

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

*Facultad de Ciencias Forestales*



**Propiedades mecánicas de  
*Cedrelinga cateniformis* Ducke  
(Tornillo) proveniente de dos tipos de  
plantaciones y diferentes edades del  
Centro de Investigación Jenaro  
Herrera - Loreto**

*Tesis para optar el Título de*

***INGENIERO FORESTAL***

**Carlos Alberto Condori Rosales**

Lima – Perú

2007

# ÍNDICE

|   | Página    |
|---|-----------|
| DEDICATORIA .....   | III       |
| AGRADECIMIENTOS .....   | IV        |
| RESUMEN .....   | V         |
| ÍNDICE .....  | VI        |
| LISTA DE CUADROS.....   | IX        |
| LISTA DE FIGURAS .....  | X         |
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>   | <b>2</b>  |
| 2.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA .....  | 2         |
| 2.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA .....  | 3         |
| 2.3 DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT .....  | 6         |
| 2.4 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....  | 6         |
| 2.4.1 <i>CLIMA</i> .....  | 6         |
| 2.4.2 <i>FISIOGRAFÍA</i> .....  | 7         |
| 2.4.3 <i>RELIEVE</i> .....  | 7         |
| 2.5 DESCRIPCIÓN DE LA MADERA .....  | 8         |
| 2.5.1 <i>CARACTERÍSTICAS GENERALES</i> .....  | 8         |
| 2.5.2 <i>CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS</i> .....   | 8         |
| 2.5.3 <i>PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS</i> .....   | 12        |
| 2.5.4 <i>CARACTERÍSTICAS DE SECADO Y DURABILIDAD</i> .....                                  | 14        |
| 2.5.5 <i>PROPIEDADES DE TRABAJABILIDAD</i> .....  | 14        |
| 2.5.6 <i>USOS</i> .....   | 14        |
| 2.6 VARIABILIDAD DE LA MADERA .....   | 14        |
| 2.6.1 <i>VARIABILIDAD DENTRO DEL ÁRBOL</i> .....  | 15        |
| 2.6.2 <i>VARIABILIDAD ENTRE ÁRBOLES DE LA MISMA ESPECIE</i> .....                           | 16        |
| 2.6.3 <i>EFECTOS DE LA SILVICULTURA</i> .....   | 17        |
| 2.6.4 <i>INTERRELACIÓN ENTRE LA ANATOMÍA Y LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA</i> ..... | 19        |
| 2.6.5 <i>MADERA JUVENIL Y MADERA MADURA</i> .....   | 20        |
| 2.7 FISIOLÓGÍA DEL CRECIMIENTO DEL ÁRBOL.....   | 26        |
| 2.8 CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES .....                                     | 27        |
| <b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>  | <b>29</b> |
| 3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN .....  | 29        |
| 3.2 MATERIALES Y EQUIPOS .....  | 29        |
| 3.2.1 <i>MATERIALES</i> .....   | 29        |
| 3.2.2 <i>EQUIPOS Y ACCESORIOS</i> .....   | 32        |
| 3.3 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTO .....   | 32        |
| 3.3.1 <i>UBICACIÓN DE LA ZONA</i> .....   | 32        |
| 3.3.2 <i>SELECCIÓN Y COLECCIÓN DE MUESTRAS</i> .....  | 36        |
| 3.3.3 <i>CODIFICACIÓN DE VIGUETAS</i> .....   | 36        |
| 3.3.4 <i>SELECCIÓN DE VIGUETAS</i> .....  | 37        |
| 3.3.5 <i>PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE PROBETAS</i> .....                              | 38        |
| 3.3.6 <i>PROCEDIMIENTO</i> .....  | 38        |
| 3.3.7 <i>PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</i> .....                          | 42        |
| <b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>  | <b>44</b> |
| 4.1 PROPIEDADES MECÁNICAS .....   | 44        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 4.1.1     | <i>A campo abierto</i> .....  | 44         |
| 4.1.2     | <i>Fajas de enriquecimiento</i> .....   | 55         |
| 4.2       | CLASIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA Y EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA ESPECIE.....   | 63         |
| 4.2.1     | <i>A campo abierto</i> .....  | 63         |
| 4.2.2     | <i>Fajas de enriquecimiento</i> .....   | 68         |
| 4.3       | RELACIÓN DENSIDAD BÁSICA Y PROPIEDADES MECÁNICAS .....  | 74         |
| 4.3.1     | <i>A campo abierto</i> .....  | 74         |
| 4.3.2     | <i>Fajas de enriquecimiento</i> .....   | 82         |
| 4.4       | APTITUDES DE USO .....  | 87         |
| 4.4.1     | <i>A campo abierto</i> .....  | 87         |
| 4.4.2     | <i>Fajas de enriquecimiento</i> .....   | 87         |
| <b>5.</b> | <b>CONCLUSIONES</b> .....   | <b>88</b>  |
| 5.1       | A CAMPO ABIERTO.....  | 88         |
| 5.2       | FAJAS DE ENRIQUECIMIENTO.....   | 89         |
| <b>6.</b> | <b>RECOMENDACIONES</b> .....  | <b>91</b>  |
|           | <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....   | <b>93</b>  |
|           | <b>ANEXO 1</b> .....  | <b>99</b>  |
|           | VALORES PROMEDIOS Y RANGOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TORNILLO .....  | 99         |
|           | <b>ANEXO 2</b> .....  | <b>100</b> |
|           | RANGOS DE CLASIFICACIÓN DE LAS MADERAS SEGÚN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS.....   | 100        |
|           | <b>ANEXO 3</b> .....  | <b>101</b> |
|           | PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TORNILLO DE 15 AÑOS.....  | 101        |
|           | <b>ANEXO 4</b> .....  | <b>102</b> |
|           | PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TORNILLO DE 15 AÑOS.....  | 102        |
|           | <b>ANEXO 5</b> .....  | <b>103</b> |
|           | PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TORNILLO DE 24 AÑOS .....   | 103        |
|           | <b>ANEXO 6</b> .....  | <b>104</b> |
|           | PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TORNILLO DE 24 AÑOS .....   | 104        |
|           | <b>ANEXO 7</b> .....  | <b>105</b> |
|           | PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TORNILLO DE 29 AÑOS .....   | 105        |
|           | <b>ANEXO 8</b> .....  | <b>106</b> |
|           | PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TORNILLO DE 29 AÑOS .....   | 106        |
|           | <b>ANEXO 9</b> .....  | <b>107</b> |
|           | COMPARACIÓN DE VALORES PROMEDIOS DE LOS ESFUERZOS DE FLEXIÓN ESTÁTICA PARA LAS TRES EDADES DEL TORNILLO .....         | 107        |
|           | <b>ANEXO 10</b> .....   | <b>108</b> |
|           | COMPARACIÓN DE VALORES PROMEDIOS DE LOS ESFUERZOS DE COMPRESIÓN PARALELA PARA LAS TRES EDADES DEL TORNILLO.....       | 108        |
|           | <b>ANEXO 11</b> .....   | <b>109</b> |
|           | COMPARACIÓN DE VALORES PROMEDIOS DE LOS ESFUERZOS DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR PARA LAS TRES EDADES DEL TORNILLO ..... | 109        |
|           | <b>ANEXO 12</b> .....   | <b>110</b> |

|  |            |
|--|------------|
| COMPARACIÓN DE VALORES PROMEDIOS DE LOS ESFUERZOS DE DUREZA PARA LAS TRES EDADES DEL TORNILLO.....                 | 110        |
| <b>ANEXO 13.....</b>   | <b>111</b> |
| COMPARACIÓN DE VALORES PROMEDIOS DE LOS ESFUERZOS DE TENSIÓN PERPENDICULAR PARA LAS TRES EDADES DEL TORNILLO ..... | 111        |
| <b>ANEXO 14.....</b>   | <b>112</b> |
| COMPARACIÓN DE VALORES PROMEDIOS DE LOS ESFUERZOS DE CLIVAJE PARA LAS TRES EDADES DEL TORNILLO.....                | 112        |
| <b>ANEXO 15.....</b>   | <b>113</b> |
| COMPARACIÓN DE VALORES PROMEDIOS DE LOS ESFUERZOS DE CIZALLAMIENTO PARA LAS TRES EDADES DEL TORNILLO .....         | 113        |
| <b>ANEXO 16.....</b>   | <b>114</b> |
| COMPARACIÓN DE VALORES PROMEDIOS DE LOS ESFUERZOS DE TENACIDAD PARA LAS TRES EDADES DEL TORNILLO .....             | 114        |
| <b>ANEXO 17.....</b>   | <b>115</b> |
| ENSAYO DE CLIVAJE PARA LAS TRES EDADES DEL TORNILLO .....  | 115        |
| <b>ANEXO 18.....</b>   | <b>116</b> |
| ENSAYO DE TENSIÓN PERPENDICULAR PARA LAS TRES EDADES DEL TORNILLO .....  | 116        |
| <b>ANEXO 19.....</b>   | <b>117</b> |
| ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARA LAS TRES EDADES DEL TORNILLO.....   | 117        |

## *Lista de cuadros*

Página

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CUADRO 1: PROPIEDADES FÍSICAS Y CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DEL TORNILLO PROVENIENTE DE PLANTACIONES EXPERIMENTALES DE JENARO HERRERA DE TRES EDADES Y DE BOSQUE NATURAL ...</b>      | <b>13</b> |
| <b>CUADRO 2 :CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRBOLES Y TROZAS SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL TORNILLO DE PLANTACIONES .....</b>                            | <b>30</b> |
| <b>CUADRO 3 : CARACTERÍSTICAS DE LAS PLANTACIONES DE LAS CUALES SE SELECCIONARON LOS ÁRBOLES DE TORNILLO .....</b>  | <b>31</b> |
| <b>CUADRO 4 : NÚMERO DE PROBETAS PARA ENSAYOS MECÁNICOS DEL TORNILLO DE TRES EDADES DIFERENTES .....</b>  | <b>40</b> |
| <b>CUADRO 5 : PROPIEDADES FÍSICAS SEGÚN NORMA TÉCNICA EMPLEADA .....</b>  | <b>41</b> |
| <b>CUADRO 6 : PROPIEDADES MECÁNICAS SEGÚN NORMA TÉCNICA EMPLEADA .....</b>  | <b>41</b> |
| <b>CUADRO 7 : VALORES PROMEDIO POR EDADES Y NIVELES DE CORTE DEL TORNILLO DE 15 Y 29 AÑOS ..</b>  | <b>46</b> |
| <b>CUADRO 8 : VALORES PROMEDIO POR EDADES Y NIVELES DE CORTE DEL TORNILLO DE 15 Y 29 AÑOS ..</b>  | <b>47</b> |
| <b>CUADRO 9 : COEFICIENTES DE VARIACIÓN ENTRE, DENTRO Y TOTALES PARA LAS PLANTACIONES DE 15 Y 29 AÑOS DE TORNILLO Y SU COMPARACIÓN SEGÚN WOOD HANDBOOK.....</b>                         | <b>48</b> |
| <b>CUADRO 10 : ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS EDADES, NIVELES Y ENTRE ÁRBOLES, PARA LAS PLANTACIONES DE TORNILLO DE 15 Y 29 AÑOS .....</b>   | <b>49</b> |
| <b>CUADRO 11 : INFORMACIÓN SILVICULTURAL SOBRE LAS PLANTACIONES A CAMPO ABIERTO PARA LAS EDADES DE 15 Y 29 AÑOS .....</b>   | <b>52</b> |
| <b>CUADRO 12 : VALORES PROMEDIO POR EDAD Y NIVELES DE CORTE DEL TORNILLO DE 24 AÑOS.....</b>  | <b>56</b> |
| <b>CUADRO 13 : VALORES PROMEDIO POR EDAD Y NIVELES DE CORTE DEL TORNILLO DE 24 AÑOS.....</b>  | <b>57</b> |
| <b>CUADRO 14 : COEFICIENTES DE VARIACIÓN ENTRE, DENTRO Y TOTALES PARA LA PLANTACIÓN DE 24 AÑOS DE TORNILLO Y SU COMPARACIÓN SEGÚN WOOD HANDBOOK.....</b>                                | <b>58</b> |
| <b>CUADRO 15 : ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS NIVELES Y ENTRE ÁRBOLES, PARA LA PLANTACIÓN DE TORNILLO DE 24 AÑOS.....</b>  | <b>59</b> |
| <b>CUADRO 16: PRUEBA DE TUCKEY PARA LA PLANTACIÓN DE 24 AÑOS RESPECTO A LOS NIVELES DE CORTE .....</b>  | <b>60</b> |
| <b>CUADRO 17 : CLASIFICACIÓN DE RESISTENCIA DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TORNILLO DE PLANTACIONES DE 15 Y 29 AÑOS EN COMPARACIÓN CON EL TORNILLO PROVENIENTE DE BOSQUE NATURAL.....</b> | <b>64</b> |
| <b>CUADRO 18 : CUADRO COMPARATIVO DEL TORNILLO, LUPUNA Y CAOBA PROVENIENTES DE BOSQUES NATURALES CON EL TORNILLO DE PLANTACIONES DE 15 Y 29 AÑOS .....</b>                              | <b>65</b> |
| <b>CUADRO 19: CLASIFICACIÓN DE RESISTENCIA DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TORNILLO DE PLANTACIONES DE 24 AÑOS EN COMPARACIÓN CON EL TORNILLO PROVENIENTE DE BOSQUE NATURAL .....</b>      | <b>69</b> |
| <b>CUADRO 20 : CUADRO COMPARATIVO DEL TORNILLO, LUPUNA Y MARUPA PROVENIENTES DE BOSQUES NATURALES CON EL TORNILLO DE PLANTACIONES DE 24 AÑOS .....</b>                                  | <b>70</b> |
| <b>CUADRO 21 : ECUACIONES Y COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN Y DE CORRELACIÓN PARA REGRESIONES LINEALES, CUADRÁTICAS Y CÚBICAS PARA LA PLANTACIÓN DE 15 AÑOS.....</b>                      | <b>76</b> |
| <b>CUADRO 22 : ECUACIONES Y COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN Y DE CORRELACIÓN PARA REGRESIONES LINEALES, CUADRÁTICAS Y CÚBICAS PARA LA PLANTACIÓN DE 29 AÑOS.....</b>                      | <b>80</b> |
| <b>CUADRO 23 : ECUACIONES DE REGRESIÓN QUE MEJOR DESCRIBEN LA RELACIÓN DENSIDAD BÁSICA – PROPIEDADES MECÁNICAS, PARA LAS PLANTACIONES DE 15 Y 29 AÑOS.....</b>                          | <b>81</b> |
| <b>CUADRO 24 : ECUACIONES Y COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN Y DE CORRELACIÓN PARA REGRESIONES LINEALES, CUADRÁTICAS Y CÚBICAS PARA LA PLANTACIÓN DE 24 AÑOS.....</b>                      | <b>84</b> |
| <b>CUADRO 25 : ECUACIONES DE REGRESIÓN QUE MEJOR DESCRIBEN LA RELACIÓN DENSIDAD BÁSICA – PROPIEDADES MECÁNICAS, PARA LA PLANTACIÓN DE 24 AÑOS.....</b>                                  | <b>86</b> |

## Lista de figuras

Página

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| FIGURA 1  | : DESCRIPCIÓN BOTÁNICA <i>CEDRELINGA CATENIFORMIS</i> DUCKE. <b>A.</b> RAMITA CON HOJA, <b>B.</b> LÁMINA FOLIAR, <b>C.</b> FRUTO, <b>D.</b> FLOR Y <b>E.</b> PARTE DE LA INFLORESCENCIA.....    | 5  |
| FIGURA 2  | : PLANOS DE CORTE DE <i>CEDRELINGA CATENIFORMIS</i> DUCKE. <b>A.</b> CORTE RADIAL Y <b>B.</b> CORTE TANGENCIAL .....  | 10 |
| FIGURA 3  | : SECCIONES MICROSCÓPICAS DE <i>CEDRELINGA CATENIFORMIS</i> DUCKE. <b>A.</b> SECCIÓN TRANSVERSAL, <b>B.</b> SECCIÓN RADIAL Y <b>C.</b> SECCIÓN TANGENCIAL. ....                                 | 11 |
| FIGURA 4  | : TRANSICIÓN DE MADERA JUVENIL A MADURA EN CONÍFERAS .....  | 23 |
| FIGURA 5  | : ESTRUCTURA CELULAR DE MADERA MADURA, JUVENIL Y DE REACCIÓN .....  | 24 |
| FIGURA 6  | : DISTRIBUCIÓN DE MADERA JUVENIL Y MADURA EN EL FUSTE.....  | 25 |
| FIGURA 7  | : UBICACIÓN DEL C. I. JENARO HERRERA .....  | 33 |
| FIGURA 8  | : UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE JENARO HERRERA.....   | 34 |
| FIGURA 9  | : UBICACIÓN DE PARCELAS EXPERIMENTALES A CAMPO ABIERTO DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE JENARO HERRERA .....  | 35 |
| FIGURA 10 | : NIVELES DE CORTE. DONDE: <b>A.</b> NIVEL BASAL, <b>B.</b> NIVEL MEDIO Y <b>C.</b> NIVEL APICAL.....   | 39 |
| FIGURA 11 | : FONDO DE PROBETA DE FLEXIÓN ESTÁTICA DE 29 AÑOS. EN T33A-B SE OBSERVA LA PRESENCIA DE LAS ASTILLADURA PRODUCTOS DEL ENSAYO .....  | 53 |
| FIGURA 12 | : VISTA DE LADOS DE PROBETAS DE FLEXIÓN ESTÁTICA PARA LA EDAD DE 15 AÑOS. EN PROBETA T13B-B, ASTILLADURA Y EN LA PROBETA T13B-A, QUEBRADURA .....   | 53 |
| FIGURA 13 | : PROBETAS T11A-2 RADIAL Y TANGENCIAL DE TENACIDAD, DE 15 AÑOS. EN AMBAS SE PUEDE APRECIAR FALLAS DEL TIPO QUEBRADURA .....   | 54 |
| FIGURA 14 | : PROBETAS DE TENACIDAD, T31B-1 RADIAL Y TANGENCIAL. EN LAS QUE SE OBSERVAN FALLAS DEL TIPO ASTILLADURA CORTA, CORRESPONDIENTES A LA EDAD DE 29 AÑOS .....                                      | 54 |
| FIGURA 15 | : FALLAS DEL TIPO QUEBRADURA EN LAS PROBETAS T21A-1 RADIAL Y TANGENCIAL PARA EL ENSAYO DE TENACIDAD, CORRESPONDIENTES A LA EDAD DE 24 AÑOS.....   | 62 |
| FIGURA 16 | : VISTAS DE LADOS. EN T21B-A SE OBSERVA QUEBRADURA Y EN T21B-B LA PRESENCIA DE QUEBRADURA; PERO EN DIFERENTE GRADO, ASÍ COMO, LA FALLA DE LA COMPRESIÓN EN LA ZONA SUPERIOR DE LA PROBETA ..... | 62 |
| FIGURA 17 | GRÁFICO COMPARATIVO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TORNILLO, LUPUNA Y CAOBA PROVENIENTES DE BOSQUES NATURALES CON EL TORNILLO DE PLANTACIONES DE 15 Y 29 AÑOS .....                               | 66 |
| FIGURA 18 | : GRÁFICO COMPARATIVO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TORNILLO, LUPUNA Y MARUPA PROVENIENTES DE BOSQUES NATURALES CON EL TORNILLO DE PLANTACIONES DE 24 AÑOS .....                                 | 72 |