

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

*Facultad de Ciencias Forestales*



**PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS  
DE LA CAPIRONA (*Calycophyllum  
spruceanum* (Benth) hook ex  
Schumann) PROCEDENTE DE UNA  
PLANTACIÓN EXPERIMENTAL EN SAN  
ALEJANDRO UCAYALI - PERÚ**

*Tesis para optar el Título de  
**INGENIERO FORESTAL***

**José Armando Pantigoso García**

Lima – Perú

2009

# ÍNDICE

	Página
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE CUADROS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>2</b>
2.1 CLASIFICACIÓN SISTEMÁTICA Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	2
2.2 FENOLOGÍA.....	5
2.3 SILVICULTURA .....	5
2.4 HÁBITAT Y DISTRIBUCIÓN .....	6
2.5 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO .....	7
2.6 DESCRIPCIÓN DE LA MADERA .....	8
2.6.1 <i>Características Generales.....</i>	<i>8</i>
2.6.2 <i>Características Anatómicas .....</i>	<i>8</i>
2.6.3 <i>Durabilidad Natural.....</i>	<i>11</i>
2.6.4 <i>Secado y Trabajabilidad.....</i>	<i>11</i>
2.6.5 <i>Uso de la Madera.....</i>	<i>11</i>
2.7 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA.....	12
2.7.1 <i>Propiedades Físicas .....</i>	<i>12</i>
2.7.2 <i>Propiedades Mecánicas.....</i>	<i>17</i>
2.7.3 <i>Clasificación de la Madera según sus propiedades Físicas y Mecánicas .....</i>	<i>25</i>
2.7.4 <i>Influencia de la Anatomía en las Propiedades Físicas y Mecánicas de la madera .....</i>	<i>29</i>
2.8 VARIABILIDAD DE LA MADERA .....	32
2.8.1 <i>Variabilidad de la Madera dentro un Árbol .....</i>	<i>33</i>
2.8.2 <i>Variabilidad de la Madera entre Árboles.....</i>	<i>35</i>
2.8.3 <i>Variabilidad en las Características Anatómicas de la Madera .....</i>	<i>36</i>
2.9 CRECIMIENTO DEL ÁRBOL .....	37
2.10 IMPLICANCIAS DEL USO DE ÁRBOLES A TEMPRANA EDAD.....	41
2.10.1 <i>Madera Juvenil.....</i>	<i>41</i>
2.10.2 <i>Tensiones de Crecimiento.....</i>	<i>47</i>
2.10.3 <i>Madera de Reacción .....</i>	<i>49</i>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>51</b>
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO .....	51
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS .....	51
3.2.1 <i>Especie .....</i>	<i>51</i>
3.2.2 <i>Equipo para la Preparación de Probetas.....</i>	<i>52</i>
3.2.3 <i>Equipos de Laboratorio .....</i>	<i>52</i>
3.2.4 <i>Otros.....</i>	<i>53</i>
3.3 METODOLOGÍA .....	54
3.3.1 <i>Ubicación de la plantación en estudio .....</i>	<i>54</i>
3.3.2 <i>Colección y selección de muestras.....</i>	<i>56</i>
3.3.3 <i>Procesamiento de Trozas.....</i>	<i>56</i>
3.3.4 <i>Disposición de los listones en la sección transversal de la troza.....</i>	<i>58</i>
3.3.5 <i>Codificación de los listones.....</i>	<i>60</i>
3.3.6 <i>Preparación y Acondicionamiento de Probetas.....</i>	<i>62</i>

3.3.7	<i>Métodos para determinar las Propiedades Físico – Mecánicas</i> .....	66
3.3.8	<i>Procesamiento de datos y evaluación de resultados</i> .....	66
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>69</b>
4.1	PROPIEDADES FÍSICAS .....	69
4.1.1	<i>Densidad peso específico y contracción</i> .....	69
4.1.2	<i>Análisis de regresión y correlación densidad básica – contracción</i> .....	73
4.1.3	<i>Análisis comparativo de la especie en estudio</i> .....	74
4.1.4	<i>Clasificación de las propiedades físicas</i> .....	76
4.2	PROPIEDADES MECÁNICAS.....	77
4.2.1	<i>Resistencia y rigidez</i> .....	77
4.2.2	<i>Análisis de regresión y correlación densidad básica – resistencia mecánica</i> .....	84
4.2.3	<i>Características resaltantes en el comportamiento de la madera estudiada</i> .....	85
4.2.4	<i>Análisis comparativo de la especie en estudio</i> .....	87
4.2.5	<i>Clasificación de las propiedades Mecánicas</i> .....	89
4.3	APTITUD DE USO.....	91
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>96</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>97</b>
<b>ANEXO 1</b> .....		<b>106</b>
	PROPIEDADES FÍSICAS POR ÁRBOL .....	106
<b>ANEXO 2</b> .....		<b>108</b>
	PROPIEDADES MÉCÁNICAS POR ÁRBOL .....	108
<b>ANEXO 3</b> .....		<b>112</b>
	GRÁFICOS DE REGRESIÓN LINEAL – PROPIEDADES FÍSICAS.....	112
<b>ANEXO 4</b> .....		<b>113</b>
	GRÁFICOS DE REGRESIÓN LINEAL – PROPIEDADES MECÁNICAS .....	113
<b>ANEXO 5</b> .....		<b>116</b>
	TIPOS DE FALLAS EN TENACIDAD POR ÁRBOL .....	116
<b>ANEXO 6</b> .....		<b>121</b>
	TIPOS DE FALLAS ENCONTRADOS POR ÁRBOL EN FLEXIÓN ESTÁTICA- SUPERFICIE DE TENSIÓN (FONDO).....	121
<b>ANEXO 7</b> .....		<b>124</b>
	TIPOS DE FALLAS ENCONTRADOS EN TRACCIÓN PERPENDICULAR RADIAL .....	124
<b>ANEXO 8</b> .....		<b>126</b>
	TIPOS DE FALLA EN CLIVAJE RADIAL.....	126
<b>ANEXO 9</b> .....		<b>128</b>
	TIPOS DE FALLAS ENCONTRADOS EN CIZALLAMIENTO RADIAL.....	128
<b>ANEXO 10</b> .....		<b>130</b>
	INFORMACIÓN ADICIONAL DE LA PLANTACIÓN EN ESTUDIO.....	130
<b>ANEXO 11</b> .....		<b>132</b>
	ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM PROCEDENTE DE BOSQUE NATURAL.....	132

## *Lista de cuadros*

		Página
<b>CUADRO 1</b>	PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE <i>CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM</i> SEGÚN DIFERENTES AUTORES.....	16
<b>CUADRO 2</b>	PROPIEDADES MECÁNICAS DE <i>CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM</i> SEÑALADAS POR DIFERENTES AUTORES.....	24
<b>CUADRO 3</b>	CLASIFICACIÓN DE LAS MADERAS PERUANAS SEGÚN SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS EN CONDICIÓN VERDE.....	26
<b>CUADRO 4</b>	CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MADERAS MEXICANAS EN CONDICIÓN SECA AL AIRE (CH= 12%).....	27
<b>CUADRO 5</b>	CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MADERAS MEXICANAS EN CONDICIÓN VERDE.....	28
<b>CUADRO 6</b>	INFORMACIÓN DE LA PLANTACIÓN DE LA CUAL SE SELECCIONARON LOS ÁRBOLES EN ESTUDIO.....	52
<b>CUADRO 7</b>	CARACTERÍSTICAS DE LAS TROZAS SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO.....	57
<b>CUADRO 8</b>	NÚMERO DE PROBETAS PARA ENSAYOS FÍSICO–MECÁNICOS PARA LA ESPECIE ESTUDIADA.....	64
<b>CUADRO 9</b>	VALORES PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE ACUERDO AL NIVEL DE CORTE.....	70
<b>CUADRO 10</b>	VARIABILIDAD DE LA DENSIDAD Y CONTRACCIÓN DE LA MADERA DE CAPIRONA... ..	70
<b>CUADRO 11</b>	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS TRES NIVELES ESTUDIADOS.....	71
<b>CUADRO 12</b>	VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE CAPIRONA.. ..	72
<b>CUADRO 13</b>	COMPARICIÓN DE LOS COEFICIENTES DE VARIACIÓN TOTALES OBTENIDOS CON LOS PRESENTADOS POR EL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS.....	73
<b>CUADRO 14</b>	COEFICIENTES DE CORRELACIÓN, DETERMINACIÓN Y ECUACIONES RESULTANTES DE LAS REGRESIONES LINEALES.....	74
<b>CUADRO 15</b>	VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACUERDO AL NIVEL DE CORTE.....	78
<b>CUADRO 16</b>	VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE CAPIRONA.....	80
<b>CUADRO 17</b>	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS TRES NIVELES ESTUDIADOS.....	81
<b>CUADRO 18</b>	VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE CAPIRONA.....	83
<b>CUADRO 19</b>	COMPARICIÓN DE LOS COEFICIENTES DE VARIACIÓN TOTALES OBTENIDOS CON LOS PRESENTADOS POR EL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS.....	84
<b>CUADRO 20</b>	COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN Y ECUACIONES DE REGRESIÓN LINEAL PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA CAPIRONA.....	85
<b>CUADRO 21</b>	CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE <i>CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM</i> A LA EDAD DE 9 AÑOS.....	90
<b>CUADRO 22</b>	USOS DE LAS MADERAS DE TORNILLO, CACHIMBO, COPAIBA.....	94

## Lista de figuras

Página

<b>FIGURA 1</b>	DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE <i>CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM</i> (BENTHAM) HOOKER F. EX SCHUMANN.....	4
<b>FIGURA 2</b>	SECCIONES MICROSCÓPICAS DE <i>CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM</i> (BENTH) HOOK EX SCHUMANN.....	10
<b>FIGURA 3</b>	COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA DE <i>CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM</i> SEGÚN DIFERENTES AUTORES.....	17
<b>FIGURA 4</b>	TIPOS DE FALLA EN ENSAYOS DE IMPACTO.....	20
<b>FIGURA 5</b>	SECUENCIA DEL CRECIMIENTO DE UN TALLO.....	40
<b>FIGURA 6</b>	DISTRIBUCIÓN DE LA MADERA JUVENIL Y MADERA MADURA EN EL FUSTE.....	43
<b>FIGURA 7</b>	EFFECTO DE LAS TENSIONES DE CRECIMIENTO, DURANTE EL ASERRÍO DE LA MADERA.....	49
<b>FIGURA 8</b>	CROQUIS DE UBICACIÓN DE LA PLANTACIÓN EN ESTUDIO.....	55
<b>FIGURA 9</b>	SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA TROZA EN ESTUDIO DE <i>CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM</i> .....	58
<b>FIGURA 10</b>	DISPOSICIÓN DE LISTONES DE 2½’’ x 2½’’ Y 1¼’’ x 1¼’’ DEBIDAMENTE ORIENTADOS... ..	59
<b>FIGURA 11</b>	DISPOSICIÓN DE LISTONES DE 1¼’’ x 1¼’’ NO ORIENTADOS.....	60
<b>FIGURA 12</b>	ÁRBOL DE LA PLANTACIÓN EN ESTUDIO MOSTRANDO LOS NIVELES DE CORTE.....	62
<b>FIGURA 13</b>	COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA DE <i>CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM</i> .....	75
<b>FIGURA 14</b>	COMPARACIÓN DE LA CONTRACCIÓN TOTAL DE <i>CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM</i> .....	76
<b>FIGURA 15</b>	PLASTICIDAD EN LAS PROBETAS DE FLEXIÓN ESTÁTICA.....	86
<b>FIGURA 16</b>	PANDEO EN LAS PROBETAS DE COMPRESIÓN PARALELA.....	86
<b>FIGURA 17</b>	RESISTENCIA PROMEDIO DE LA MADERA DE PLANTACIÓN DE 9 AÑOS DE EDAD Y BOSQUE NATURAL AL 12 % DE CONTENIDO DE HUMEDAD PARA LA CAPIRONA.....	88
<b>FIGURA 18</b>	RESISTENCIA PROMEDIO DE LA MADERA DE PLANTACIÓN DE 9 AÑOS DE EDAD Y BOSQUE NATURAL EN CONDICIÓN VERDE PARA LA CAPIRONA.....	89
<b>FIGURA 19</b>	COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL TORNILLO, CACHIMBO, COPAIBA Y HUAYRURO PROVENIENTES DE BOSQUE NATURAL CON CAPIRONA DE PLANTACIÓN DE 9 AÑOS.....	92
<b>FIGURA 20</b>	COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS (CONDICIÓN VERDE) DEL TORNILLO, CACHIMBO, COPAIBA Y HUAYRURO PROVENIENTES DE BOSQUE NATURAL CON CAPIRONA DE PLANTACIÓN DE 9 AÑOS.....	93
<b>FIGURA 21</b>	COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS (CONDICIÓN AL 12%) DEL TORNILLO, CACHIMBO, COPAIBA Y HUAYRURO PROVENIENTES DE BOSQUE NATURAL CON CAPIRONA DE PLANTACIÓN DE 9 AÑOS.....	94
<b>FIGURA 22</b>	COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA CAPIRONA DE PLANTACIÓN DE 9 AÑOS CON LAS DE APTITUD PARA POSTES.....	95