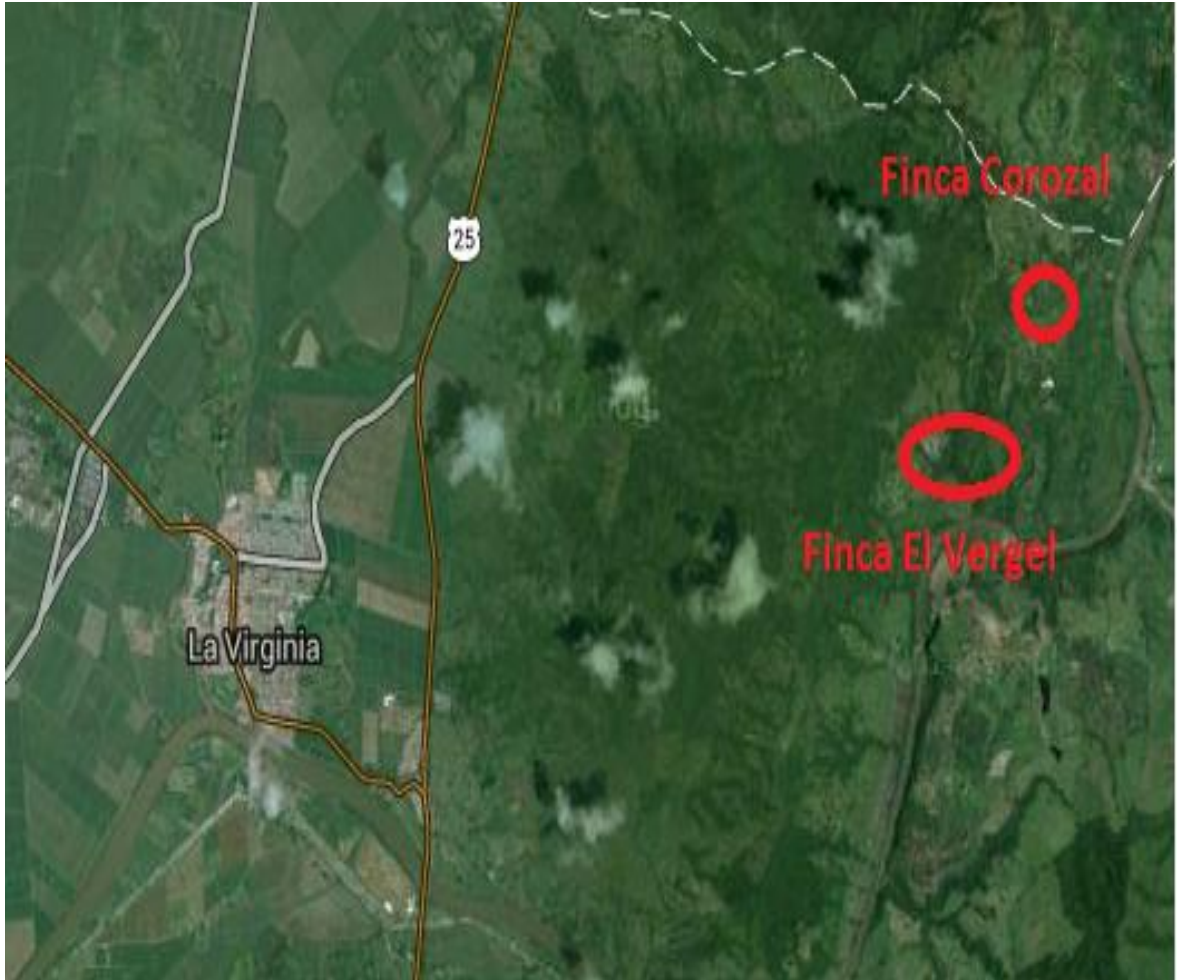


Figura 9. Ubicación de las fincas Corozal y El Vergel en el Municipio de La Virginia Fuente: Google Mapas



## Actividad 2

Se tomaron como referencia 2 cultivos con diferentes condiciones de suelo a una altura de 1460 m.s.n.m. en Dosquebradas (Ver figura 10).

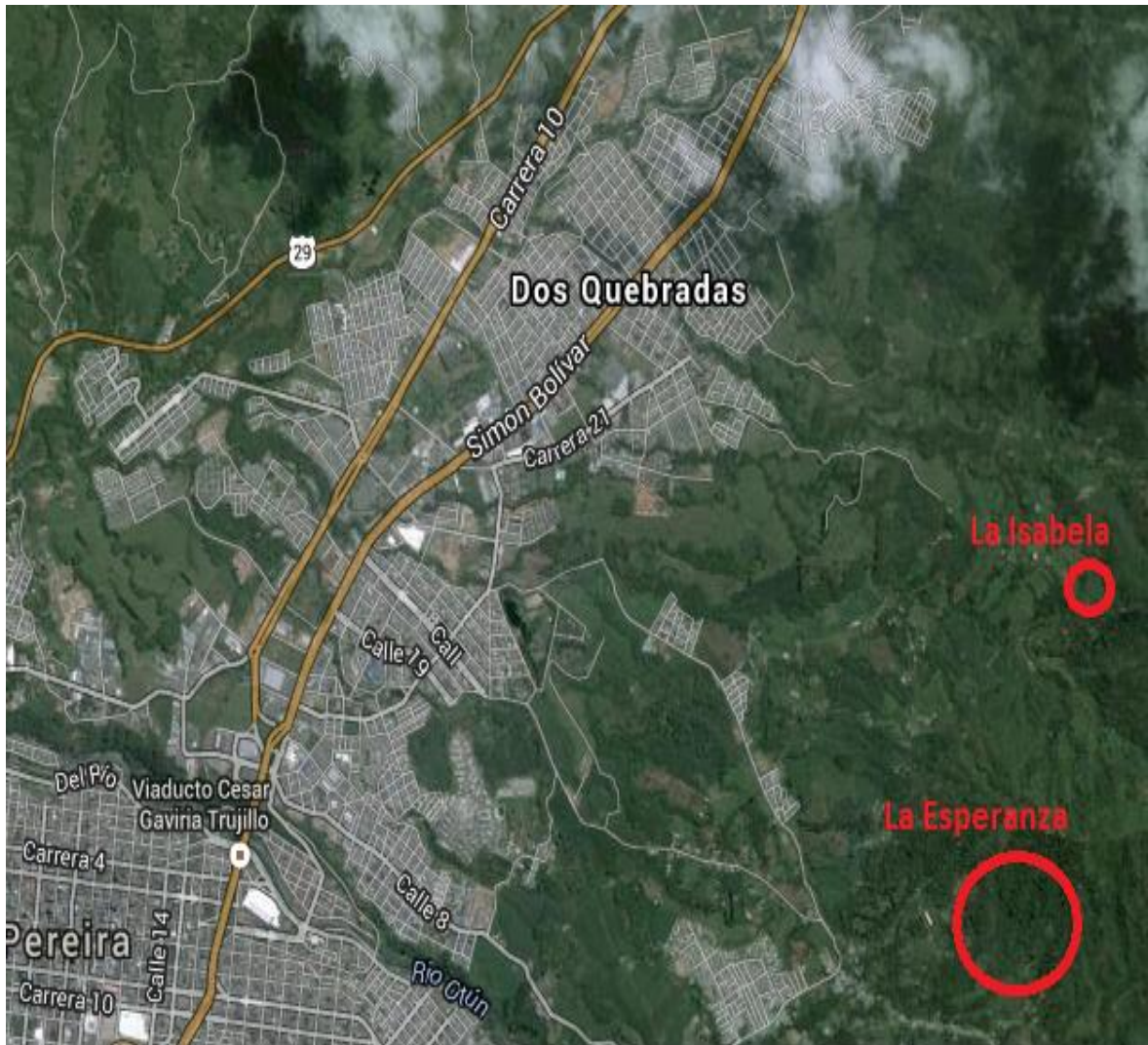


Figura 10. Ubicación de las fincas La Isabela y La Esperanza en el Municipio de Dosquebradas.  
Fuente: Google Mapas

### Actividad 3

Se tomaron como referencia 2 cultivos con diferentes condiciones de suelo a una altura de 1900 m.s.n.m. en Santa Rosa de Cabal como se aprecia en la figura 11.



Figura 11. Ubicación de las fincas La Renata y San Camilo en el Municipio de Santa Rosa de Cabal. Fuente: Google Maps

### Actividad 4

Se realizó la búsqueda visual de las mejores guaduas (*angustifolia kunth*) de los rodales que cumplieran con un rango de edad aproximado de 3 a 4 años correspondiente. Se realizó en la misma zona el corte de ellas, dividiéndola en la siguiente manera: base, cepa, sobre-base. Para esto se contrató a una persona adecuada para que realizara los corte a la medida necesaria, también se le dio nombre a cada muestra para diferenciarlas.

### Actividad 5

La muestra fue transportada en un vehículo a un sitio adecuado, donde se adjuntó cada una de las probetas y fueron señaladas con un código, de ahí fueron llevadas a los laboratorios donde se ejecutaron los ensayos pertinentes.

### 4.2.3 Etapa 3 (estudios propiedades mecánicas)

#### Actividad 1

Las muestras fueron trasladadas a los diferentes sitios donde se realizaron los ensayos de compresión, flexión y dureza. Estos se intentaron realizar durante dos semana, los cuales se ejecutaron dos en la Universidad Tecnológica de Pereira (dureza y flexión), contando con la colaboración de algunas personas para que se facilitaran los laboratorios de esta universidad para realizar los ensayos.

Por último, en el laboratorio de la Universidad Libre se realizó el ensayo de compresión. En el momento adecuado se pidió a las autorizaciones pertinentes de la Institución, dejar muy claro que los ensayos de compresión flexión y dureza se realizaron a las muestra de guadua obtenida, que son cepa base y sobre-base (por cada rodal se sacaran tres muestras).

#### Actividad 2

Este estudio se realizó en la Universidad Tecnológica de Pereira, con la máquina universal de compresión. Los resultados se pueden ver en la Tabla 1.

Tabla 2. Muestra de los ensayos de compresión

| Compresión       |                   |                   |                     |                   |                   |                   |
|------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Partes           | Dosquebradas      |                   | Santa Rosa de cabal |                   | La Virginia       |                   |
|                  | sitio 1 (muestra) | sitio 2 (muestra) | sitio 1 (muestra)   | sitio 2 (muestra) | sitio 1 (muestra) | sitio 2 (muestra) |
| Cepa             | 3                 | 3                 | 3                   | 3                 | 3                 | 3                 |
| Base             | 3                 | 3                 | 3                   | 3                 | 3                 | 3                 |
| Sobre base       | 3                 | 3                 | 3                   | 3                 | 3                 | 3                 |
| total de muestra |                   | 54 muestra        |                     |                   |                   |                   |

Fuente: Elaboración de los autores.



### Actividad 3

Estos estudios se realizaron en el laboratorio de pruebas de resistencia de materiales de la Universidad Tecnológica de Pereira, por medio de la máquina universal de ensayo WPM ZD 40 donde se van a realizar ensayos de flexión y dureza (certificado de calibración # CFA -13-2431 (+/- 0,21 %). Los resultados de los mismos se observan en la Tablas 3 y 4.

Tabla 3. Muestra de los ensayos de flexión

| Flexión          |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Partes           | Dosquebradas         |                      | Santa rosa de cabal  |                      | La Virginia          |                      |
|                  | sitio 1<br>(muestra) | sitio 2<br>(muestra) | sitio 1<br>(muestra) | sitio 2<br>(muestra) | sitio 1<br>(muestra) | sitio 2<br>(muestra) |
| Cepa             | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    |
| Base             | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    |
| Sobre base       | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    |
| total de muestra | 54 muestra           |                      |                      |                      |                      |                      |

Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 4. Muestra de los ensayos de dureza

| Dureza           |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| partes           | Dosquebradas         |                      | Santa rosa de cabal  |                      | La Virginia          |                      |
|                  | sitio 1<br>(muestra) | sitio 2<br>(muestra) | sitio 1<br>(muestra) | sitio 2<br>(muestra) | sitio 1<br>(muestra) | sitio 2<br>(muestra) |
| Cepa             | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    |
| Base             | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    |
| sobre base       | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    |
| total de muestra | 54 muestra           |                      |                      |                      |                      |                      |

Fuente: Elaboración de los autores.

#### **Actividad 4**

Se obtuvieron las 152 muestra de los diferentes ensayos de compresión, flexión y dureza. Se identificó el comportamiento de la guadua (*angustifolia kunth*), la cual le brinda una mejor durabilidad y resistencia.

#### **4.2.4 Etapa 4 (propiedades del suelo)**

##### **Actividad 1**

Se realizaron los estudios de los suelos en los rodales de guadua (*angustifolia kunth*) donde se tomaron las muestras.

##### **Actividad 2**

Se identificaron las propiedades mecánicas y analizar el componente extra que estos suelos le brinda.

##### **Actividad 3**

Se logró identificar el suelo que le brinda mejor durabilidad y resistencia a la guadua (*angustifolia kunth*)

#### **4.2.5 Etapa 5 (proyecto)**

##### **Actividad 1**

Entregar la información obtenida del proyecto a las directivas.

##### **Actividad 2**

Sustentar los resultados ante las directivas de la Universidad Libre seccional Pereira.

## 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 5.1. ESTUDIO DE COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y DUREZA

Para realizar este estudio se visitaron dos fincas por cada municipio (Santa Rosa, Dosquebradas, La Virginia). En la Figura 12 se observa el paisaje correspondiente a la finca La Isabela, del municipio de Dosquebradas.



Figura 12. Finca cultivo de guadua. Fuente: los autores.

Extrayendo muestras de guadua aleatoria de cada una de sus partes (cepa, basa y sobrebasa), como se observa en la Figura 13.



Figura 13. Muestras de Guadua. Fuente: los autores

Posteriormente, se realizaron las pruebas de flexión de guadua en la Universidad Tecnológica de Pereira con la máquina universal de ensayo WPM ZD 40 (Figura 14).



Figura 94. Prueba flexión de la guadua. Fuente: los autores

### ***5.1.1 Datos recolectados de prueba de compresión***

De la Tabla 5 a la Tabla 10 se presentan los datos obtenidos del ensayo a compresión en las diferentes fincas de los municipios de Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia.

Tabla 5. Datos de la prueba de compresión en Dosquebradas Finca 1

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |              |           |              |         |           |               |         |           |           |  |
|-----------------------------------|--------------|-----------|--------------|---------|-----------|---------------|---------|-----------|-----------|--|
| Nombre de la finca:               | La Isabela   |           |              |         |           |               |         |           |           |  |
| Ciudad:                           | Dosquebradas |           | departamento |         |           | Risaralda     |         |           |           |  |
| Fecha:                            | 15/01/2014   |           | Hora         |         |           | 8:00 - 12: am |         |           |           |  |
| MUESTRAS                          | CEPAS        |           | BASA         |         |           | SOBRE-BASA    |         |           |           |  |
|                                   | COMPRESION   |           |              |         |           |               |         |           |           |  |
|                                   | F (Ton)      | D Ext (m) | D Int (m)    | F (Ton) | D Ext (m) | D Int (m)     | F (Ton) | D Ext (m) | D Int (m) |  |
| 1                                 | 23,79        | 0,12      | 0,07         | 5,28    | 0,108     | 0,078         | 5,28    | 0,08      | 0,063     |  |
| 2                                 | 20,03        | 0,124     | 0,075        | 11,48   | 0,11      | 0,08          | 7,58    | 0,094     | 0,06      |  |
| 3                                 | 21,16        | 0,12      | 0,077        | 9,5     | 0,106     | 0,078         | 6,2     | 0,086     | 0,06      |  |

Fuente: los autores

Tabla 6. Compresión Dosquebradas Finca 2

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |                |           |              |         |           |               |         |           |           |  |
|-----------------------------------|----------------|-----------|--------------|---------|-----------|---------------|---------|-----------|-----------|--|
| Nombre de la finca:               | La Esperanza   |           |              |         |           |               |         |           |           |  |
| Ciudad:                           | Dosquebradas 2 |           | departamento |         |           | Risaralda     |         |           |           |  |
| Fecha:                            | 15/01/2014     |           | Hora         |         |           | 8:00 - 12: am |         |           |           |  |
| MUESTRAS                          | CEPAS          |           | BASA         |         |           | SOBRE-BASA    |         |           |           |  |
|                                   | COMPRESION     |           |              |         |           |               |         |           |           |  |
|                                   | F (Ton)        | D Ext (m) | D Int (m)    | F (Ton) | D Ext (m) | D Int (m)     | F (Ton) | D Ext (m) | D Int (m) |  |
| 1                                 | 20             | 0,14      | 0,105        | 14,85   | 0,12      | 0,084         | 6,94    | 0,08      | 0,048     |  |
| 2                                 | 22,3           | 0,139     | 0,104        | 12,5    | 0,123     | 0,086         | 7,57    | 0,078     | 0,047     |  |
| 3                                 | 19,8           | 0,138     | 0,107        | 17,7    | 0,122     | 0,08          | 8,2     | 0,078     | 0,045     |  |

Fuente: los autores

Tabla 7. Compresión Santa Rosa Finca 1

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |                     |              |           |         |           |            |            |           |           |  |
|-----------------------------------|---------------------|--------------|-----------|---------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|--|
| Nombre de la finca:               | La Renata           |              |           |         |           |            |            |           |           |  |
| Ciudad:                           | Santa rosa de cabal | departamento |           |         |           |            | Risaralda  |           |           |  |
| Fecha:                            | 20/01/2014          |              | Hora      |         |           | 2:00 -5:00 |            |           |           |  |
| MUESTRAS                          | CEPAS               |              |           | BASA    |           |            | SOBRE-BASA |           |           |  |
|                                   | COMPRESION          |              |           |         |           |            |            |           |           |  |
|                                   | F (Ton)             | D Ext (m)    | D Int (m) | F (Ton) | D Ext (m) | D Int (m)  | F (Ton)    | D Ext (m) | D Int (m) |  |
| 1                                 | 18,4                | 0,11         | 0,11      | 14,47   | 0,101     | 0,069      | 7,75       | 0,076     | 0,043     |  |
| 2                                 | 16,87               | 0,124        | 0,124     | 10,18   | 0,102     | 0,065      | 4,42       | 0,047     | 0,015     |  |
| 3                                 | 16,69               | 0,106        | 0,106     | 14      | 0,11      | 0,07       | 5,41       | 0,069     | 0,042     |  |

Fuente: los autores

Tabla 8. Compresión Santa Rosa Finca 2

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |                       |              |           |         |           |               |            |           |           |  |
|-----------------------------------|-----------------------|--------------|-----------|---------|-----------|---------------|------------|-----------|-----------|--|
| Nombre de la finca:               | San Camilo            |              |           |         |           |               |            |           |           |  |
| Ciudad:                           | Santa rosa de cabal 2 | departamento |           |         |           |               | Risaralda  |           |           |  |
| Fecha:                            | 20/01/2014            |              | Hora      |         |           | 8:00 - 12: am |            |           |           |  |
| MUESTRAS                          | CEPAS                 |              |           | BASA    |           |               | SOBRE-BASA |           |           |  |
|                                   | COMPRESION            |              |           |         |           |               |            |           |           |  |
|                                   | F (Ton)               | D Ext (m)    | D Int (m) | F (Ton) | D Ext (m) | D Int (m)     | F (Ton)    | D Ext (m) | D Int (m) |  |
| 1                                 | 17,94                 | 0,115        | 0,085     | 9,94    | 0,095     | 0,063         | 5,08       | 0,056     | 0,014     |  |
| 2                                 | 15,85                 | 0,125        | 0,088     | 10,65   | 0,095     | 0,062         | 6,23       | 0,058     | 0,017     |  |
| 3                                 | 14,37                 | 0,125        | 0,085     | 10,04   | 0,105     | 0,077         | 7,38       | 0,063     | 0,018     |  |

Fuente: los autores

Tabla 9. Compresión La Virginia Finca 1

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |             |              |           |         |           |               |            |           |           |  |
|-----------------------------------|-------------|--------------|-----------|---------|-----------|---------------|------------|-----------|-----------|--|
| Nombre de la finca:               | Corozal     |              |           |         |           |               |            |           |           |  |
| Ciudad:                           | La Virginia | departamento |           |         |           |               | Risaralda  |           |           |  |
| Fecha:                            | 07/03/2014  |              | Hora      |         |           | 8:00 - 12: am |            |           |           |  |
| MUESTRAS                          | CEPAS       |              |           | BASA    |           |               | SOBRE-BASA |           |           |  |
|                                   | COMPRESION  |              |           |         |           |               |            |           |           |  |
|                                   | F (Ton)     | D Ext (m)    | D Int (m) | F (Ton) | D Ext (m) | D Int (m)     | F (Ton)    | D Ext (m) | D Int (m) |  |
| 1                                 | 28,24       | 0,153        | 0,091     | 17,1    | 0,144     | 0,09          | 8,58       | 0,128     | 0,09      |  |
| 2                                 | 19,52       | 0,17         | 0,1       | 10,33   | 0,147     | 0,1           | 9,1        | 0,12      | 0,09      |  |
| 3                                 | 25,75       | 0,155        | 0,1       | 24,69   | 0,145     | 0,102         | 9,48       | 0,12      | 0,087     |  |

Fuente: los autores

Tabla 10. Compresión La Virginia Finca 2

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |             |              |           |         |           |               |            |           |           |  |
|-----------------------------------|-------------|--------------|-----------|---------|-----------|---------------|------------|-----------|-----------|--|
| Nombre de la finca:               | El Vergel   |              |           |         |           |               |            |           |           |  |
| Ciudad:                           | La Virginia | departamento |           |         |           |               | Risaralda  |           |           |  |
| Fecha:                            | 07/03/2014  |              | Hora      |         |           | 8:00 - 12: am |            |           |           |  |
| MUESTRAS                          | CEPAS       |              |           | BASA    |           |               | SOBRE-BASA |           |           |  |
|                                   | COMPRESION  |              |           |         |           |               |            |           |           |  |
|                                   | F (Ton)     | D Ext (m)    | D Int (m) | F (Ton) | D Ext (m) | D Int (m)     | F (Ton)    | D Ext (m) | D Int (m) |  |
| 1                                 | 17,5        | 0,14         | 0,101     | 11,7    | 0,145     | 0,107         | 3,8        | 0,096     | 0,074     |  |
| 2                                 | 20          | 0,141        | 0,103     | 18,3    | 0,144     | 0,106         | 4,3        | 0,094     | 0,071     |  |
| 3                                 | 16,8        | 0,143        | 0,105     | 20,5    | 0,145     | 0,107         | 7          | 0,095     | 0,073     |  |

Fuente: los autores

### 5.1.2 Datos recolectados de prueba de Flexión

De la Tabla 11 a la Tabla 16 se presentan los datos obtenidos del ensayo a flexión en las diferentes fincas de los municipios de Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia.

Tabla 11. Flexión Dosquebradas Finca 1

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |              |              |           |         |           |           |               |           |           |  |
|-----------------------------------|--------------|--------------|-----------|---------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|--|
| Nombre de la finca:               | La Isabela   |              |           |         |           |           |               |           |           |  |
| Ciudad:                           | Dosquebradas | departamento |           |         |           |           | Risaralda     |           |           |  |
| Fecha:                            | 15/01/2014   |              |           | Hora    |           |           | 8:00 - 12: am |           |           |  |
| MUESTRAS                          | longitud     | 0,87 metros  |           |         |           |           |               |           |           |  |
|                                   | CEPAS        |              |           | BASA    |           |           | SOBRE-BASA    |           |           |  |
|                                   | FLEXION      |              |           |         |           |           |               |           |           |  |
|                                   | F (Ton)      | D Ext (m)    | D Int (m) | F (Ton) | D Ext (m) | D Int (m) | F (Ton)       | D Ext (m) | D Int (m) |  |
| 1                                 | 1,4          | 0,125        | 0,1       | 0,48    | 0,108     | 0,088     | 0,56          | 0,092     | 0,067     |  |
| 2                                 | 1,45         | 0,13         | 0,102     | 0,74    | 0,111     | 0,09      | 0,78          | 0,1       | 0,075     |  |
| 3                                 | 1,13         | 0,12         | 0,095     | 0,75    | 0,112     | 0,091     | 0,49          | 0,082     | 0,06      |  |

Fuente: los autores



Tabla 12. Flexión Dosquebradas Finca 2

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |              |              |           |         |           |               |            |           |           |  |
|-----------------------------------|--------------|--------------|-----------|---------|-----------|---------------|------------|-----------|-----------|--|
| Nombre de la finca:               | La Esperanza |              |           |         |           |               |            |           |           |  |
| Ciudad:                           | Dosquebradas | departamento |           |         |           |               | Risaralda  |           |           |  |
| Fecha:                            | 16/01/2014   |              | Hora      |         |           | 8:00 - 12: am |            |           |           |  |
| MUESTRAS                          | longitud     | 0,87 metros  |           |         |           |               |            |           |           |  |
|                                   | CEPAS        |              |           | BASA    |           |               | SOBRE-BASA |           |           |  |
|                                   | FLEXION      |              |           |         |           |               |            |           |           |  |
|                                   | F (Ton)      | D Ext (m)    | D Int (m) | F (Ton) | D Ext (m) | D Int (m)     | F (Ton)    | D Ext (m) | D Int (m) |  |
| 4                                 | 1,35         | 0,133        | 0,11      | 0,5     | 0,094     | 0,065         | 0,62       | 0,091     | 0,073     |  |
| 5                                 | 1,41         | 0,13         | 0,105     | 0,73    | 0,096     | 0,06          | 0,5        | 0,091     | 0,073     |  |
| 6                                 | 1,35         | 0,128        | 0,1       | 0,55    | 0,102     | 0,07          | 0,66       | 0,105     | 0,084     |  |

Fuente: los autores

Tabla 13. Flexión Santa Rosa de cabal Finca 1

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |                     |              |           |         |           |            |            |           |           |  |
|-----------------------------------|---------------------|--------------|-----------|---------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|--|
| Nombre de la finca:               | La Renata           |              |           |         |           |            |            |           |           |  |
| Ciudad:                           | Santa rosa de cabal | departamento |           |         |           |            | Risaralda  |           |           |  |
| Fecha:                            | 20/01/2014          |              | Hora      |         |           | 2:00 -5:00 |            |           |           |  |
| MUESTRAS                          | longitud            | 0,87 metros  |           |         |           |            |            |           |           |  |
|                                   | CEPAS               |              |           | BASA    |           |            | SOBRE-BASA |           |           |  |
|                                   | FLEXION             |              |           |         |           |            |            |           |           |  |
|                                   | F (Ton)             | D Ext (m)    | D Int (m) | F (Ton) | D Ext (m) | D Int (m)  | F (Ton)    | D Ext (m) | D Int (m) |  |
| 1                                 | 1,36                | 0,13         | 0,105     | 0,84    | 0,094     | 0,065      | 0,44       | 0,079     | 0,064     |  |
| 2                                 | 1,21                | 0,129        | 0,09      | 0,73    | 0,096     | 0,06       | 0,46       | 0,08      | 0,063     |  |
| 3                                 | 1,42                | 0,13         | 0,105     | 0,55    | 0,102     | 0,07       | 0,26       | 0,081     | 0,067     |  |

Fuente: los autores

Tabla 14. Flexión Santa Rosa de cabal Finca 2

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |                       |              |           |         |           |           |            |           |           |
|-----------------------------------|-----------------------|--------------|-----------|---------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| Nombre de la finca:               | San Camilo            |              |           |         |           |           |            |           |           |
| Ciudad:                           | Santa rosa de cabal 2 | departamento |           |         | Risaralda |           |            |           |           |
| Fecha:                            | 20/01/2014            |              |           | Hora    |           |           | 2:00 -5:00 |           |           |
| MUESTRAS                          | longitud              | 0,87 metros  |           |         |           |           |            |           |           |
|                                   | CEPAS                 |              |           | BASA    |           |           | SOBRE-BASA |           |           |
|                                   | FLEXION               |              |           |         |           |           |            |           |           |
|                                   | F (Ton)               | D Ext (m)    | D Int (m) | F (Ton) | D Ext (m) | D Int (m) | F (Ton)    | D Ext (m) | D Int (m) |
| 1                                 | 2,11                  | 0,12         | 0,092     | 0,84    | 0,108     | 0,084     | 0,66       | 0,081     | 0,066     |
| 2                                 | 1,98                  | 0,125        | 0,102     | 0,73    | 0,104     | 0,085     | 0,74       | 0,082     | 0,06      |
| 3                                 | 1,64                  | 0,123        | 0,098     | 0,55    | 0,109     | 0,082     | 0,46       | 0,061     | 0,04      |

Fuente: los autores

Tabla 15. Flexión La Virginia Finca 1

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |             |              |           |         |           |           |               |           |           |
|-----------------------------------|-------------|--------------|-----------|---------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|
| Nombre de la finca:               | Corozal     |              |           |         |           |           |               |           |           |
| Ciudad:                           | La Virginia | departamento |           |         | Risaralda |           |               |           |           |
| Fecha:                            | 07/03/2014  |              |           | Hora    |           |           | 8:00 - 12: am |           |           |
| MUESTRAS                          | longitud    | 0,87 metros  |           |         |           |           |               |           |           |
|                                   | CEPAS       |              |           | BASA    |           |           | SOBRE-BASA    |           |           |
|                                   | FLEXION     |              |           |         |           |           |               |           |           |
|                                   | F (Ton)     | D Ext (m)    | D Int (m) | F (Ton) | D Ext (m) | D Int (m) | F (Ton)       | D Ext (m) | D Int (m) |
| 1                                 | 1,27        | 0,13         | 0,099     | 1,64    | 0,125     | 0,099     | 1,44          | 0,115     | 0,1       |
| 2                                 | 2,05        | 0,139        | 0,102     | 0,9     | 0,128     | 0,102     | 0,85          | 0,11      | 0,098     |
| 3                                 | 2,65        | 0,152        | 0,129     | 1,02    | 0,126     | 0,1       | 1,01          | 0,11      | 0,099     |

Fuente: los autores

Tabla 16. Flexión La Virginia Finca 2

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |             |              |           |         |               |           |            |           |           |       |
|-----------------------------------|-------------|--------------|-----------|---------|---------------|-----------|------------|-----------|-----------|-------|
| Nombre de la finca:               | El Vergel   |              |           |         |               |           |            |           |           |       |
| Ciudad:                           | La Virginia | departamento |           |         | Risaralda     |           |            |           |           |       |
| Fecha:                            | 07/03/2014  | Hora         |           |         | 8:00 - 12: am |           |            |           |           |       |
| MUESTRAS                          | longitud    | 0,87 metros  |           |         |               |           |            |           |           |       |
|                                   | CEPAS       |              |           | BASA    |               |           | SOBRE-BASA |           |           |       |
|                                   | FLEXION     |              |           |         |               |           |            |           |           |       |
|                                   | F (Ton)     | D Ext (m)    | D Int (m) | F (Ton) | D Ext (m)     | D Int (m) | F (Ton)    | D Ext (m) | D Int (m) |       |
|                                   | 1           | 1,2          | 0,128     | 0,104   | 2             | 0,124     | 0,096      | 0,99      | 0,119     | 0,108 |
| 2                                 | 2,02        | 0,131        | 0,107     | 1,5     | 0,128         | 0,102     | 0,72       | 0,12      | 0,11      |       |
| 3                                 | 1,98        | 0,131        | 0,108     | 1,7     | 0,127         | 0,1       | 0,44       | 0,121     | 0,11      |       |

Fuente: los autores

### 5.1.3 Datos recolectados de prueba de Dureza

De la Tabla 17 a la Tabla 22 se presentan los datos obtenidos del ensayo a compresión en las diferentes fincas de los municipios de Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia.

Tabla 17. Dureza Dosquebradas Finca 1

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |                   |              |      |         |         |               |           |         |     |  |
|-----------------------------------|-------------------|--------------|------|---------|---------|---------------|-----------|---------|-----|--|
| Nombre de la finca:               | La Isabela        |              |      |         |         |               |           |         |     |  |
| Ciudad:                           | Dosquebradas      | departamento |      |         |         |               | Risaralda |         |     |  |
| Fecha:                            | 15/01/2014        |              | Hora |         |         | 8:00 - 12: am |           |         |     |  |
| MUESTRAS                          | Diámetro de balón |              | 10   |         |         |               |           |         |     |  |
|                                   | CEPAS             |              | BASA |         |         | SOBRE-BASA    |           |         |     |  |
|                                   | DUREZA            |              |      |         |         |               |           |         |     |  |
|                                   | F (Ton)           | PRUEBAS      |      | F (Ton) | PRUEBAS |               | F (Ton)   | PRUEBAS |     |  |
|                                   |                   | 1            | 2    |         | 1       | 2             |           | 1       | 2   |  |
| 1                                 | 187,5             | 4            | 4,2  | 187,5   | 4,2     | 4             | 187,5     | 3,8     | 3,7 |  |
| 2                                 | 187,5             | 3,9          | 3,5  | 187,5   | 4,5     | 5             | 187,5     | 4,2     | 3,4 |  |
| 3                                 | 187,5             | 3,6          | 4    | 187,5   | 4,5     | 4,5           | 187,5     | 3,5     | 4,4 |  |

Fuente: los autores

Tabla 18. Dureza Dosquebradas Finca 2

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |                   |         |     |              |         |     |               |         |     |  |
|-----------------------------------|-------------------|---------|-----|--------------|---------|-----|---------------|---------|-----|--|
| Nombre de la finca:               | La Esperanza      |         |     |              |         |     |               |         |     |  |
| Ciudad:                           | Dosquebradas      |         |     | departamento |         |     | Risaralda     |         |     |  |
| Fecha:                            | 15/01/2014        |         |     | Hora         |         |     | 8:00 - 12: am |         |     |  |
| MUESTRAS                          | Diámetro de balín |         |     | 10           |         |     |               |         |     |  |
|                                   | CEPAS             |         |     | BASA         |         |     | SOBRE-BASA    |         |     |  |
|                                   | DUREZA            |         |     |              |         |     |               |         |     |  |
|                                   | F (Ton)           | PRUEBAS |     | F (Ton)      | PRUEBAS |     | F (Ton)       | PRUEBAS |     |  |
|                                   |                   | 1       | 2   |              | 1       | 2   |               | 1       | 2   |  |
| 1                                 | 187,5             | 4,1     | 3,7 | 187,5        | 4       | 4,2 | 187,5         | 3,8     | 4,3 |  |
| 2                                 | 187,5             | 4       | 4,2 | 187,5        | 3,9     | 3,2 | 187,5         | 4,4     | 4,2 |  |
| 3                                 | 187,5             | 4,7     | 4,4 | 187,5        | 3,6     | 4   | 187,5         | 3,6     | 3,5 |  |

Fuente: los autores

Tabla 19. Dureza Santa Rosa de cabal Finca 1

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |                     |         |     |              |         |     |            |         |     |  |
|-----------------------------------|---------------------|---------|-----|--------------|---------|-----|------------|---------|-----|--|
| Nombre de la finca:               | La Renata           |         |     |              |         |     |            |         |     |  |
| Ciudad:                           | Santa rosa de cabal |         |     | departamento |         |     | Risaralda  |         |     |  |
| Fecha:                            | 20/01/2014          |         |     | Hora         |         |     | 2:00 -5:00 |         |     |  |
| MUESTRAS                          | Diámetro de balín   |         |     | 10           |         |     |            |         |     |  |
|                                   | CEPAS               |         |     | BASA         |         |     | SOBRE-BASA |         |     |  |
|                                   | DUREZA              |         |     |              |         |     |            |         |     |  |
|                                   | F (Ton)             | PRUEBAS |     | F (Ton)      | PRUEBAS |     | F (Ton)    | PRUEBAS |     |  |
|                                   |                     | 1       | 2   |              | 1       | 2   |            | 1       | 2   |  |
| 1                                 | 187,5               | 4       | 4,5 | 187,5        | 6       | 4,3 | 187,5      | 4       | 4,8 |  |
| 2                                 | 187,5               | 4,2     | 4,8 | 187,5        | 4,5     | 4,3 | 187,5      | 4       | 3,9 |  |
| 3                                 | 187,5               | 4,8     | 4,7 | 187,5        | 4,3     | 4,9 | 187,5      | 4,5     | 3,7 |  |

Fuente: los autores

Tabla 20. Dureza Santa Rosa de cabal Finca 2

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |                       |              |      |         |           |            |         |         |     |
|-----------------------------------|-----------------------|--------------|------|---------|-----------|------------|---------|---------|-----|
| Nombre de la finca:               | San Camilo            |              |      |         |           |            |         |         |     |
| Ciudad:                           | Santa rosa de cabal 2 | departamento |      |         | Risaralda |            |         |         |     |
| Fecha:                            | 20/01/2014            |              | Hora |         |           | 2:00 -5:00 |         |         |     |
| MUESTRAS                          | Diámetro de balín     |              | 10   |         |           |            |         |         |     |
|                                   | CEPAS                 |              | BASA |         |           | SOBRE-BASA |         |         |     |
|                                   | DUREZA                |              |      |         |           |            |         |         |     |
|                                   | F (Ton)               | PRUEBAS      |      | F (Ton) | PRUEBAS   |            | F (Ton) | PRUEBAS |     |
|                                   | 1                     | 2            |      | 1       | 2         |            | 1       | 2       |     |
| 1                                 | 187,5                 | 5            | 4    | 187,5   | 4,2       | 4          | 187,5   | 3,7     | 5   |
| 2                                 | 187,5                 | 6,1          | 4    | 187,5   | 4,5       | 5          | 187,5   | 4       | 4,2 |
| 3                                 | 187,5                 | 4            | 5    | 187,5   | 4,5       | 3          | 187,5   | 4,2     | 4,4 |

Fuente: los autores

Tabla 21. Dureza La Virginia Finca 1

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |                   |              |      |         |           |               |         |         |     |
|-----------------------------------|-------------------|--------------|------|---------|-----------|---------------|---------|---------|-----|
| Nombre de la finca:               | Corozal           |              |      |         |           |               |         |         |     |
| Ciudad:                           | La Virginia       | departamento |      |         | Risaralda |               |         |         |     |
| Fecha:                            | 07/03/2014        |              | Hora |         |           | 8:00 - 12: am |         |         |     |
| MUESTRAS                          | Diámetro de balín |              | 10   |         |           |               |         |         |     |
|                                   | CEPAS             |              | BASA |         |           | SOBRE-BASA    |         |         |     |
|                                   | DUREZA            |              |      |         |           |               |         |         |     |
|                                   | F (Ton)           | PRUEBAS      |      | F (Ton) | PRUEBAS   |               | F (Ton) | PRUEBAS |     |
|                                   | 1                 | 2            |      | 1       | 2         |               |         |         |     |
| 1                                 | 187,5             | 3,9          | 3,7  | 187,5   | 4,3       | 4,2           | 187,5   | 5       | 4,5 |
| 2                                 | 187,5             | 4            | 4    | 187,5   | 4         | 4,3           | 187,5   | 3,7     | 4,5 |
| 3                                 | 187,5             | 4,1          | 4,1  | 187,5   | 4,5       | 4             | 187,5   | 3,5     | 3   |

Fuente: los autores

Tabla 22. Dureza La Virginia Finca 2

| UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL LIBRE |                   |              |     |         |               |     |            |         |     |
|-----------------------------------|-------------------|--------------|-----|---------|---------------|-----|------------|---------|-----|
| Nombre de la finca:               | El Vergel         |              |     |         |               |     |            |         |     |
| Ciudad:                           | La Virginia       | departamento |     |         | Risaralda     |     |            |         |     |
| Fecha:                            | 07/03/2014        | Hora         |     |         | 8:00 - 12: am |     |            |         |     |
| MUESTRAS                          | Diámetro de balón |              |     | 10      |               |     |            |         |     |
|                                   | CEPAS             |              |     | BASA    |               |     | SOBRE-BASA |         |     |
|                                   | DUREZA            |              |     |         |               |     |            |         |     |
|                                   | F (Ton)           | PRUEBAS      |     | F (Ton) | PRUEBAS       |     | F (Ton)    | PRUEBAS |     |
|                                   |                   | 1            | 2   |         | 1             | 2   |            | 1       | 2   |
| 1                                 | 187,5             | 3,9          | 3,6 | 187,5   | 3,9           | 4   | 187,5      | 3,9     | 3,2 |
| 2                                 | 187,5             | 4,2          | 4   | 187,5   | 4,2           | 3,5 | 187,5      | 4,5     | 4   |
| 3                                 | 187,5             | 3,9          | 3,9 | 187,5   | 3,9           | 4,4 | 187,5      | 3,9     | 4   |

Fuente: los autores

## 5.2. INFORMES DE ENSAYOS DE SUELOS

Para realizar el estudio de suelo se visitaron tres fincas, una por cada municipio. Se extrajo una muestra por finca. Posteriormente, se envió al laboratorio de suelos de la Universidad Tecnológica de Pereira para su análisis (ver anexos D, E y F), obteniendo los resultados que se presentan en las Tablas 23 a la Tabla 25.

Tabla 23. Informe de suelo Dosquebradas

| Informe de ensayo de suelos |              |      |      |                  |            |     |                   |               |  |
|-----------------------------|--------------|------|------|------------------|------------|-----|-------------------|---------------|--|
| Departamento                | Risaralda    |      |      | Tipo de muestra  | suelo      |     |                   |               |  |
| Municipio                   | Dosquebradas |      |      | Tipo de análisis | Fertilidad |     |                   |               |  |
| Finca                       | La Isabella  |      |      | N° muestras      | 1          |     |                   |               |  |
|                             |              | %    |      | Meq /100g suelo  |            |     | Partes por millón |               |  |
| Lote                        | p,H          | N    | M,O  | k                | Ca         | Mg  | P                 | Textura       |  |
| Templado                    | 5,4          | 0,41 | 10,3 | 0,52             | 2,6        | 0,8 | 3                 | Franco limoso |  |

Fuente: los autores

Tabla 24. Informe de suelo Santa Rosa

| Informe de ensayo de suelos |                     |      |     |                  |            |     |                   |         |  |
|-----------------------------|---------------------|------|-----|------------------|------------|-----|-------------------|---------|--|
| Departamento                | Risaralda           |      |     | Tipo de muestra  | suelo      |     |                   |         |  |
| Municipio                   | Santa Rosa de cabal |      |     | Tipo de análisis | Fertilidad |     |                   |         |  |
| Finca                       | La Renata           |      |     | N° muestras      | 1          |     |                   |         |  |
|                             |                     | %    |     | Meq /100g suelo  |            |     | Partes por millón |         |  |
| Lote                        | p,H                 | N    | M,O | k                | Ca         | Mg  | P                 | Textura |  |
| Frio                        | 6,4                 | 0,29 | 6,7 | 1,78             | 13,7       | 1,5 | 11                | Franco  |  |

Fuente: los autores

Tabla 25. Informe de suelo La Virginia

| Informe de ensayo de suelos |             |      |      |                  |            |     |                   |           |  |
|-----------------------------|-------------|------|------|------------------|------------|-----|-------------------|-----------|--|
| Departamento                | Risaralda   |      |      | Tipo de muestra  | suelo      |     |                   |           |  |
| Municipio                   | La Virginia |      |      | Tipo de análisis | Fertilidad |     |                   |           |  |
| Finca                       | La Renata   |      |      | N° muestras      | 1          |     |                   |           |  |
|                             |             | %    |      | Meq /100g suelo  |            |     | Partes por millón |           |  |
| Lote                        | p,H         | N    | M,O  | k                | Ca         | Mg  | P                 | Textura   |  |
| Cálido                      | 5,4         | 0,49 | 12,9 | 0,34             | 5          | 1,7 | 9                 | Arcilloso |  |

Fuente: los autores



## 6. CÁLCULOS DE LOS ESFUERZOS A COMPRESIÓN

### 6.1. ESTUDIO COMPRESIÓN

Estudio de los esfuerzos de compresión con la máquina universal en la parte cepa de la guadua

#### 6.1.1 Dosquebradas, estudio compresión de cepa

En las Tablas 26, 27 y 28 se sintetizan los resultados de compresión con la máquina universal de ensayos en la parte cepa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Dosquebradas.

Tabla 26. Compresión cepa Dosquebradas Finca 1

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)   | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom E compresión (MPa) |
|---------|--------|--------|-----------|----------|---------------|------------------|-------------------------|
| 1       | 23,79  | 233142 | 0,12      | 0,07     | 7,46E-03      | 31,25            | 29,35                   |
| 2       | 20,03  | 196294 | 0,124     | 0,075    | 7,66E-03      | 25,63            |                         |
| 3       | 21,16  | 207368 | 0,12      | 0,077    | 6,65E-03      | 31,17            |                         |

Fuente: los autores

Tabla 27. Resistencia a la compresión cepa Dosquebradas Finca 2

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)   | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom E compresión (MPa) |
|---------|--------|--------|-----------|----------|---------------|------------------|-------------------------|
| 1       | 23,79  | 233142 | 0,14      | 0,105    | 6,73E-03      | 34,62            | 32,92                   |
| 2       | 20,03  | 196294 | 0,139     | 0,104    | 6,68E-03      | 29,39            |                         |
| 3       | 21,16  | 207368 | 0,138     | 0,107    | 5,97E-03      | 34,76            |                         |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Dosquebradas:

Tabla 28. Compresión cepa Dosquebradas indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 3,425175396         | 11,7318265 | 31,14 |

Fuente: los autores

### 6.1.2 Santa Rosa de Cabal, estudio compresión de cepa

En las Tabla 29 a la Tabla 31 se sintetizan los resultados de compresión con la máquina universal de ensayos en la parte cepa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Santa Rosa.

Tabla 29. Compresión cepa Santa Rosa Finca 1:

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)   | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom compresión (MPa) |
|---------|--------|--------|-----------|----------|---------------|------------------|-----------------------|
| 1       | 18,4   | 180320 | 0,11      | 0,061    | 6,58E-03      | 27,40            | 29,96                 |
| 2       | 16,87  | 165326 | 0,124     | 0,082    | 6,80E-03      | 24,33            |                       |
| 3       | 16,69  | 163562 | 0,106     | 0,076    | 4,29E-03      | 38,14            |                       |

Fuente: los autores

Tabla 30. Compresión cepa Santa Rosa Finca 2

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)   | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom compresión (MPa) |
|---------|--------|--------|-----------|----------|---------------|------------------|-----------------------|
| 1       | 17,94  | 175812 | 0,115     | 0,085    | 4,71E-03      | 37,31            | 27,92                 |
| 2       | 15,85  | 155330 | 0,125     | 0,088    | 6,19E-03      | 25,09            |                       |
| 3       | 14,37  | 140826 | 0,125     | 0,085    | 6,60E-03      | 21,35            |                       |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Santa Rosa:

Tabla 31. Compresión cepa Santa Rosa indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 7,082143989         | 50,1567635 | 28,94 |

Fuente: los autores

### 6.1.3 La Virginia, estudio compresión de cepa

En las Tablas 32, 33 y 34 se sintetizan los resultados de compresión con la máquina universal de ensayos en la parte cepa de la guadua en las fincas objeto de estudio de La Virginia.

Tabla 32. Compresión cepa La Virginia Finca 1

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)   | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom E compresión (MPa) |
|---------|--------|--------|-----------|----------|---------------|------------------|-------------------------|
| 1       | 28,24  | 276752 | 0,153     | 0,091    | 1,19E-02      | 23,29            | 19,70                   |
| 2       | 19,52  | 191296 | 0,17      | 0,1      | 1,48E-02      | 12,89            |                         |
| 3       | 25,75  | 252350 | 0,155     | 0,1      | 1,10E-02      | 22,91            |                         |

Fuente: los autores

Tabla 33. Compresión cepa La Virginia Finca 2

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)   | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom E compresión (MPa) |
|---------|--------|--------|-----------|----------|---------------|------------------|-------------------------|
| 1       | 17,5   | 171500 | 0,14      | 0,101    | 7,38E-03      | 23,23            | 24,13                   |
| 2       | 20     | 196000 | 0,141     | 0,103    | 7,28E-03      | 26,91            |                         |
| 3       | 16,8   | 164640 | 0,143     | 0,105    | 7,40E-03      | 22,24            |                         |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Virginia:

Tabla 34. Compresión cepa La Virginia indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 4,716618834         | 22,2464932 | 21,91 |

Fuente: los autores

#### 6.1.4 Dosquebradas, estudio compresión basa

En las Tablas 35, 36 y 37 se sintetizan los resultados de compresión con la máquina universal de ensayos en la parte basa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Dosquebradas.

Tabla 35. Compresión basa Dosquebradas Finca 1

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)   | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom compresión (MPa) | E |
|---------|--------|--------|-----------|----------|---------------|------------------|-----------------------|---|
| 1       | 5,28   | 51744  | 0,108     | 0,078    | 4,38E-03      | 11,8069009       | 19,9819304            |   |
| 2       | 11,48  | 112504 | 0,11      | 0,08     | 4,48E-03      | 25,13062135      |                       |   |
| 3       | 9,5    | 93100  | 0,106     | 0,078    | 4,05E-03      | 23,00826894      |                       |   |

Fuente: los autores

Tabla 36. Compresión basa Dosquebradas Finca 2

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)   | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom compresión (MPa) | E |
|---------|--------|--------|-----------|----------|---------------|------------------|-----------------------|---|
| 1       | 14,85  | 145530 | 0,12      | 0,084    | 5,77E-03      | 25,2307395       | 23,81081923           |   |
| 2       | 12,5   | 122500 | 0,123     | 0,086    | 6,07E-03      | 20,16964234      |                       |   |
| 3       | 17,7   | 173460 | 0,122     | 0,08     | 6,66E-03      | 26,03207584      |                       |   |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Dosquebradas:

Tabla 37. Compresión basa Dosquebradas indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 5,379549406         | 28,9395518 | 21,90 |

Fuente: los autores

### 6.1.5 Santa Rosa de Cabal, estudio compresión basa

En las Tablas 38, 39 y 40 se sintetizan los resultados de compresión con la máquina universal de ensayos en la parte basa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Santa Rosa (ver ensayos en el Anexo B).

Tabla 38. Compresión basa Santa Rosa Finca 1

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)   | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom E compresión (MPa) |
|---------|--------|--------|-----------|----------|---------------|------------------|-------------------------|
| 1       | 14,47  | 141806 | 0,101     | 0,069    | 4,27E-03      | 33,18989097      | 26,0031546              |
| 2       | 10,18  | 99764  | 0,102     | 0,065    | 4,85E-03      | 20,55728596      |                         |
| 3       | 14     | 137200 | 0,11      | 0,07     | 5,65E-03      | 24,26228688      |                         |

Fuente: los autores

Tabla 39. Compresión basa Santa Rosa Finca 2

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)   | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom E compresión (MPa) |
|---------|--------|--------|-----------|----------|---------------|------------------|-------------------------|
| 1       | 9,94   | 97412  | 0,095     | 0,063    | 3,97E-03      | 24,53101474      | 24,92114559             |
| 2       | 10,65  | 104370 | 0,095     | 0,062    | 4,07E-03      | 25,64910466      |                         |
| 3       | 10,04  | 98392  | 0,105     | 0,077    | 4,00E-03      | 24,58331736      |                         |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Santa Rosa:

Tabla 40. Compresión basa Santa Rosa indicadores

| Desviación estándar | Varianza  | Media |
|---------------------|-----------|-------|
| 4,168684564         | 17,377931 | 25,46 |

Fuente: los autores

### 6.1.6 La Virginia, compresión de basa

En las Tablas 41, 42 y 43 se sintetizan los resultados de compresión con la máquina universal de ensayos en la parte basa de la guadua en las fincas objeto de estudio de La Virginia.

Tabla 41. Compresión basa La Virginia Finca 1

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)   | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom E compresión (MPa) |
|---------|--------|--------|-----------|----------|---------------|------------------|-------------------------|
| 1       | 17,1   | 167580 | 0,144     | 0,09     | 9,92E-03      | 16,88584068      | 18,99838164             |
| 2       | 10,33  | 101234 | 0,147     | 0,1      | 9,12E-03      | 11,10303489      |                         |
| 3       | 24,69  | 241962 | 0,145     | 0,102    | 8,34E-03      | 29,00626934      |                         |

Fuente: los autores

Tabla 42. Compresión basa La Virginia Finca 2

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)   | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom E compresión (MPa) |
|---------|--------|--------|-----------|----------|---------------|------------------|-------------------------|
| 1       | 11,7   | 114660 | 0,145     | 0,107    | 7,52E-03      | 15,24536823      | 21,99780677             |
| 2       | 18,3   | 179340 | 0,144     | 0,106    | 7,46E-03      | 24,0360821       |                         |
| 3       | 20,5   | 200900 | 0,145     | 0,107    | 7,52E-03      | 26,71196998      |                         |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para la Virginia:

Tabla 43. Compresión basa La Virginia indicadores

| Desviación estándar | Varianza | Media |
|---------------------|----------|-------|
| 7,105283946         | 50,48506 | 20,50 |

Fuente: los autores

### 6.1.7 Dosquebradas, compresión de sobrebasa

En las Tablas 44, 44 y 46 se sintetizan los resultados de compresión con la máquina universal de ensayos en la parte sobrebasa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Dosquebradas.

Tabla 44. Compresión sobrebasa Dosquebradas Finca 1

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)  | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom compresión (MPa) | E |
|---------|--------|-------|-----------|----------|---------------|------------------|-----------------------|---|
| 1       | 5,28   | 51744 | 0,08      | 0,063    | 1,91E-03      | 27,101           | 21,84817777           |   |
| 2       | 7,58   | 74284 | 0,094     | 0,06     | 0,00411234    | 18,064           |                       |   |
| 3       | 6,2    | 60760 | 0,086     | 0,06     | 0,00298137    | 20,380           |                       |   |

Fuente: los autores

Tabla 45. Compresión sobrebasa Dosquebradas

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)  | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom compresión (MPa) | E |
|---------|--------|-------|-----------|----------|---------------|------------------|-----------------------|---|
| 1       | 6,94   | 68012 | 0,08      | 0,048    | 0,00321699    | 21,14149607      | 23,57498348           |   |
| 2       | 7,57   | 74186 | 0,078     | 0,047    | 0,00304342    | 24,37588358      |                       |   |
| 3       | 8,2    | 80360 | 0,078     | 0,045    | 0,00318793    | 25,20757078      |                       |   |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Dosquebradas:

Tabla 46. Compresión sobrebasa Dosquebradas indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 3,399174289         | 11,5543858 | 22,71 |

Fuente: los autores

### 6.1.8 Santa Rosa de Cabal, compresión de sobrebasa

En las Tablas 47, 48 y 49 se sintetizan los resultados de compresión con la máquina universal de ensayos en la parte sobrebasa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Santa Rosa.

Tabla 47. Compresión sobrebasa Santa Rosa Finca 1

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)  | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom compresión (MPa) | E |
|---------|--------|-------|-----------|----------|---------------|------------------|-----------------------|---|
| 1       | 7,75   | 75950 | 0,076     | 0,043    | 0,00308426    | 24,62504289      | 24,98243757           |   |
| 2       | 4,42   | 43316 | 0,047     | 0,015    | 0,00155823    | 27,79820772      |                       |   |
| 3       | 5,41   | 53018 | 0,069     | 0,042    | 0,00235384    | 22,52406212      |                       |   |

Fuente: los autores

Tabla 48. Compresión sobrebasa Santa Rosa Finca 2

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)  | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom compresión (MPa) | E |
|---------|--------|-------|-----------|----------|---------------|------------------|-----------------------|---|
| 1       | 5,08   | 49784 | 0,056     | 0,014    | 0,00230907    | 21,56018962      | 24,03463221           |   |
| 2       | 6,23   | 61054 | 0,058     | 0,017    | 0,0024151     | 25,2801194       |                       |   |
| 3       | 7,38   | 72324 | 0,063     | 0,018    | 0,00286278    | 25,26358761      |                       |   |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Santa Rosa:

Tabla 49. Compresión sobrebasa Santa Rosa indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 2,219542326         | 4,92636814 | 24,53 |

Fuente: los autores



### 6.1.9 La Virginia, compresión de sobrebasa

En las Tablas 50, 51 y 52 se sintetizan los resultados de compresión con la máquina universal de ensayos en la parte sobrebasa de la guadua en las fincas objeto de estudio de La Virginia.

Tabla 50. Compresión sobrebasa La Virginia Finca 1

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)  | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom compresión (MPa) | E |
|---------|--------|-------|-----------|----------|---------------|------------------|-----------------------|---|
| 1       | 8,58   | 84084 | 0,128     | 0,09     | 0,00650624    | 12,92359656      | 16,08783827           |   |
| 2       | 9,1    | 89180 | 0,12      | 0,09     | 0,00494801    | 18,02341311      |                       |   |
| 3       | 9,48   | 92904 | 0,12      | 0,087    | 0,00536505    | 17,31650515      |                       |   |

Fuente: los autores

Tabla 51. Compresión sobrebasa La Virginia Finca 2

| MUESTRA | F(Ton) | F(N)  | D Ext (m) | D Int(m) | A Transversal | E Compresión MPa | Prom compresión (MPa) | E |
|---------|--------|-------|-----------|----------|---------------|------------------|-----------------------|---|
| 1       | 3,8    | 37240 | 0,096     | 0,074    | 0,00293739    | 1,27E+01         | 16,81606073           |   |
| 2       | 4,3    | 42140 | 0,094     | 0,071    | 0,00298059    | 1,41E+01         |                       |   |
| 3       | 7      | 68600 | 0,095     | 0,073    | 0,00290283    | 2,36E+01         |                       |   |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para la Virginia:

Tabla 52. Compresión sobrebasa La Virginia indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 4,166956673         | 17,3635279 | 16,45 |

Fuente: los autores

## 6.2. ESTUDIO DE FLEXIÓN

### 6.2.1 Dosquebradas, estudios de flexión en cepa

En las Tablas 53, 54 y 55 se sintetizan los resultados de flexión con la máquina universal de ensayos en la parte cepa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Dosquebradas.

Tabla 53. Flexión cepa Dosquebradas Finca 1

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 1,4     | 13720 | 0,87  | 0,125 | 0,1   | 31,89066807      | 29,26255695    |
| 2       | 1,45    | 14210 |       | 0,13  | 0,102 | 27,71753722      |                |
| 3       | 1,13    | 11074 |       | 0,12  | 0,095 | 28,17946556      |                |

Fuente: los autores

Tabla 54. Flexión cepa Dosquebradas Finca 2

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 1,35    | 13230 | 0,87  | 0,133 | 0,11  | 28,6894748       | 28,2858304     |
| 2       | 1,41    | 13818 |       | 0,13  | 0,105 | 29,45318658      |                |
| 3       | 1,35    | 13230 |       | 0,128 | 0,1   | 26,71482982      |                |

Fuente: los autores

Tabla 55. Flexión cepa Dosquebradas, indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 1,782796969         | 3,17836503 | 28,77 |

Fuente: los autores

### 6.2.2 Santa Rosa de Cabal, estudios de flexión en cepa

En las Tablas 56, 57 y 58 se sintetizan los resultados de flexión con la máquina universal de ensayos en la parte cepa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Santa Rosa.

Tabla 56. Flexión cepa Santa Rosa Finca 1

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 1,36    | 13328 | 0,87  | 0,13  | 0,105 | 28,40874734      | 25,5338124     |
| 2       | 1,21    | 11858 |       | 0,129 | 0,09  | 18,53061543      |                |
| 3       | 1,42    | 13916 |       | 0,13  | 0,105 | 29,66207443      |                |

Fuente: los autores

Tabla 57. Flexión cepa Santa Rosa Finca 2

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 2,11    | 20678 | 0,87  | 0,12  | 0,092 | 48,25684528      | 45,05697547    |
| 2       | 1,98    | 19404 |       | 0,125 | 0,102 | 48,19768635      |                |
| 3       | 1,64    | 16072 |       | 0,123 | 0,098 | 38,71639478      |                |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Santa Rosa:

Tabla 58. Flexión cepa Santa Rosa indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 11,88603891         | 141,277921 | 35,30 |

Fuente: los autores

### 6.2.3 La Virginia, estudios de flexión en cepa

En las Tablas 59, 60 y 61 se sintetizan los resultados de flexión con la máquina universal de ensayos en la parte cepa de la guadua en las fincas objeto de estudio de La Virginia (ver prueba en Anexo A).

Tabla 59. Flexión cepa La Virginia Finca 1

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 1,27    | 12446 | 0,78  | 0,13  | 0,099 | 20,1523545       | 27,50130701    |
| 2       | 2,05    | 20090 |       | 0,139 | 0,102 | 24,56511106      |                |
| 3       | 2,65    | 25970 |       | 0,152 | 0,129 | 37,78645548      |                |

Fuente: los autores

Tabla 60. Flexión cepa La Virginia Finca 2

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 1,2     | 11760 | 0,78  | 0,128 | 0,104 | 24,02409923      | 33,81752334    |
| 2       | 2,02    | 19796 |       | 0,131 | 0,107 | 38,43405005      |                |
| 3       | 1,98    | 19404 |       | 0,131 | 0,108 | 38,99442076      |                |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para La Virginia:

Tabla 61. Flexión cepa La Virginia indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 8,628768781         | 74,4556507 | 30,66 |

Fuente: los autores

### 6.2.4 Dosquebradas, estudios de flexión en basa

En las Tablas 62, 63 y 64 se sintetizan los resultados de flexión con la máquina universal de ensayos en la parte basa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Dosquebradas (ver ensayo Anexo C).

Tabla 62. Flexión basa Dosquebradas Finca 1

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 0,48    | 4704  | 0,87  | 0,108 | 0,088 | 18,02264586      | 22,72647151    |
| 2       | 0,74    | 7252  |       | 0,111 | 0,09  | 25,15748175      |                |
| 3       | 0,75    | 7350  |       | 0,112 | 0,091 | 24,99928693      |                |

Fuente: los autores

Tabla 63. Flexión basa Dosquebradas Finca 2

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 0,5     | 4900  | 0,87  | 0,12  | 0,094 | 12,09655317      | 19,75317945    |
| 2       | 1,75    | 17150 |       | 0,127 | 0,1   | 36,24127943      |                |
| 3       | 0,5     | 4900  |       | 0,124 | 0,097 | 10,92170576      |                |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Dosquebradas

Tabla 64. Flexión basa Dosquebradas indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 9,538746978         | 90,9876939 | 21,24 |

Fuente: los autores

### 6.2.5 Santa Rosa de Cabal, estudios de flexión en basa

En las Tablas 64, 65 y 66 se sintetizan los resultados de flexión con la máquina universal de ensayos en la parte basa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Santa Rosa.

Tabla 65. Flexión basa Santa Rosa Finca 1

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 0,84    | 8232  | 0,87  | 0,094 | 0,065 | 32,80363444      | 24,37676949    |
| 2       | 0,73    | 7154  |       | 0,096 | 0,06  | 23,70028669      |                |
| 3       | 0,55    | 5390  |       | 0,102 | 0,07  | 16,62638733      |                |

Fuente: los autores

Tabla 66. Flexión basa Santa Rosa Finca 2

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 0,84    | 8232  | 0,87  | 0,108 | 0,084 | 27,34221449      | 33,4647782     |
| 2       | 0,86    | 8428  |       | 0,104 | 0,085 | 36,55820569      |                |
| 3       | 1,25    | 12250 |       | 0,109 | 0,082 | 36,49391442      |                |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Santa Rosa

Tabla 67. Flexión basa Santa Rosa indicadores

| Desviación estándar | Varianza  | Media |
|---------------------|-----------|-------|
| 7,895020016         | 62,331341 | 28,92 |

Fuente: los autores

### 6.2.6 La Virginia, estudios de flexión en basa

En las Tablas 68, 69 y 70 se sintetizan los resultados de flexión con la máquina universal de ensayos en la parte basa de la guadua en las fincas objeto de estudio de La Virginia

Tabla 68. Flexión basa La Virginia Finca 1

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 1,64    | 16072 | 0,78  | 0,125 | 0,099 | 32,48089621      | 23,07964577    |
| 2       | 0,9     | 8820  |       | 0,128 | 0,102 | 16,91091173      |                |
| 3       | 1,02    | 9996  |       | 0,126 | 0,1   | 19,84712936      |                |

Fuente: los autores

Tabla 69. Flexión basa La Virginia Finca 2

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 2       | 19600 | 0,78  | 0,124 | 0,096 | 38,09671149      | 32,61513263    |
| 2       | 1,5     | 14700 |       | 0,128 | 0,102 | 28,18485288      |                |
| 3       | 1,7     | 16660 |       | 0,127 | 0,1   | 31,56383351      |                |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para La Virginia:

Tabla 70. Flexión basa La Virginia indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 8,050522116         | 64,8109063 | 27,85 |

Fuente: los autores

### 6.2.7 Dosquebradas, estudios de flexión en sobrebasa

En las Tablas 71, 72 y 77 se sintetizan los resultados de flexión con la máquina universal de ensayos en la parte sobrebasa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Dosquebradas.

Tabla 71. Flexión sobrebasa Dosquebradas Finca 1

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 0,56    | 5488  | 0,87  | 0,092 | 0,067 | 25,43980164      | 28,81812624    |
| 2       | 0,78    | 7644  |       | 0,1   | 0,075 | 29,29262522      |                |
| 3       | 0,49    | 4802  |       | 0,082 | 0,06  | 31,72195186      |                |

Fuente: los autores

Tabla 72. Flexión sobrebasa Dosquebradas Finca 2

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 0,62    | 6076  | 0,87  | 0,091 | 0,073 | 36,9245545       | 30,68927258    |
| 2       | 0,5     | 4900  |       | 0,091 | 0,073 | 29,77786654      |                |
| 3       | 0,66    | 6468  |       | 0,105 | 0,084 | 25,3653967       |                |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Dosquebradas:

Tabla 73. Flexión sobrebasa Dosquebradas indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 4,321464301         | 18,6750537 | 29,75 |

Fuente: los autores



### 6.2.8 Santa Rosa de Cabal, estudios de flexión en sobrebasa

En las Tablas 74, 75 y 76 se sintetizan los resultados de flexión con la máquina universal de ensayos en la parte sobrebasa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Santa Rosa.

Tabla 74. Flexión sobrebasa Santa Rosa Finca 1

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 0,44    | 4312  | 0,87  | 0,079 | 0,064 | 41,3736266       | 34,65685298    |
| 2       | 0,46    | 4508  |       | 0,08  | 0,063 | 38,12588185      |                |
| 3       | 0,26    | 2548  |       | 0,081 | 0,067 | 24,47105049      |                |

Fuente: los autores

Tabla 75. Flexión sobrebasa Santa Rosa Finca 2

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 0,66    | 6468  | 0,87  | 0,081 | 0,066 | 58,7404754       | 55,97511279    |
| 2       | 0,74    | 7252  |       | 0,082 | 0,06  | 47,90662117      |                |
| 3       | 0,46    | 4508  |       | 0,061 | 0,04  | 61,27824181      |                |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Santa Rosa:

Tabla 76. Flexión sobrebasa Santa Rosa indicadores

| Desviación estándar | Varianza  | Media |
|---------------------|-----------|-------|
| 13,73661566         | 188,69461 | 45,32 |

Fuente: los autores

### 6.2.9 La Virginia, estudios de flexión en sobrebasa

En las Tablas 77, 78 y 79 se sintetizan los resultados de flexión con la máquina universal de ensayos en la parte sobrebasa de la guadua en las fincas objeto de estudio de La Virginia.

Tabla 77. Flexión sobrebasa La Virginia Finca 1

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 1,44    | 14112 | 0,87  | 0,115 | 0,1   | 60,02254711      | 56,05304581    |
| 2       | 0,85    | 8330  |       | 0,11  | 0,098 | 47,34276517      |                |
| 3       | 1,01    | 9898  |       | 0,11  | 0,099 | 60,79382514      |                |

Fuente: los autores

Tabla 78. Flexión sobrebasa La Virginia Finca 2

| MUESTRA | F (TON) | F (N) | L (m) | DEXT  | DINT  | E, FLEXION (MPA) | PROM E,FLEXION |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1       | 0,99    | 9702  | 0,87  | 0,119 | 0,108 | 50,52137612      | 37,19354422    |
| 2       | 0,72    | 7056  |       | 0,12  | 0,11  | 39,37562245      |                |
| 3       | 0,44    | 4312  |       | 0,121 | 0,11  | 21,68363408      |                |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para La Virginia:

Tabla 79. Flexión sobrebasa La Virginia indicadores

| Desviación estándar | Varianza | Media |
|---------------------|----------|-------|
| 14,63264842         | 214,1144 | 46,62 |

Fuente: los autores

### 6.3. ESTUDIO DE DUREZA

#### 6.3.1 Dosquebradas, estudio de dureza en cepa

En las Tablas 80, 81 y 82 se resumen los resultados del estudio de dureza con la máquina universal de ensayos en la parte cepa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Dosquebradas.

Tabla 80. Dureza cepa Dosquebradas Finca 1

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D, BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|----------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |          |                 |                    |
| 1        | 4       | 4,2 | 4,1              | 187,5 | 10       | 13,578          | 15,43660948        |
| 2        | 3,9     | 3,5 | 3,7              |       |          | 16,820          |                    |
| 3        | 3,6     | 4   | 3,8              |       |          | 15,913          |                    |

Fuente: los autores

Tabla 81. Dureza cepa Dosquebradas Finca 2

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D, BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|----------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |          |                 |                    |
| 1        | 4,1     | 3,7 | 3,9              | 187,5 | 10       | 15,074          | 13,18400887        |
| 2        | 4       | 4,2 | 4,1              |       |          | 13,578          |                    |
| 3        | 4,7     | 4,4 | 4,55             |       |          | 10,900          |                    |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Dosquebradas:

Tabla 82. Dureza cepa Dosquebradas indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 2,104801553         | 4,43018958 | 14,31 |

Fuente: los autores

### 6.3.2 Santa Rosa de Cabal, estudio de dureza en cepa

En las Tablas 83, 84 y 85 se resumen los resultados del estudio de dureza con la máquina universal de ensayos en la parte cepa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Santa Rosa.

Tabla 83. Dureza cepa Santa Rosa Finca 1

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D, BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|----------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |          |                 |                    |
| 1        | 4       | 4,5 | 4,25             | 187,5 | 10       | 12,590          | 11,23173122        |
| 2        | 4,2     | 4,8 | 4,5              |       |          | 11,159          |                    |
| 3        | 4,8     | 4,7 | 4,75             |       |          | 9,946           |                    |

Fuente: los autores

Tabla 84. Dureza cepa Santa Rosa Finca 2

| MUESTRAS | PRUEBAS |   | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D, BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|---|------------------|-------|----------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2 |                  |       |          |                 |                    |
| 1        | 5       | 4 | 4,5              | 187,5 | 10       | 11,159          | 10,3459516         |
| 2        | 6,1     | 4 | 5,05             |       |          | 8,720           |                    |
| 3        | 4       | 5 | 4,5              |       |          | 11,159          |                    |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Santa Rosa:

Tabla 85. Dureza cepa Santa Rosa indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 1,314906418         | 1,72897889 | 10,79 |

Fuente: los autores

### 6.3.3 La Virginia, estudio de dureza en cepa

En las Tablas 86, 87 y 88 se resumen los resultados del estudio de dureza con la máquina universal de ensayos en la parte cepa de la guadua en las fincas objeto de estudio de La Virginia.

Tabla 86. Dureza cepa La Virginia Finca 1

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D, BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|----------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |          |                 |                    |
| 1        | 3,9     | 3,7 | 3,8              | 187,5 | 10       | 15,913          | 14,59603687        |
| 2        | 4       | 4   | 4                |       |          | 14,298          |                    |
| 3        | 4,1     | 4,1 | 4,1              |       |          | 13,578          |                    |

Fuente: los autores

Tabla 87. Dureza cepa La Virginia Finca 2

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D, BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|----------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |          |                 |                    |
| 1        | 3,9     | 3,6 | 3,75             | 187,5 | 10       | 16,357          | 15,00298337        |
| 2        | 4,2     | 4   | 4,1              |       |          | 13,578          |                    |
| 3        | 3,9     | 3,9 | 3,9              |       |          | 15,074          |                    |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para La Virginia:

Tabla 88. Dureza cepa La Virginia indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 1,181407752         | 1,39572428 | 14,80 |

Fuente: los autores

### 6.3.4 Dosquebradas, estudio de dureza en basa

En las Tablas 89, 90 y 91 se resumen los resultados del estudio de dureza con la máquina universal de ensayos en la parte basa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Dosquebradas.

Tabla 89. Dureza basa Dosquebradas Finca 1

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D,<br>BALIN | HB<br>(Kgf/mm <sup>2</sup> ) | PROM, HB (Kgf/mm <sup>2</sup> ) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|-------------|------------------------------|---------------------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |             |                              |                                 |
| 1        | 4,2     | 4   | 4,1              | 187,5 | 10          | 13,578                       | 11,56074727                     |
| 2        | 4,5     | 5   | 4,75             |       |             | 9,946                        |                                 |
| 3        | 4,5     | 4,5 | 4,5              |       |             | 11,159                       |                                 |

Fuente: los autores

Tabla 90. Dureza basa Dosquebradas Finca 2

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D,<br>BALIN | HB<br>(Kgf/mm <sup>2</sup> ) | PROM, HB (Kgf/mm <sup>2</sup> ) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|-------------|------------------------------|---------------------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |             |                              |                                 |
| 1        | 4       | 4,2 | 4,1              | 187,5 | 10          | 13,578                       | 15,93883345                     |
| 2        | 3,9     | 3,2 | 3,55             |       |             | 18,326                       |                                 |
| 3        | 3,6     | 4   | 3,8              |       |             | 15,913                       |                                 |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Dosquebradas:

Tabla 91. Dureza basa Dosquebradas indicadores

| Desviación estándar | Varianza  | Media |
|---------------------|-----------|-------|
| 3,061519443         | 9,3729013 | 13,75 |

Fuente: los autores

### 6.3.5 Santa Rosa de Cabal, estudio de dureza en basa

En las Tablas 92, 93 y 94 se resumen los resultados del estudio de dureza con la máquina universal de ensayos en la parte basa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Santa Rosa.

Tabla 92. Dureza basa Santa Rosa Finca 1

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D,<br>BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|-------------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |             |                 |                    |
| 1        | 6       | 4,3 | 5,15             | 187,5 | 10          | 8,358           | 10,23690126        |
| 2        | 4,5     | 4,3 | 4,4              |       |             | 11,702          |                    |
| 3        | 4,3     | 4,9 | 4,6              |       |             | 10,650          |                    |

Fuente: los autores

Tabla 93. Dureza basa Santa Rosa Finca 2

| MUESTRAS | PRUEBAS |   | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D,<br>BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|---|------------------|-------|-------------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2 |                  |       |             |                 |                    |
| 1        | 4,2     | 4 | 4,1              | 187,5 | 10          | 13,578          | 13,29354607        |
| 2        | 4,5     | 5 | 4,75             |       |             | 9,946           |                    |
| 3        | 4,5     | 3 | 3,75             |       |             | 16,357          |                    |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Santa Rosa:

Tabla 94. Dureza basa Santa Rosa indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 2,847224825         | 8,10668921 | 11,77 |

Fuente: los autores

### 6.3.6 La Virginia, estudio de dureza en basa

En las Tablas 95, 96 y 97 se resumen los resultados del estudio de dureza con la máquina universal de ensayos en la parte basa de la guadua en las fincas objeto de estudio de La Virginia.

Tabla 95. Dureza basa La Virginia Finca 1

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D,<br>BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|-------------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |             |                 |                    |
| 1        | 4,3     | 4,2 | 4,25             | 187,5 | 10          | 12,590          | 12,8058746         |
| 2        | 4       | 4,3 | 4,15             |       |             | 13,237          |                    |
| 3        | 4,5     | 4   | 4,25             |       |             | 12,590          |                    |

Fuente: los autores

Tabla 96. Dureza basa La Virginia Finca 2

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D,<br>BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|-------------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |             |                 |                    |
| 1        | 3,9     | 4   | 3,95             | 187,5 | 10          | 14,679          | 14,46691819        |
| 2        | 4,2     | 3,5 | 3,85             |       |             | 15,485          |                    |
| 3        | 3,9     | 4,4 | 4,15             |       |             | 13,237          |                    |

Fuente: los autores

Dureza basa La Virginia, indicadores

Tabla 97. Indicadores estadísticos para La Virginia:

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 1,184276707         | 1,40251132 | 13,64 |

Fuente: los autores



### 6.3.7 Dosquebradas, estudio de dureza en sobrebasa

En las Tablas 98, 99 y 100 se resumen los resultados del estudio de dureza con la máquina universal de ensayos en la parte sobrebasa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Dosquebradas.

Tabla 98. Dureza sobrebasa Dosquebradas Finca 1

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D,<br>BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|-------------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |             |                 |                    |
| 1        | 3,8     | 3,7 | 3,75             | 187,5 | 10          | 16,357          | 15,64950109        |
| 2        | 4,2     | 3,4 | 3,8              |       |             | 15,913          |                    |
| 3        | 3,5     | 4,4 | 3,95             |       |             | 14,679          |                    |

Fuente: los autores

Tabla 99. Dureza sobrebasa Dosquebradas Finca 2

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D,<br>BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|-------------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |             |                 |                    |
| 1        | 3,8     | 4,3 | 4,05             | 187,5 | 10          | 13,931          | 14,84718404        |
| 2        | 4,4     | 4,2 | 4,3              |       |             | 12,284          |                    |
| 3        | 3,6     | 3,5 | 3,55             |       |             | 18,326          |                    |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Dosquebradas:

Tabla 100. Dureza sobrebasa Dosquebradas indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 2,097178489         | 4,39815762 | 15,25 |

Fuente: los autores

### 6.3.8 Santa Rosa de Cabal, estudio de dureza en sobrebasa

En las Tablas 101, 101 y 103 se resumen los resultados del estudio de dureza con la máquina universal de ensayos en la parte sobrebasa de la guadua en las fincas objeto de estudio de Santa Rosa.

Tabla 101. Dureza sobrebasa Santa Rosa Finca 1

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D,<br>BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|-------------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |             |                 |                    |
| 1        | 4       | 4,8 | 4,4              | 187,5 | 10          | 11,702          | 13,3195441         |
| 2        | 4       | 3,9 | 3,95             |       |             | 14,679          |                    |
| 3        | 4,5     | 3,7 | 4,1              |       |             | 13,578          |                    |

Fuente: los autores

Tabla 102. Dureza sobrebasa Santa Rosa Finca 2

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D,<br>BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|-------------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |             |                 |                    |
| 1        | 3,7     | 5   | 4,35             | 187,5 | 10          | 11,988          | 12,61662871        |
| 2        | 4       | 4,2 | 4,1              |       |             | 13,578          |                    |
| 3        | 4,2     | 4,4 | 4,3              |       |             | 12,284          |                    |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para Santa Rosa:

Tabla 103. Dureza sobrebasa Santa Rosa indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 1,15753627          | 1,33989022 | 12,97 |

Fuente: los autores

### 6.3.9 La Virginia, estudio de dureza en sobrebasa

En las Tablas 104, 105 y 106 se resumen los resultados del estudio de dureza con la máquina universal de ensayos en la parte sobrebasa de la guadua en las fincas objeto de estudio de La Virginia.

Tabla 104. Dureza sobrebasa La Virginia Finca 1

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D,<br>BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|-------------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |             |                 |                    |
| 1        | 5       | 4,5 | 4,75             | 187,5 | 10          | 9,946           | 15,17064874        |
| 2        | 3,7     | 4,5 | 4,1              |       |             | 13,578          |                    |
| 3        | 3,5     | 3   | 3,25             |       |             | 21,988          |                    |

Fuente: los autores

Tabla 105. Dureza sobrebasa La Virginia Finca 2

| MUESTRAS | PRUEBAS |     | PROM,<br>PRUEBAS | F     | D,<br>BALIN | HB<br>(Kgf/mm2) | PROM, HB (Kgf/mm2) |
|----------|---------|-----|------------------|-------|-------------|-----------------|--------------------|
|          | 1       | 2   |                  |       |             |                 |                    |
| 1        | 3,9     | 3,2 | 3,55             | 187,5 | 10          | 18,326          | 15,19853551        |
| 2        | 4,5     | 4   | 4,25             |       |             | 12,590          |                    |
| 3        | 3,9     | 4   | 3,95             |       |             | 14,679          |                    |

Fuente: los autores

Indicadores estadísticos para La Virginia:

Tabla 106. Dureza sobrebasa La Virginia Indicadores

| Desviación estándar | Varianza   | Media |
|---------------------|------------|-------|
| 4,316781525         | 18,6346027 | 15,18 |

Fuente: los autores

## 7. ANÁLISIS

Las pruebas de hipótesis entre dos medias poblacionales se utilizan para dos casos:

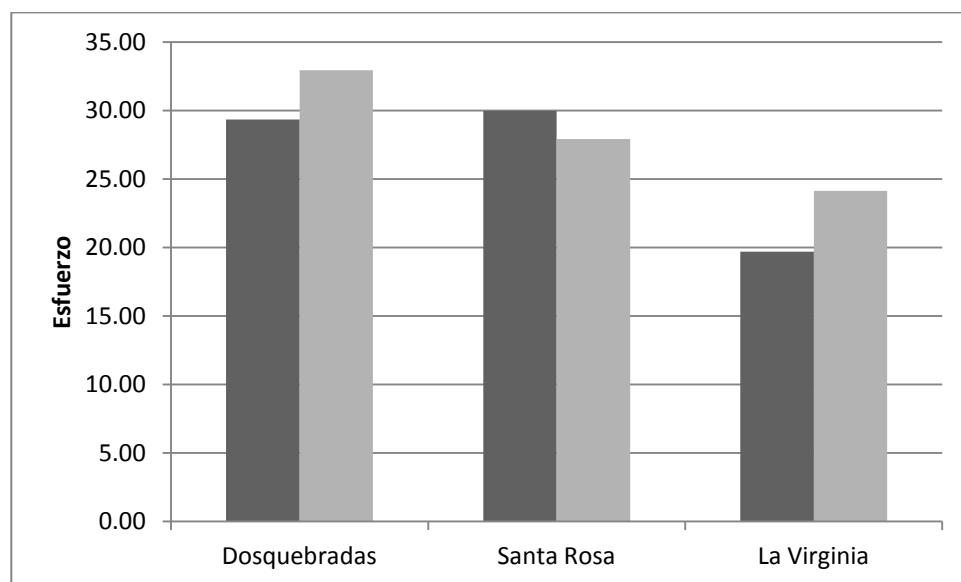
- Cuando las muestras son independientes, es decir, provienen de dos poblaciones diferentes y se quiere comprobar cuál es mejor o peor.
- Cuando las muestras son dependientes y se quiere comprobar si hay un cambio significativo entre los dos estados de esa población.

### 7.1. ANÁLISIS DE COMPRESIÓN

#### 7.1.1. *Análisis de compresión de cepa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia*

En el Gráfico 1 se observa el comportamiento del promedio de compresión de la parte cepa de la guadua entre Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia en relación a la altura sobre el nivel del mar (Tabla 107).

Gráfico 1. Promedio compresión cepa en Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia



Fuente: los autores

Tabla 107. Altura sobre el nivel del mar

| Altura sobre el nivel del mar (m) |             |               |
|-----------------------------------|-------------|---------------|
| Dosquebradas                      | Santa Rosa  | La Virginia   |
| 1411 ms.n.m                       | 1715 ms.n.m | 899,00 ms.n.m |

Fuente: los autores

Respecto a los datos obtenidos en los ensayos, se puede observar que las características de la guadua en la parte cepa, respecto a la compresión son mejores en Dosquebradas que en Santa Rosa y La Virginia. Sin embargo, el comportamiento en Dosquebradas. Y Santa Rosa es similar, pero en La Virginia es significativamente diferente; es por tal motivo que se puede inferir que la altura influye en las características de la guadua en la parte de la cepa, ya que la altura de La Virginia es menor a la de Santa Rosa y Dosquebradas.

La conclusión anterior se realizó observando el comportamiento del promedio de los datos obtenidos por cada región; sin tener en cuenta la desviación estándar y la varianza.

Cuando se realiza una investigación con base a una muestra de una población, se obtienen estimadores que únicamente caracterizan dicha muestra, y por lo que para concluir sobre la población en general, con base a estos estimadores, se debe generar unas hipótesis y aplicar las técnica de inferencia respectivas que permitan validar la información obtenida y así poder hablar de la población generalizada.

Para corroborar esta afirmación, se realizó una prueba de hipótesis entre las medias registradas para la guadua de Dosquebradas y la de La Virginia.

Prueba de hipótesis para dos medias poblacionales para muestras inferiores a 30 datos:

H0= Hipótesis Nula

Ha= Hipótesis alterna

H0 :  $X_1 - X_2 = 0$

Ha:  $X_1 > X_2$

$X_1$ =Media de Dosquebradas= 31,14

$X_2$ =Media de La Virginia= 21,91

$S_1$ = Desviación estándar Dosquebradas= 3,42

$S_2$ = Desviación estándar La Virginia=4,72

$n_1=n_2=6$

Ecuación 5. Prueba de hipótesis 1

$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$S=2,86$

Ecuación 6. Prueba de hipótesis 2

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - D_0}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$t= 5,59$

Con un grado de libertad igual a 4 y con un nivel de significancia igual a 5%:

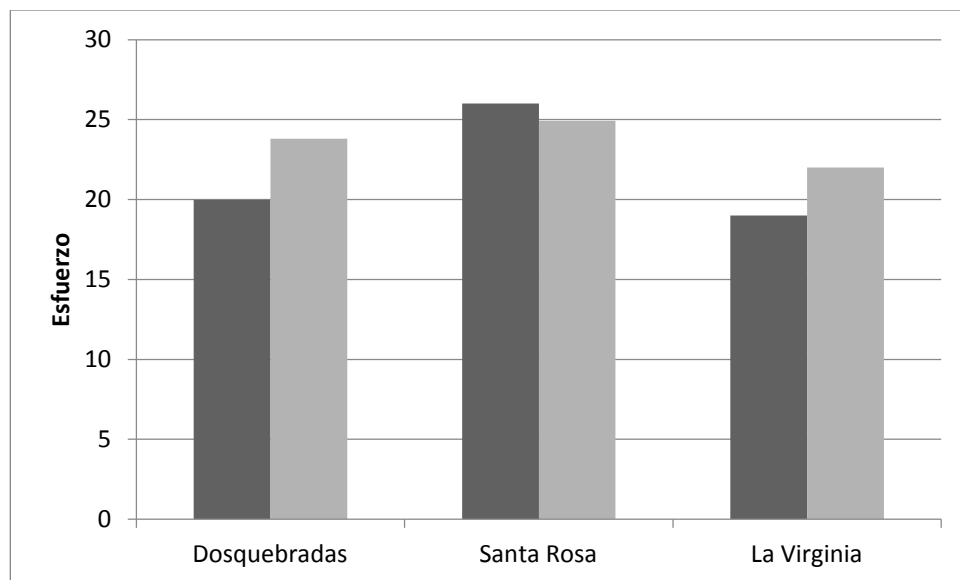
$t= 2,132$

De acuerdo a estos resultados hay evidencia con una probabilidad del 95% para rechazar la hipótesis nula. Luego en Dosquebradas la guadua en la parte de la cepa tiene mejores características para la compresión que en La Virginia.

### 7.1.2 Análisis de compresión de basa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia

En el Gráfico 2 se muestra el comportamiento gráfico de promedio de compresión en basa en Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia.

Gráfico 2. Promedio compresión basa



Fuente: los autores

De acuerdo a los datos obtenidos, la guadua cultivada en Santa Rosa tiene un mejor comportamiento que en Dosquebradas y La Virginia. A diferencia de lo que sucedió en el análisis de la parte de la cepa, Dosquebradas y La Virginia tiene un comportamiento similar, mientras que Santa Rosa muestra mejores características para la compresión.

Respecto a las desviaciones y varianzas registradas por cada región se determinó que para La Virginia, Santa Rosa y Dosquebradas son 7,1 – 50,5, 4,2-17,4 y 5,4- 29, respectivamente. Frente a esta información se puede decir que los datos en La Virginia

presentan alta variabilidad y con una muestra más grande el promedio de la compresión podría variar significativamente.

Para determinar si las características de la guadua en la parte de la basa cultivadas en Santa Rosa son mayores que la cultivada en La Virginia, se realizó una prueba de hipótesis.

Prueba de hipótesis para dos medias poblacionales para muestras inferiores a 30 datos:

H0= Hipótesis Nula

Ha= Hipótesis alterna

H0:  $X_1 - X_2 = 0$

Ha:  $X_1 - X_2 > 0$

X1=Media de Santa Rosa= 25,46

X2=Media de La Virginia= 20,5

S1= Desviación estándar Santa Rosa= 4,17

S2= Desviación estándar La Virginia=7,1

n1=n2=6

Ecuación 7. Prueba de hipótesis 1

$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

S=5,82

Ecuación 8. Prueba de hipótesis 2

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - D_0}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

t= 1,48

Con un grado de libertad igual a 4 y con un nivel de significancia igual a 5%:

t= 2,132

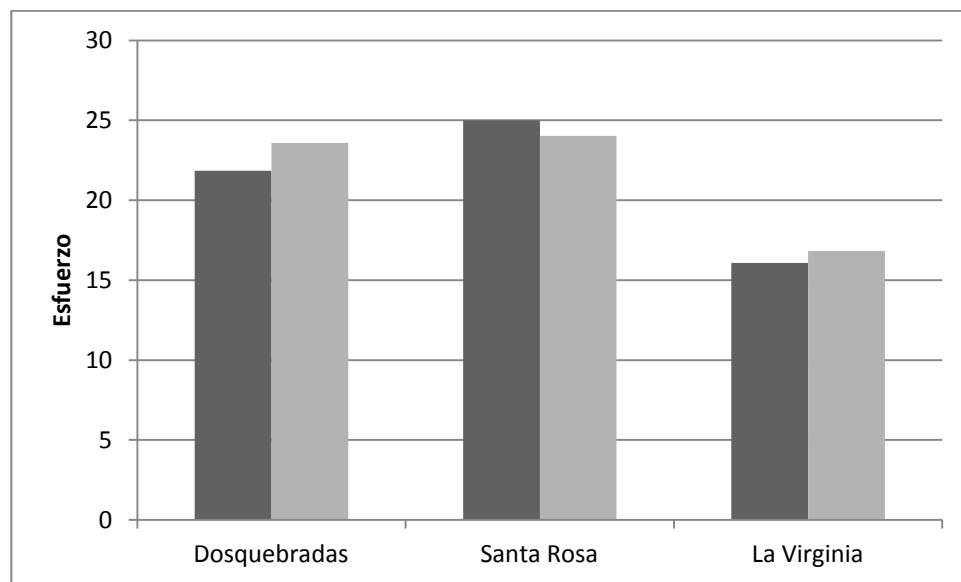


De acuerdo a estos resultados no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula. Luego en Santa Rosa la guadua en la parte de la basa no tiene mejores característica para la compresión que en La Virginia.

### **7.1.3 Análisis de compresión de sobrecarga en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia**

En el Gráfico 3 se muestra el comportamiento gráfico de promedio de compresión en la parte sobrecarga en Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia.

Gráfico 3. Promedio de compresión en la parte de la sobrecarga en Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia:



Fuente: los autores

Los datos arrojados sobre el promedio de compresión en la sobrecarga fueron 22,71, 24,53 y 16,46 para Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia respectivamente. Frente a estos indicadores se puede decir que la guadua cultivada en La Virginia resiste una compresión significativamente menor que en Santa Rosa y Dosquebradas. La variación de los datos no es muy significativa para ninguna de las tres regiones con una varianza de 11,5, 4,9 y 17,4 para Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia respectivamente.

Prueba de hipótesis para dos medias poblacionales para muestras inferiores a 30 datos:

H0= Hipótesis Nula

Ha= Hipótesis alterna

H0 :  $X_1 - X_2 = 0$

Ha:  $X_1 <, X_2 > 0$

X1=Media de Santa Rosa= 24,53

X2=Media de La Virginia= 16,45

S1= Desviación estándar Santa Rosa= 2,22

S2= Desviación estándar la Virginia=4,16

$n_1 = n_2 = 6$

Ecuación 9. Prueba de hipótesis 1

$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

S=3,33

Ecuación 10. Prueba de hipótesis 2

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - D_0}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

t= 4,2

Con un grado de libertad igual a 4 y con un nivel de significancia igual a 5%:

t= 2,132

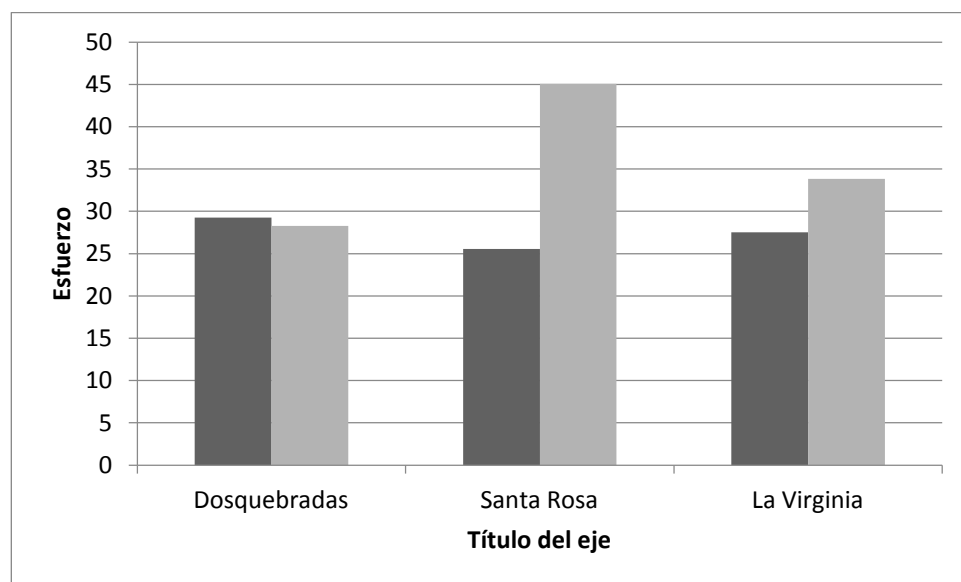
De acuerdo a estos resultados hay evidencia para rechazar la hipótesis nula Luego en Santa Rosa la guadua en la parte de la sobrebasa tiene mejores características para la compresión que en la Virginia,

## 7.2. ANÁLISIS DE FLEXIÓN

### 7.2.1. Análisis de flexión en cepa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia

En el Gráfico 4 se muestra el comportamiento gráfico de promedio de compresión en la cepa de la guadua en Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia.

Gráfico 4. Promedio flexión cepa en Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia



Fuente: los autores

Los indicadores estadísticos arrojados respecto al promedio de flexión en cada una de las regiones son: 28,77, 35,30 y 30, 66 en Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia respectivamente. De acuerdo a estos datos, la guadua que tiene mejores características para la flexión es la cultivada en Santa Rosa y la que tiene menos características es la cultivada en Dosquebradas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las desviaciones y las variaciones son significativas para Santa Rosa y La Virginia, por lo que se va

verificar por prueba de hipótesis si realmente la guadua cultivada en Santa Rosa es mejor que la de Dosquebradas.

Prueba de hipótesis para dos medias poblacionales para muestras inferiores a 30 datos:

H0= Hipótesis Nula

Ha= Hipótesis alterna

H0:  $X_1 - X_2 = 0$

Ha:  $X_1 > X_2$

X1=Media de Santa Rosa= 35,3

X2=Media de Dosquebradas= 28,77

S1= Desviación estándar Santa Rosa= 11,9

S2= Desviación estándar la Virginia=1,8

n1=n2=6

Ecuación 11. Prueba de hipótesis 1

$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

S=8,5

Ecuación 12. Prueba de hipótesis 2

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - D_0}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

t= 1,33

Con un grado de libertad igual a 4 y con un nivel de significancia igual a 5%:

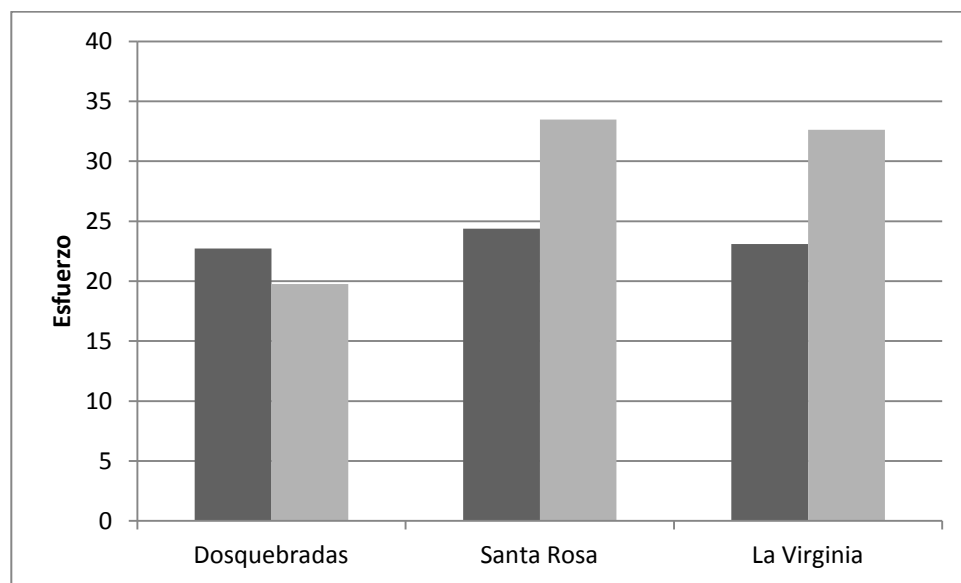
t= 2,132

Los resultados arrojan que no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula. Luego en Santa Rosa la guadua en la parte de la cepa no tiene mejores características para la flexión que en Dosquebradas, por lo tanto, se puede inferir que la altura no influye en las características de flexión de la parte de la cepa de la guadua.

### **7.2.2 Análisis de flexión en la basa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia**

En el Gráfico 5 se muestra el comportamiento gráfico de promedio de flexión en la basa en Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia

Gráfico 5. Promedio de flexión en basa



Fuente: los autores

De acuerdo a los resultados observados, el comportamiento para la flexión en la basa es similar tanto para Santa Rosa como para La Virginia. Sin embargo, en Dosquebradas las características para flexión fueron inferiores. Para las tres regiones las desviaciones y la varianza son significativamente altas, por lo tanto para corroborar esta afirmación se realiza una prueba de hipótesis entre Santa Rosa y Dosquebradas.

Prueba de hipótesis para dos medias poblacionales para muestras inferiores a 30 datos:

H0= Hipótesis Nula

Ha= Hipótesis alterna

H0:  $X_1 - X_2 = 0$

Ha:  $X_1 <, X_2 > 0$

X1=Media de Santa Rosa= 28,92

X2=Media de Dosquebradas= 21,24

S1= Desviación estándar Santa Rosa= 7,89

S2= Desviación estándar La Virginia=9,54

n1=n2=6

Ecuación 13. Prueba de hipótesis 1

$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

S=8,75

Ecuación 14. Prueba de hipótesis 2

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - D_0}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

t= 1,52

Con un grado de libertad igual a 4 y con un nivel de significancia igual a 5%:

t= 2,132

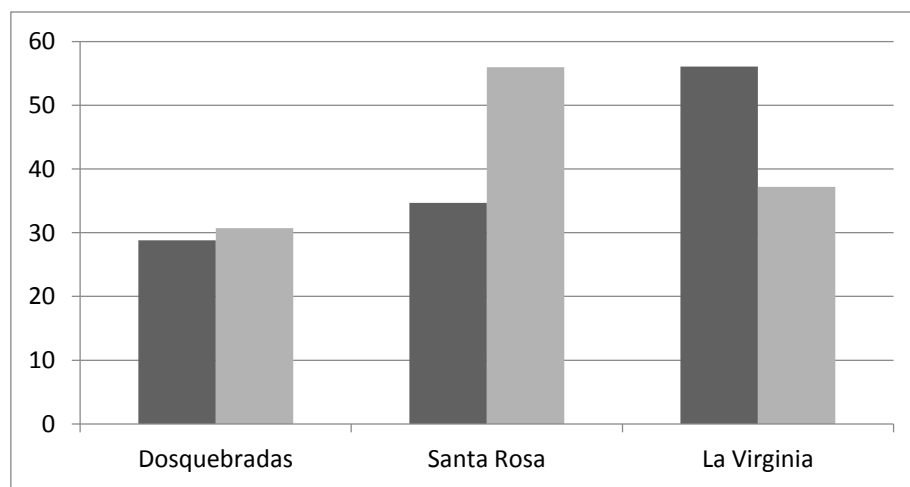
No hay evidencia para rechazar la hipótesis nula, ya que en Santa Rosa la guadua en la parte de la basa no tiene mejores características para la flexión que en Dosquebradas. Por

lo tanto, se puede inferir que la altura no influye en las características de flexión de la parte de la basa de la guadua,

### **7.1.3 Análisis de flexión en la sobrebasa entre Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia**

En el Gráfico 6 se vislumbra el comportamiento gráfico de promedio de flexión en la sobrebasa en Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia.

Gráfico 6. Flexión en la sobrebasa



Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia

Fuente: los autores

Los datos que arroja la muestra permiten inferir que las características de la guadua en Santa Rosa y La Virginia son mejores que la de Dosquebradas. Sin embargo, se puede observar que las desviaciones y la varianzas son muy altas para todas las regiones y con el fin de confirmar la afirmación anterior se realiza una prueba de hipótesis comparando las medias de Dosquebradas y Santa Rosa.

Prueba de hipótesis para dos medias poblacionales para muestras inferiores a 30 datos:

H<sub>0</sub>= Hipótesis Nula

Ha= Hipótesis alterna

H0:  $X_1 - X_2 = 0$

Ha:  $X_1 > X_2 > 0$

$X_1$ =Media de Santa Rosa= 45,32

$X_2$ =Media de Dosquebradas= 29,75

$S_1$ = Desviación estándar Santa Rosa= 13,73

$S_2$ = Desviación estándar la Virginia=4,32

$n_1 = n_2 = 6$

Ecuación 15. Prueba de hipótesis 1

$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$S = 10,18$

Ecuación 16. Prueba de hipótesis 2

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - D_0}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$t = 2,65$

Con un grado de libertad igual a 4 y con un nivel de significancia igual a 5%:

$t = 2,132$



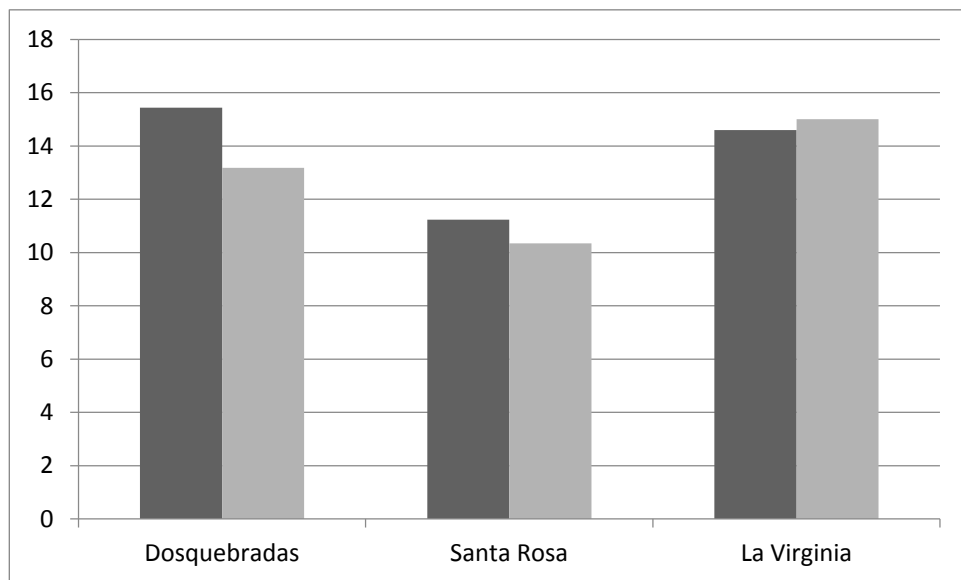
De acuerdo a estos resultados hay evidencia para rechazar la hipótesis nula. Luego en Santa Rosa la guadua en la parte de la sobrepasa tiene mejores características para la flexión que en Dosquebradas.

### 7.3. ANÁLISIS DUREZA

#### 7.3.1. Análisis de dureza de la cepa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia

En el gráfico 7 se vislumbra el comportamiento gráfico de promedio de dureza de la cepa de la guadua entre Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia.

Gráfico 7. Promedio de dureza de la cepa en Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia



Fuente: los autores

Observando los datos arrojados respecto al promedio de dureza en la cepa de la guadua, se puede plantear que la dureza de la cepa no se ve influenciada por la altura donde se cultiva la guadua, debido a que el comportamiento entre Dosquebradas y la Virginia es similar a pesar que se encuentran a diferentes alturas. Con el objetivo de determinar si

Santa Rosa tiene un comportamiento similar a La Virginia, se realiza una prueba de hipótesis para las dos medias.

Prueba de hipótesis para dos medias poblacionales para muestras inferiores a 30 datos:

H0= Hipótesis Nula

Ha= Hipótesis alterna

H0:  $X_1 - X_2 = 0$

Ha:  $X_1 - X_2 > 0$

$X_1$ =Media de La Virginia= 14,8

$X_2$ =Media de Santa Rosa= 10,79

$S_1$ = Desviación estándar La Virginia = 1,18

$S_2$ = Desviación estándar Santa Rosa=1,314

$n_1 = n_2 = 6$

Ecuación 17. Prueba de hipótesis 1

$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

S= 5,56

Ecuación 18. Prueba de hipótesis 2

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - D_0}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

t= 1,52

Con un grado de libertad igual a 4 y con un nivel de significancia igual a 5%:

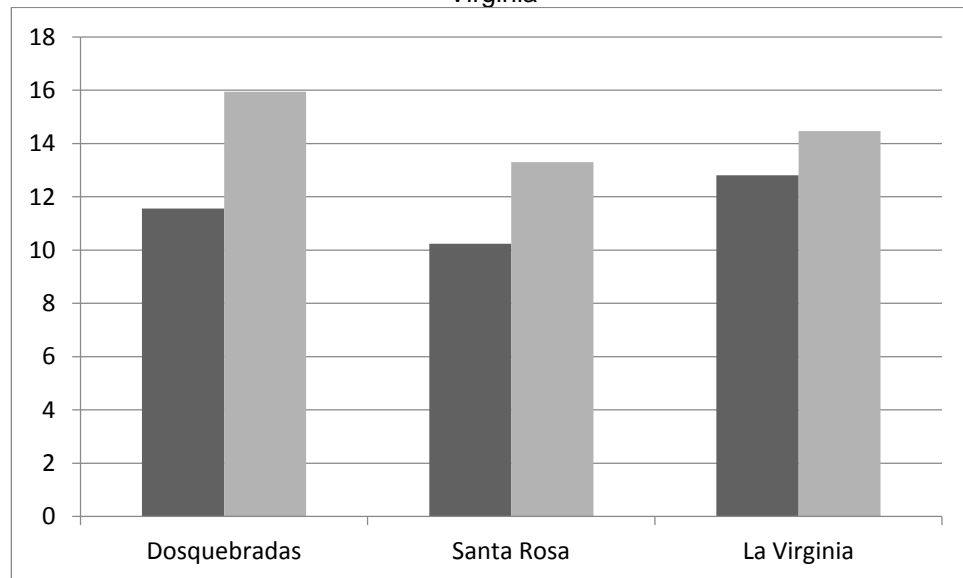
t= 2,132

Se concluye que no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula, pues en La Virginia la guadua en la parte de la cepa no tiene mejores características para la dureza que en Santa Rosa.

### **7.3.2 Análisis de dureza de la basa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia**

A continuación, Gráfica 8, se muestra el comportamiento gráfico de promedio de dureza de la basa de la guadua entre Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia.

Gráfico 8. Promedio de dureza de la basa de la guadua entre Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia



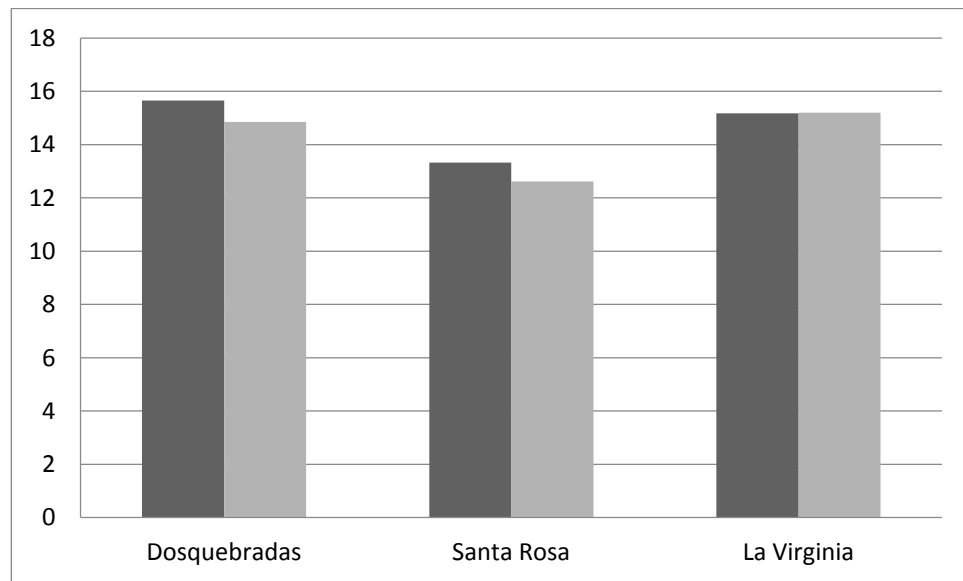
Fuente: los autores

De acuerdo a los indicadores estadísticos el comportamiento en las tres regiones es similar debido a que las medias son: 13,75, 11,77 y 13,64 para Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia respectivamente. Debido a que la desviación y la varianza no son significativas se puede inferir las características de la dureza en la basa no se ve afectada por la altura donde se cultiva.

### 7.3.3 Análisis de dureza en la sobrebasa en Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia

En la Gráfica 8 se muestra el Comportamiento gráfico de promedio de dureza en la sobrebasa entre Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia:

Gráfico 9. Dureza en la sobrebasa en Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia



Fuente: los autores

De acuerdo a los datos obtenidos, el comportamiento de la dureza en la sobrebasa es similar en las tres regiones. Sin embargo, la guadua cultivada en La Virginia es posible que tenga mejores características de dureza que la de Santa Rosa. Para corroborar esta afirmación se realiza una prueba de hipótesis entre Santa Rosa y La Virginia.

Prueba de hipótesis para dos medias poblacionales para muestras inferiores a 30 datos:

$H_0$  = Hipótesis Nula

$H_a$  = Hipótesis alterna

$H_0: X_1 - X_2 = 0$

$H_a: X_1 - X_2 > 0$

X1=Media de La Virginia= 15,18

X2=Media de Santa Rosa= 12,97

S1= Desviación estándar La Virginia = 4,3

S2= Desviación estándar Santa Rosa=1,15

n1=n2=6

Ecuación 19. Prueba de hipótesis 1

$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

S= 3,15

Ecuación 20. Prueba de hipótesis 2

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - D_0}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

t= 1,21

Con un grado de libertad igual a 4 y con un nivel de significancia igual a 5%:

t= 2,132

Se concluye que no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula. Luego en La Virginia la guadua en la parte de la sobrebasa no tiene mejores características para la dureza que en Santa Rosa.

## 7.4. ANÁLISIS DE SUELOS

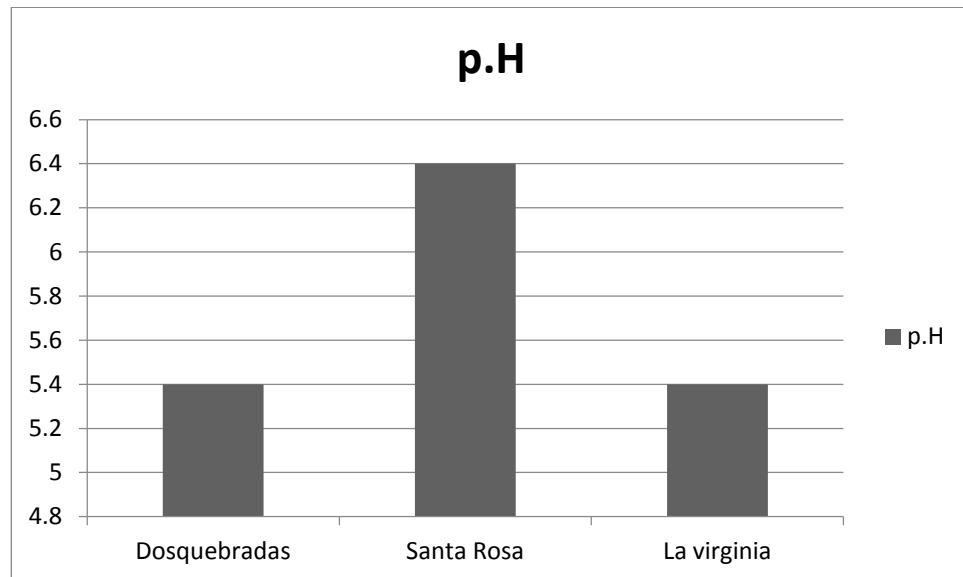
En la Tabla 108 se consignan los valores de las propiedades químicas de los suelos en las tres zonas de estudio (ver anexos D, E y F).

Tabla 108. Ensayo de suelos

|                 | <b>p,H</b> | <b>N</b> | <b>M,O</b> | <b>k</b> | <b>Ca</b> | <b>Mg</b> | <b>P</b> |
|-----------------|------------|----------|------------|----------|-----------|-----------|----------|
| Dosquebradas    | 5,4        | 0,41     | 10,3       | 0,52     | 2,6       | 0,8       | 3        |
| Santa Rosa de C | 6,4        | 0,29     | 6,7        | 1,78     | 13,7      | 1,5       | 11       |
| La Virginia     | 5,4        | 0,49     | 12,9       | 0,34     | 5         | 1,7       | 9        |

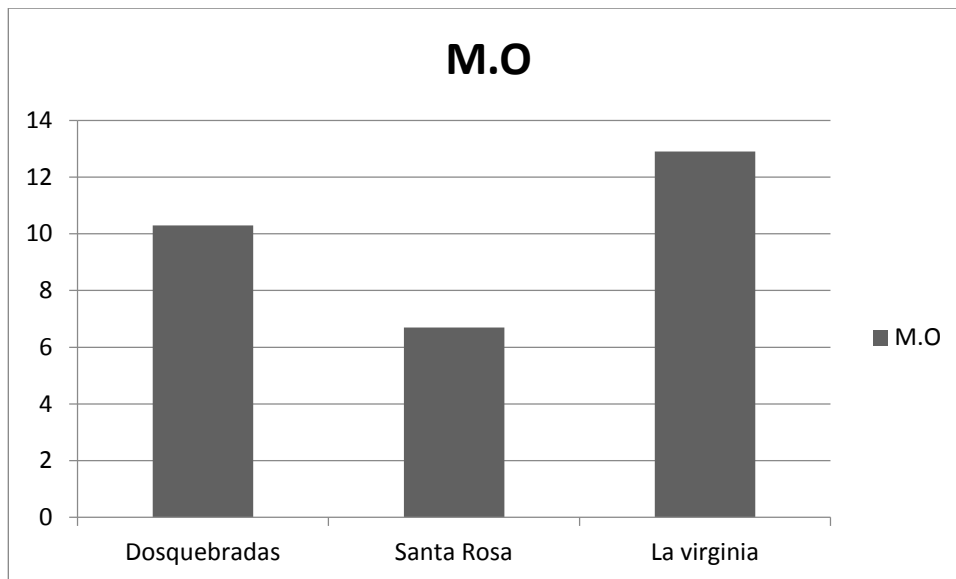
Fuente: los autores

Gráfico 10. pH del suelo de Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia



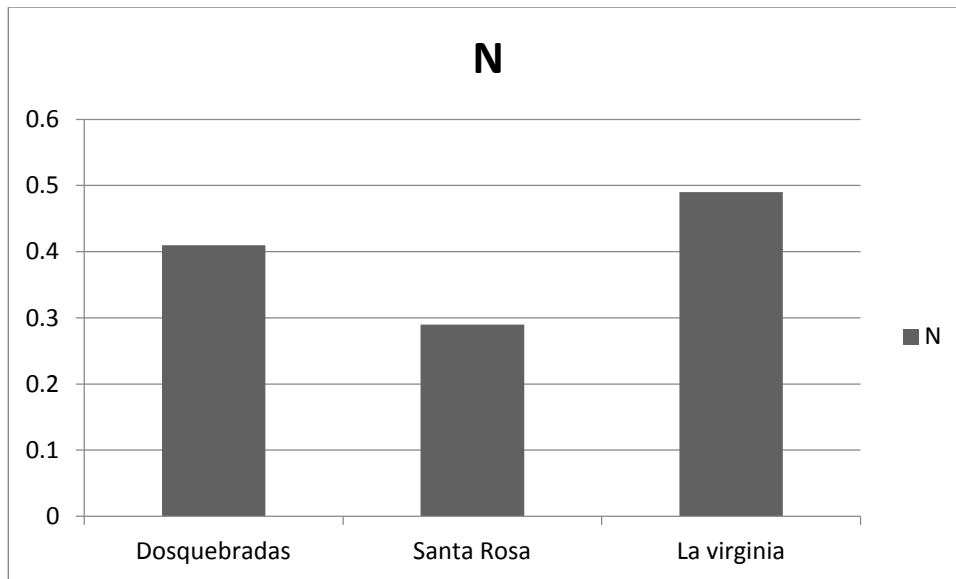
Fuente: los autores

Gráfico 11. M.O del suelo de Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia



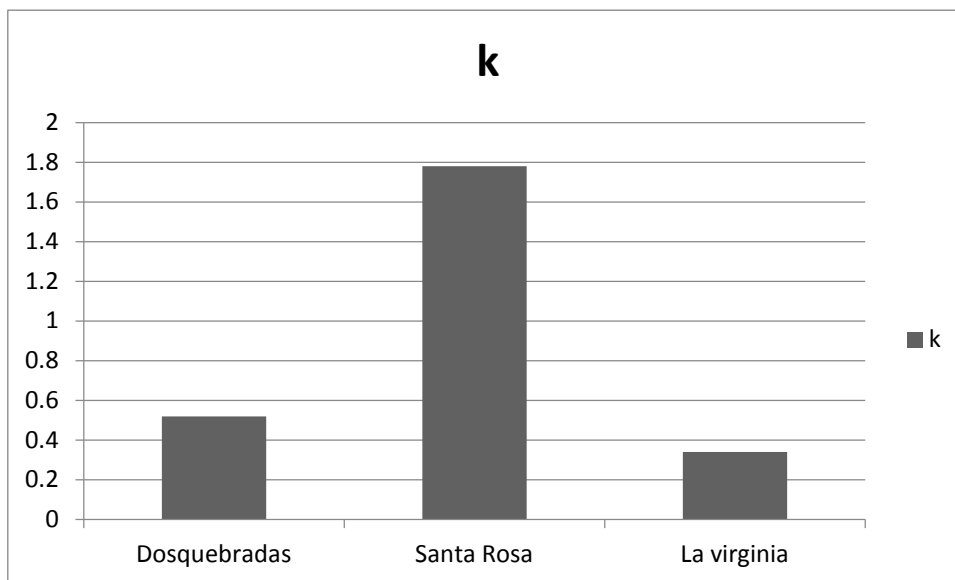
Fuente: los autores

Gráfico 12. N del suelo de Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia



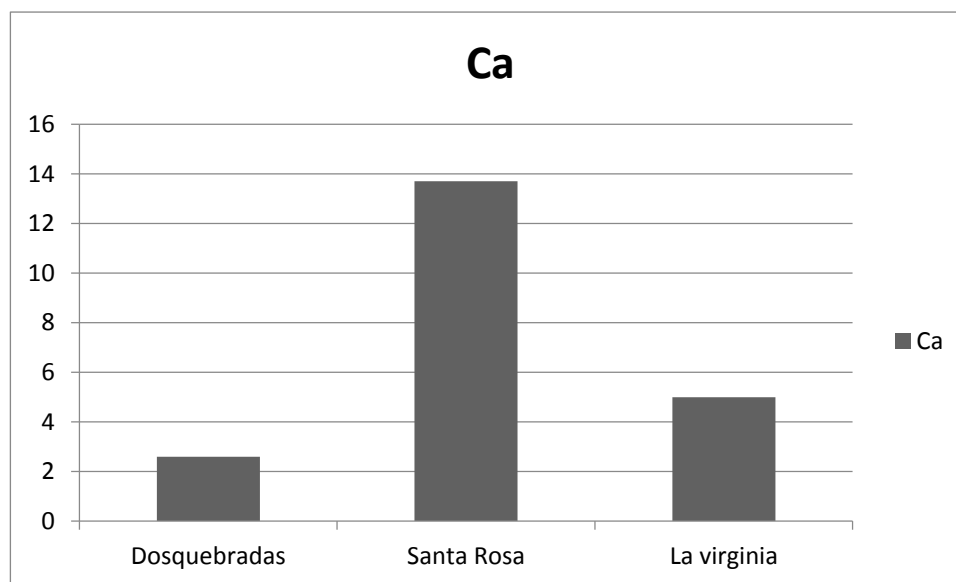
Fuente: los autores

Gráfico 13. K del suelo de Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia



Fuente: los autores

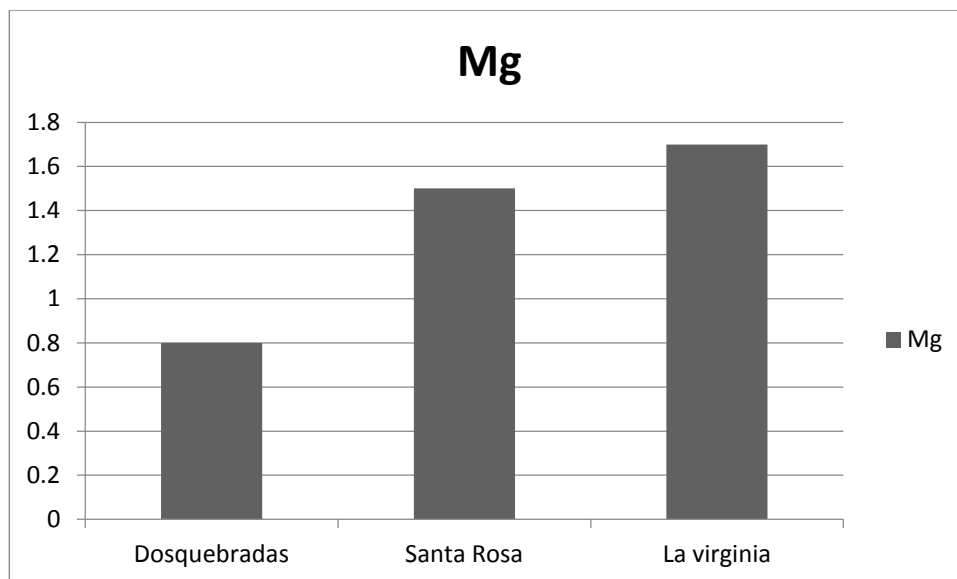
Gráfico 14. K del suelo de Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia



Fuente. Los autores



Gráfico 15. Mg del suelo de Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia



Fuente: los autores

## 8. RESULTADOS

### 8.1. COMPRESIÓN

Se señala los resultados de la investigación en materia de compresión en diferentes partes de la guadua como variable análisis la altura del suelo sobre el nivel del mar (ver Tabla 109)

Tabla 109. Análisis de compresión

| Lugar de la guadua | Análisis   |
|--------------------|--|
| Cepa               | Se determina que la guadua extraída de las fincas de Dosquebradas y de Santa Rosa tiene mejores características respecto a la compresión que la cultivada en La Virginia. Esta afirmación se determinó debido a una prueba de hipótesis que con un 95% de probabilidad indica que el promedio de compresión en Dosquebradas es mayor que el de La Virginia. Por lo tanto, de acuerdo a este estudio se puede inferir que es más beneficioso, desde el punto de vista de la compresión, usar la guadua cultivada en un sitio con una altura sobre el nivel del mar de 1400 m (como Dosquebradas) que de uno de menor altitud, como La Virginia. |
| Basa               | Realizando un análisis inicial con el indicador estadístico promedio de compresión, se establece que de acuerdo a la altura la característica de la compresión es mejor. Sin embargo, para corroborar esta información se decidió hacer una prueba de hipótesis la cual arrojó que las proporciones estadísticamente son iguales. Por lo tanto, la característica de la basa no se ven significativamente afectada por la altura.  |
| Sobrebasa          | De acuerdo a los datos estadísticos arrojados en esta investigación, se determinó que la sobrebasa se caracteriza con mayor compresión a mayor altura. Esto se determinó desde un análisis del promedio, desviación estándar y varianzas de cada una de las regiones. Realizando una prueba de hipótesis que permitió inferir que la característica de la guadua de la parte de la sobrebasa es mejor en Santa Rosa y en La Virginia.  |

Fuente: los autores

## 8.2. FLEXIÓN

En la Tabla 110 se ofrece una síntesis de los resultados de la investigación en torno de la flexión en diferentes partes de la guadua teniendo como variable análisis la altura del suelo sobre el nivel del mar.

Tabla 110. Análisis Flexión

| <b>Lugar de la guadua</b> | <b>Análisis</b>   |
|---------------------------|---|
| Cepa                      | Por medio de los datos obtenidos se puede inferir que el comportamiento en flexión de la guadua en la parte de la cepa es similar para Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia. De acuerdo a los indicadores estadísticos, Santa Rosa tiene mejores características, pero debido a la alta variabilidad de los datos no se puede afirmar que esto sea correcto.  |
| Basa                      | De acuerdo a los datos estadísticos obtenidos, Santa Rosa y La Virginia tienen un comportamiento similar en flexión para la basa de la guadua, a diferencia de Dosquebradas que es la de inferior resultado. Sin embargo, la alta variabilidad de los datos provocó que la prueba de hipótesis determinara que Dosquebradas tiene un comportamiento similar, por lo tanto, la altura no influye en la característica de la guadua en la parte de la basa. |
| Sobrebasa                 | Se deduce que la sobrebasa en La Virginia y Santa Rosa tienen un comportamiento similar a diferencia de Dosquebradas que es menor. Sin embargo, dado la diferencia en las alturas sobre el nivel del mar entre La Virginia y Santa Rosa de cabal que es 900 ms.n.m., y 1711 ms.n.m., respectivamente. No se puede determinar que la altura influye en la característica de flexión de la guadua.  |

Fuente: los autores

### 8.3. DUREZA

En la Tabla 111 se describen los resultados de la investigación en lo respectivo a la dureza de las diferentes partes de la guadua teniendo como variable análisis la altura del suelo sobre el nivel del mar.

Tabla 111 . Dureza

| <b>Lugar de la guadua</b> | <b>Análisis</b>  |
|---------------------------|--|
| Cepa                      | En esta parte se observó que en promedio el comportamiento entre La Virginia y Dosquebradas se asemejan, pero en Santa Rosa es menor. Sin embargo, cuando se realizó la prueba de hipótesis arrojó que para las tres el comportamiento de la dureza era el mismo.        |
| Basa                      | Los indicadores arrojados de dureza en la basa de la guadua se determinaron que el comportamiento es similar en promedio y la variabilidad de los datos es pequeña. Por lo tanto, se determinó que la dureza en la basa no está influida por la altura donde se cultiva, |
| Sobrebasa                 | De acuerdo a los indicadores y a la prueba de hipótesis se determinó que en cuanto a dureza en la sobrebasa la altura no afecta las características. Esta afirmación se puede corroborar con el comportamiento de las gráficas anteriormente señaladas.                  |

Fuente: los autores

#### 8.4. ENSAYO DE SUELO

Se señalan los resultados (Tabla 112) del análisis del suelo en las tres escalas de altura de los municipios en estudio.

Tabla 112. Ensayo de suelo

| <b>Características</b> | <b>Análisis</b>  |
|------------------------|--|
| <b>pH</b>              | De acuerdo a los datos, el pH de Dosquebradas, Santa Rosa y La Virginia son: 5.4, 6.4 y 5.4 respectivamente. Por lo tanto se infiere, que para Dosquebradas y La Virginia el pH es el mismo y para Santa Rosa es mayor. Santa Rosa tiene un pH menor a 7, es por tal motivo que se considera suelo ácido; Dosquebradas y La Virginia se puede decir que tienen un suelo muy ácido ya que su pH es menor a 5.5. |
| <b>K</b>               | EL potasio en Santa Rosa es significativamente mayor que en Dosquebradas y La Virginia, La Virginia es la que posee menor cantidad de esta característica química.   |
| <b>Ca</b>              | Igualmente como sucedió con el potasio, el suelo de Santa Rosa contiene mayor cantidad de calcio que los otros dos municipios. Sin embargo, en esta ocasión La Virginia tiene mayor cantidad de calcio que Dosquebradas.   |
| <b>Mg</b>              | De acuerdo al comportamiento gráfico se puede observar que el nivel de magnesio de Dosquebradas es bajo comparado con la cantidad de Santa Rosa y La Virginia, los cuales son similares.   |

Fuente: los autores

## 9. CONCLUSIONES

- Las características del suelo y la altura Si influyen en las propiedades mecánicas de la compresión de la guadua (*Angustifolia Kunth*) en las diferentes partes (basa, sobrebasa, cepa).
- La altura No influye en la propiedad mecánica de la flexión en las diferentes partes (basa, sobrebasa, cepa).
- Las características del suelo Si influyen en la propiedad mecánica de flexión de la sobrebasa pero no en la cepa y la basa.
- Las características del suelo y la altura No influye en la propiedad mecánica de la dureza de la guadua (*Angustifolia Kunth*) en las diferentes partes (basa, sobrebasa, cepa).
- Los lugares donde se cultivaron las guaduas se consideran suelos ácidos debido a que tienen un pH menor a siete; La Virginia y Dosquebradas tenía suelos muy ácidos(0.41 y 0.49) que pudieron influir en las características de las propiedades mecánicas de la compresión (cepa, basa y sobrebasa) y flexión (sobrebasa).
- Santa Rosa tuvo mejores características químicas en potasio (1.78), Calcio (13.7) y Magnesio (1.5) lo que pudo influir en mejor capacidad de la guadua para la compresión que en los demás municipios.

## 10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio con una muestra mayor para tener más certeza de los resultados.
- Para un próximo estudio se recomienda cortar la guadua de tal manera que al momento de ejercer las fuerzas a compresión, toque en su totalidad la superficie.

## BIBLIOGRAFÍA

ARBELÁEZ, Alonso. La estructura morfológica del culmo de la Guadua Angustifolia Kunth. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1998.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SISMÍCA AIS – FOREC. Manual de Construcción Sismo Resistente de Viviendas en Bahareque Encementado. [En línea] [Consultado el 5 de octubre de 2014] (AIS) Disponible en: [http://www.desenredando.org/public/libros/2001/csrve/guadua\\_lared.pdf](http://www.desenredando.org/public/libros/2001/csrve/guadua_lared.pdf)

BIBLIOTECA VIRTUAL BANCO DE LA REPÚBLICA. Arquitectura Republicana. [En línea] [Consultado el 4 de octubre de 2014] Disponible en: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/todaslasartes/arca/arca03aa.htm>

CASTRILLÓN, Brigitte Matilde y MALAVER, Diego. Procedimientos de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la guadua. Trabajo de grado Facultad De Ingeniería Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2004.

CIVILGEEKS. La Guadua, acero vegetal y prodigio de la naturaleza [En línea] [Consultado el 4 de octubre de 2014] Disponible en: <http://civilgeeks.com/2011/12/07/la-guadua-acero-vegetal-y-prodigio-de-la-naturaleza/>

FONSECA, Lorenzo y SALDARRIAGA, Alberto. Arquitectura popular en Colombia. Bogotá: Altamir ediciones, 1992.

GIRALDO HERRERA, Edgar y SABOGAL, Aureliano. La guadua una alternativa sostenible, publicación de la corporación autónoma regional del Quindío. Armenia: CRQ Quindío, 2005.

GONZÁLEZ, Héctor, MONTOYA, Jorge y BEDOYA, José Rubiel. Resultados del ensayo a flexión en muestras de bambú de la especie. En: Scientia et Technica. Año XIII, No. 35, agosto de 2007.



GONZÁLEZ, Luis. Elementos para la caracterización mecánica de la guadua angustifolia kunth. [En línea] [Consultado el 05 de octubre de 2014] Disponible en: [http://www.bambubrasileiro.com/arquivos/articulo\\_gonzalez\\_caracterizacion\\_mecanica\\_guadua.pdf](http://www.bambubrasileiro.com/arquivos/articulo_gonzalez_caracterizacion_mecanica_guadua.pdf)

JIMÉNEZ, Carlos. Al eje cafetero lo mató el abuso de casas en concreto. En: El Tiempo. Bogotá, 11 de febrero. [En línea] [Consultado el 5 de octubre de 2014] Disponible en: [www.eltiempo.com](http://www.eltiempo.com)

LONDOÑO, Xavier. La Guadua un bambú importante de América. En: Memorias Primer Seminario Bambú, Guayaquil, Ecuador, 8-10 de agosto de 2001.

LUNA, Patricia y otros. Metodología de diseño de estructuras en guadua angustifolia como material estructural por el método de esfuerzos admisibles. En: Revista Educación en Ingeniería. No. 11, junio de 2011.

OBSERVATORIO AGROCADENAS COLOMBIA. La Cadena de la Guadua en Colombia. Bogotá, Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2003.

PEREA, Jairo (coordinador). Evaluación y documentación de prácticas sobresalientes sobre el manejo de la cosecha y maduración de la guadua en el departamento del Huila. Neiva: Ministerio De Agricultura y Desarrollo Rural- FUNDAIN, 2003.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE REPÚBLICA DE COLOMBIA. Proyectos manejo sostenible de bosques en Colombia. Convenio 020 de 2001. Bogotá, 2001.

MORENO MONTOYA, Luis Edgar, OSORIO, Lina Rocío y TRUJILLO DE LOS RÍOS, Efraín Eduardo. Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de Guadua angustifolia. En: Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte. No. 20, 2006.

REVISTA M & M. Puentes en guadua: Pasos sobre material constructivo eficiente. [En línea] [Consultado el 4 de octubre de 2014] Disponible en: [www.revista-mm.com](http://www.revista-mm.com)

ROBLEDO, Jorge Enrique. La Ciudad en la Colonización Antioqueña: Manizales. Manizales: Editorial Universidad Nacional EUN, 1996.

RODRÍGUEZ, Alonso y MORALES, Estefan. El Bambú como material estructural: análisis de un caso práctico. Escuela Politécnica Superior, 2005 [En línea] [Consultado el 5 de octubre de 2005] Disponible en: <http://dugi-doc.udg.edu//handle/10256/1128>

SALAS, Eduardo. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia (Tesis de Doctorado de doctorado en Construcción-Restauración y Rehabilitación Arquitectónica). Universidad de Cataluña. Barcelona, 2006.

SANTOS, Eulogio y otros. Acerca del ensayo de dureza. En: Industrial Data. No.4, Vol. 2, 2001.

STAMM, Jörg. Expansión de la guadua y cambios climáticos históricos. En: LÓPEZ, Carlos y CANO, Martha (compiladores). Cambios ambientales en perspectiva histórica. Vol. I. Pereira: UTP-GTZ, 2004.

TORRES, Jaime y SALAZAR, Luz. Introducción a la historia de la ingeniería y de la educación en Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2002.

VILLEGAS, Marcelo. Bambusa guadua. Bogotá: Villegas Editores, 1989.

# **ANEXOS**

## Anexo A. Prueba de Flexión en cepa




## ANEXO B. Ensayo de compresión en cepa



## ANEXO C. Ensayo de Flexión en basa



### ANEXO D. Informe análisis de suelos finca La Renata, Santa Rosa de Cabal



**Universidad  
Tecnológica  
de Pereira**

**VICERECTORIA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN Y EXTENSIÓN**  
**INFORME DE ENSAYO SUELOS**

Fecha de expedición del informe: **JUNIO 24 DE 2024**  
Fecha de impresión: **MAYO 24 DE 2024**  
# de Registro: **203.284.202**  
Fecha de registro: **JUNIO 1 DE 2024**

**Solicitante:** ANDRÉS FELIPE TABARQUINO

**Finca:** LA RENATA

**Departamento:** RISARALDIA

**Municipio:** SANTA ROSA DE CABAL

**Tienda:** ---

**Teléfono:** ---

**Tipo de muestra:** SUELO

**Tipo de análisis:** FRETES (FMO)

**Muestra de:** **1** muestra

**Cultivo:** **CAUCAJA**

**Fecha de recolección:** **JUNIO 24 DE 2024**

**Fecha de impresión:** **MAYO 24 DE 2024**

**Fecha de registro:** **JUNIO 1 DE 2024**

**LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y VOLÁILES**

| #Registro | Lote | mg/100 g Suelo |      |       |      |      |     |     |    |     |     |     | partes por millón |     |     |       | relaciones |  |
|-----------|------|----------------|------|-------|------|------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-------------------|-----|-----|-------|------------|--|
|           |      | pH             | N    | M.O.* | K    | Ca   | Mg  | Al  | P  | Fe  | Mn  | Zn  | Cu                | B   | S   | C.A.C | C.E        |  |
| 264       | FRO  | 6.4            | 0.29 | 6.7   | 1.78 | 13.7 | 1.5 | --- | 11 | --- | --- | --- | ---               | --- | --- | ---   | ---        |  |

**RELACIONES**

| #Registro | (K:Ca:Mg) | Mg/K | Ca/Mg | Ca/K | %C  | %Min | Da  | Dr  | %Porosidad | Retención Humedad (1:2.5cm) | Retención Humedad (1:5cm) |    |    |    |
|-----------|-----------|------|-------|------|-----|------|-----|-----|------------|-----------------------------|---------------------------|----|----|----|
| 264       | 1         | 9    | 1     | 0.8  | 9.1 | 7.7  | 4.2 | 3.9 | 13.4       | 0.89                        | 2.29                      | 81 | 48 | 33 |

Método: Métodos estándar de la AOAC para el nitrógeno y el fósforo, métodos de la ASTM para el calcio, el magnesio, el aluminio, el hierro, el manganeso, el zinc, el cobre y el boro.

Método: Método de la EPA para el carbono orgánico total (COT) y el carbono orgánico estable (COS).

Método: Método de la EPA para el carbono orgánico total (COT) y el carbono orgánico estable (COS).


Método: Método de la EPA para el carbono orgánico total (COT) y el carbono orgánico estable (COS).

**Ing. Carlos Méndez**  
Analista  
LAB. Q. Laboratorio de Suelos y Volátiles  
BOGOTÁ, COLOMBIA

Universidad Tecnológica de Pereira - Escuela de Tecnología Química - Avenida Julio - Teléfono: (52)212398



## Anexo E. Informe análisis de suelos finca Corozal, La Virginia




Universidad  
Tecnológica  
de Pereira

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN Y EXTENSIÓN

INFORME DE ENSAYO SUELOS

Código Versión: 123-LAS-F-1  
Fecha: 20/03/2014  
Página: 1 de 1



PAGINA 1  
Universidad  
Tecnológica  
de Pereira

LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES

Solicitante: ANDRES FELIPE TABARQUINO

Finca: COROZAL      Tipo de muestra: SUELO

Departamento: RISARALDA      Tipo de análisis: FERTILIDAD

Municipio: LA VIRGINIA      Número de muestras: 1

Vereda: \*\*\*      Cultivo: GUADUA

Teléfono: \*\*\*

Fecha de ejecución del ensayo: JUNIO 2 AL 6 DE 2014

Fecha de impresión: MAYO 30 DE 2014

# de Registro: 263-204-202

Fecha de registro: JUNIO 9 DE 2014

| #Registro | Lote     | p.H | %    |      |      |     |     |     |   | mg/100 g Suelo |     |     |     |     |     |     | C.I.C | C.E | Textura   |
|-----------|----------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|---|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----------|
|           |          |     | N    | M.O* | K    | Ca  | Mg  | Al  | P | Fe             | Mn  | Zn  | Cu  | B   | S   |     |       |     |           |
| 262       | 1 CALIDO | 5.4 | 0.49 | 12.9 | 0.34 | 5.0 | 1.7 | *** | 9 | ***            | *** | *** | *** | *** | *** | *** | ***   | *** | Arcilloso |

| #Registro | (K:Ca:Mg) | Mg/K | Ca/Mg | Ca/K | Ca/(Mg+K) | %C   | %Min | Da  | Dr   | %Porosidad | Retención Humedad | Retención Humedad |    |    |
|-----------|-----------|------|-------|------|-----------|------|------|-----|------|------------|-------------------|-------------------|----|----|
|           |           |      |       |      |           |      |      |     |      |            | (1/3atm)          | (15atm)           |    |    |
| 262       | 1         | 15   | 5     | 5.0  | 2.9       | 14.7 | 2.5  | 7.5 | 15.3 | 0.52       | 2.03              | 75                | 71 | 50 |

**MÉTODOS**

Muestras: MSA, B 60°C durante 48 horas  
 (p) Potenciometría en agua (1:1)  
 \*Muestra Crómica (M.O) Walkley-Black Fotométrico  
 Fósforo (P) Bray 1, Fotométrico  
 Sulfato (S, Ca, Mg, Na) Análisis de Aniones, Absorción Atómica  
 Sulfatos (Sulfatos) Extracción KI, Volumétrica  
 --- si pH < 6 = a 5.2

Muestras: (Fe, Mn, Zn, Cu) Análisis de Aniones = EDTA, Absorción Atómica  
 Sulfatos (S) Extracción con Fósforo monoclásico, Absorción Atómica  
 Fósforo (P) Extracción con Fósforo monoclásico, Turbidimétrico  
 Textura: Alícuo  
 Sulfatos: Pasta salina con agua, Absorción Atómica  
 Conductividad Eléctrica (C.E) Pasta salina con agua, Conductimétrico  
 Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C) Volumétrica

*(Firma)*

Coordinador Laboratorio de Análisis de Suelos y Foliares  
**GERMAN ANTONIO MUÑOZ VELEZ**

*(Firma)*

Análisis  
Lab. De Laboratorio de Suelos y Foliares  
**DIANA CAROLINA MEZA S.**

Universidad Tecnológica de Pereira - Escuela de Tecnología Química - Vereda la Juita - Teléfono (5)2215296

Accreditada Institucionalmente de Alta Calidad por el Ministerio de Educación N.º NIT: 891-480-035-9 - Apartado Aéreo: 097 - Tel. Computador: (57) (6) 313 7300 - Fax: 313 7301



## Anexo F. Informe análisis de suelos finca La Isabella, Dosquebradas

Universidad Tecnológica de Pereira

VICERECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN Y EXTENSIÓN  
INFORME DE ENSAYO SUELOS

123-LAS-07  
1 de 1

Código Versión Fecha Página

Universidad Tecnológica de Pereira

Fecha de ejecución del ensayo: 26/02/2014  
Fecha de impresión: 26/02/2014  
# de Registro: 262-354-265  
Fecha de registro: 26/02/2014

---

DE ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES

Solicitante: **ANDRÉS FELIPE TABAROUNO**  
Finca: **LA ISABELLA**  
Departamento: **RISARALDA**  
Municipio: **DOSQUEBRADAS**  
Inspección: **---**  
Teléfono: **---**

Tipo de muestra: **SUELO**  
 Tipo de análisis: **FERTILIZANTE**  
 Número de muestra: **1**  
 Cultivo: **GUADUA**

Fecha de ejecución del ensayo: 26/02/2014  
Fecha de impresión: 26/02/2014  
# de Registro: 262-354-265  
Fecha de registro: 26/02/2014

---

| Lote     | p.H | anal. 100 g Suelo |      |      |     |     |     |   |     |     |     | partes por millón |     |     | energía de activación |     |                 |
|----------|-----|-------------------|------|------|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-------------------|-----|-----|-----------------------|-----|-----------------|
|          |     | N                 | M.O. | K    | Ca  | Mg  | Al  | P | Fe  | Mn  | Zn  | Cu                | B   | S   | C.L.C                 | C.E | Textura         |
| TEMPLAJO | 5.4 | 0.41              | 10.3 | 0.52 | 2.6 | 0.8 | --- | 3 | --- | --- | --- | ---               | --- | --- | ---                   | --- | Francoso Limoso |

| RELACIONES |      |       |      |           |     |     |     |      |              |                          |                          |    |
|------------|------|-------|------|-----------|-----|-----|-----|------|--------------|--------------------------|--------------------------|----|
| (K-Ca/Mg)  | Mg/K | Ca/Mg | Ca/K | Ca/(Mg+K) | %C  | %N  | Ca  | Dr   | %Ponibilidad | Retención Humedad (15cm) | Retención Humedad (10mm) |    |
| 1          | 5    | 2     | 1.5  | 2.2       | 4.9 | 1.9 | 6.0 | 14.6 | 0.57         | 2.14                     | 62                       | 43 |

**METODOLOGÍA**

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**

**ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**

**ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**

**ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**  
Método: **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS Y FOLIARES**