

## ÍNDICE GENERAL

|  |    |
|--|----|
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....                                | 1  |
| 1.1. Introducción .....  | 1  |
| 1.2. Planteamiento de la investigación .....                             | 3  |
| 1.3. Contenido .....   | 5  |
| CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE .....  | 7  |
| 2.1. Características del bambú.....                                      | 7  |
| 2.1.1 Introducción .....   | 7  |
| 2.1.2. Definición.....   | 7  |
| 2.1.3. Hábitat .....   | 8  |
| 2.1.4. Taxonomía del bambú.....  | 9  |
| 2.1.5. Morfología anatómica del bambú.....                               | 11 |
| 2.1.6. Composición química del bambú.....                                | 17 |
| 2.1.7. Silvicultura del bambú .....                                      | 19 |
| 2.2. Propiedades físicas del bambú .....                                 | 20 |
| 2.2.1. Contenido de humedad.....   | 20 |
| 2.2.2. Contenido de humedad y resistencia mecánica .....                 | 21 |
| 2.2.3. Punto de saturación de la fibra y cambios dimensionales .....     | 22 |
| 2.2.4. Densidad.....   | 23 |
| 2.3. Propiedades mecánicas.....  | 25 |
| 2.3.1. Estudios realizados .....   | 25 |
| 2.3.2. Valores de resistencia <i>Guadua angustifolia Kunt</i> .....      | 33 |
| 2.4. Fallas de <i>Guadua angustifolia</i> como material estructural..... | 34 |
| 2.5. Principales construcciones en el mundo y Colombia .....             | 34 |
| 2.6. Producción de bambú a nivel mundial .....                           | 35 |
| 2.6.1. Una visión internacional.....                                     | 35 |
| 2.6.2. Producción de <i>Guadua angustifolia</i> en Colombia .....        | 36 |
| 2.7. Resumen y conclusiones del Capítulo 2.....                          | 36 |
| CAPÍTULO 3. REGIÓN ANDINA DE COLOMBIA.....                               | 37 |
| 3.1. Introducción .....  | 37 |

---

|   |           |
|---|-----------|
| 3.2. Las seis regiones de Colombia .....  | 38        |
| 3.3. Caracterización geográfica de la Región Andina .....   | 39        |
| 3.4. Variables climáticas y su aplicación al caso de Colombia .....   | 39        |
| 3.4.1. Definición de clima .....  | 39        |
| 3.4.2. Clasificaciones de clima .....   | 40        |
| 3.5. Resumen y conclusiones del Capítulo 3 .....  | 49        |
| <b>CAPÍTULO 4. TRABAJO EXPERIMENTAL</b> .....   | <b>51</b> |
| 4.1. Introducción .....   | 51        |
| 4.2. Corte e identificación de culmos .....   | 52        |
| 4.3. Procedimiento para la caracterización y obtención de probetas para ensayos de resistencia mecánica ..... | 55        |
| 4.4. Ensayos .....  | 57        |
| 4.4.1. Contenido de humedad CH .....  | 59        |
| 4.4.2. Densidad .....   | 59        |
| 4.4.3. Tracción paralela a las fibras .....   | 59        |
| 4.4.4. Compresión paralela a las fibras .....   | 60        |
| 4.4.5. Corte paralelo a las fibras .....  | 60        |
| 4.4.6. Compresión perpendicular a las fibras .....  | 61        |
| 4.4.7. Flexión .....  | 62        |
| 4.5. Determinación del material de estudio .....  | 64        |
| 4.6. Relación de ensayos planeados y realizados .....   | 65        |
| 4.7. Resumen y conclusiones del Capítulo 4 .....  | 66        |
| <b>CAPÍTULO 5. RESULTADOS DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL Y ESTUDIO ESTADÍSTICO</b> .....                          | <b>67</b> |
| 5.1. Introducción .....   | 67        |
| 5.2. Esfuerzo último de tracción paralela a las fibras (MPa) .....  | 69        |
| 5.2.1. Histograma y estadística descriptiva .....   | 71        |
| 5.2.2. Diagramas de Caja .....  | 72        |
| 5.2.3. Test de Kolmogorov-Smirnov .....   | 73        |
| 5.2.4. Gráfico de diagnóstico de los residuales .....   | 73        |
| 5.2.5. Intervalos de LSD (Least Significant Difference) entre las medias, por departamento. ....              | 74        |
| 5.2.6. Análisis estadístico con eliminación de valores fuera de rango de la Región Andina ...                 | 75        |
| 5.2.7. Análisis estadístico con una nueva eliminación de valores fuera de rango de la Región Andina .....     | 79        |
| 5.2.8. Análisis comparativo .....   | 83        |

---

---

|  |     |
|--|-----|
| 5.2.9. Prueba t-student.....   | 84  |
| 5.3. Esfuerzo último de Compresión Paralela a las fibras (MPa).....  | 85  |
| 5.3.1. Histograma y estadística descriptiva .....  | 86  |
| 5.3.2. Diagramas de Caja .....   | 88  |
| 5.3.3. Test de Kolmogorov-Smirnov.....   | 89  |
| 5.3.4. Gráfico de diagnóstico de los residuales .....  | 89  |
| 5.3.5. Intervalos de LSD (Least Significant Difference) entre las medias, por departamento.<br>.....         | 90  |
| 5.3.6. Análisis estadístico con eliminación de valores fuera de rango de la Región Andina ...                | 91  |
| 5.3.7. Análisis estadístico con una nueva eliminación de valores fuera de rango de la Región<br>Andina ..... | 95  |
| 5.3.8. Análisis comparativo.....   | 97  |
| 5.3.9. Prueba t-student.....   | 98  |
| 5.4. Esfuerzo último de Corte Paralelo a las fibras (MPa).....   | 98  |
| 5.4.1. Histograma y estadística descriptiva .....  | 100 |
| 5.4.2. Diagramas de Caja .....   | 102 |
| 5.4.3. Test de Kolmogorov-Smirnov.....   | 103 |
| 5.4.4. Gráfico de diagnóstico de los residuales .....  | 103 |
| 5.4.5. Intervalos de LSD (Least Significant Difference) entre las medias, por departamento.<br>.....         | 104 |
| 5.4.6. Análisis estadístico con eliminación de valores fuera de rango de la Región Andina .                  | 105 |
| 5.4.7. Análisis estadístico con una nueva eliminación de valores fuera de rango de la Región<br>Andina ..... | 109 |
| 5.4.8. Análisis comparativo.....   | 111 |
| 5.4.9. Prueba t-student.....   | 112 |
| 5.5. Esfuerzo último de Compresión perpendicular a las fibras (MPa).....                                     | 112 |
| 5.5.1. Histograma y estadística descriptiva .....  | 113 |
| 5.5.2. Diagramas de Caja .....   | 114 |
| 5.5.3. Test de Kolmogorov-Smirnov.....   | 115 |
| 5.5.4. Gráfico de diagnóstico de los residuales .....  | 115 |
| 5.5.5. Intervalos de LSD (Least Significant Difference) entre las medias, por departamento.<br>.....         | 116 |
| 5.5.6. Análisis estadístico con eliminación de valores fuera de rango de la Región Andina .                  | 117 |
| 5.5.7. Análisis estadístico con una nueva eliminación de valores fuera de rango de la Región<br>Andina ..... | 121 |
| 5.5.8. Análisis comparativo.....   | 125 |

---

---

|  |            |
|--|------------|
| 5.5.9. Prueba t-student.....   | 126        |
| 5.6. Esfuerzo último de flexión (MPa).....   | 126        |
| 5.6.1. Histograma y estadística descriptiva .....  | 127        |
| 5.6.2. Diagramas de Caja .....   | 128        |
| 5.6.3. Test de Kolmogorov-Smirnov.....   | 129        |
| 5.6.4. Gráfico de diagnóstico de los residuales .....  | 129        |
| 5.6.5. Intervalos de LSD (Least Significant Difference) entre las medias, por departamento.<br>.....   | 130        |
| 5.6.6. Análisis estadístico con eliminación de valores fuera de rango de la Región Andina .  | 131        |
| 5.6.7. Análisis estadístico con una nueva eliminación de valores fuera de rango de la Región<br>Andina. ....   | 135        |
| 5.6.8. Análisis comparativo.....   | 139        |
| 5.6.9. Prueba t-student.....   | 140        |
| 5.7. Resumen y conclusiones del Capítulo 5.....  | 140        |
| <b>CAPÍTULO 6. MODELOS LINEALES MÚLTIPLES DE PREDICCIÓN VALIDADOS PARA<br/>LA DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS ÚLTIMOS A PARTIR DE VARIABLES<br/>FÍSICAS Y CLIMÁTICAS.....</b> | <b>143</b> |
| 6.1. Introducción .....  | 143        |
| 6.2. Objetivos .....   | 143        |
| 6.3. Metodología .....   | 144        |
| 6.4. Análisis y validación de modelos.....   | 145        |
| 6.4.1. Análisis de correlación entre variables predictoras .....   | 145        |
| 6.4.2. Diseño de los modelos lineales múltiples para cada solicitud .....  | 149        |
| 6.4.3. Análisis de varianza – ANOVA .....  | 151        |
| 6.4.4. Validación de las regresiones lineales múltiples. ....  | 155        |
| 6.5. Modelos lineales múltiples de predicción validados para cada solicitud .....  | 158        |
| 6.5.1. Modelo validado para el esfuerzo último de tracción paralela a las fibras.....  | 158        |
| 6.5.2. Modelo validado para el esfuerzo último de compresión paralela a las fibras.....  | 158        |
| 6.5.3. Modelo validado para el esfuerzo último de corte paralelo a las fibras. ....  | 159        |
| 6.5.4. modelo validado para el esfuerzo último de compresión perpendicular a las fibras. ...   | 159        |
| 6.5.5. Modelo validado para el esfuerzo último de flexión. ....  | 159        |
| 6.6. Resumen y conclusiones del Capítulo 6.....  | 159        |
| <b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES, APORTACIÓN ORIGINAL Y FUTURAS LÍNEAS DE<br/>INVESTIGACIÓN.....</b>  | <b>161</b> |
| 7.1. Resumen.....  | 161        |
| 7.2. Conclusiones .....  | 161        |

---

---

|  |     |
|--|-----|
| 7.3. Aportación original y futuras líneas de investigación .....       | 165 |
| REFERENCIAS .....  | 167 |
| APÉNDICE 1. NORMAS EMPLEADAS .....                                     | 175 |
| APÉNDICE 2. CARACTERIZACIÓN Y ENSAYOS DE LABORATORIO .....             | 177 |
| APÉNDICE 3. DATOS Y RESULTADOS DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL .....        | 179 |
| APÉNDICE 4. TABLA DE ESFUERZOS ÚLTIMOS .....                           | 225 |
| APÉNDICE 5. MODELOS DE PREDICCIÓN. REGRESIONES LINEALES MÚLTIPLES..... | 281 |
| APÉNDICE 6. PRINCIPALES CONSTRUCCIONES EN BAMBÚ Y GUADUA .....         | 291 |