

**UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO**  
**ÁREA DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA ESPECIE**  
**MADERABLE MISO COLORADO (Couratari macrosperma A. C.**  
**Smith Lecythidaceae)**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO**  
**EN INGENIERÍA CIVIL**

**AUTOR: CHRISTIAN ALEX VENEROS ORDOÑEZ**

**ASESOR: ING. MARIO CARLOS LAZO DE LA VEGA VALENZUELA**

**TUTOR COLECTIVO: ING. JOSE LUIS RICHARD MANRIQUE SANABRIA**

**Cobija, noviembre de 2017**

## ***AGRADECIMIENTOS***

- A la Universidad Amazónica de Pando, por abrirme sus puertas para mi formación profesional, así también a los docentes que aportaron con su conocimiento en el desarrollo de esta larga carrera apasionante como es la Ingeniería Civil.
- A mi asesor Ing. Mario Carlos Lazo de la Vega Valenzuela, por ser el impulsor de la idea de este proyecto y por el apoyo y asesoría brindada para la culminación de este trabajo.
- Al personal de laboratorio de la carrera de ingeniería civil, por la colaboración prestada, cuando así lo necesitaba durante el desarrollo de esta tesis.
- Al área de ciencias y tecnología (ACyT) y dirección de carrera, por impulsar y coadyuvar el desarrollo de tesis, fomentando a la investigación científica y tecnológica.
- A todas las personas que de una u otra manera me brindaron su apoyo para que este trabajo sea una realidad.

*Christian Alex Veneros Ordoñez*

*ACTO QUE DEDICO*

- A DIOS. Por sobre todas las cosas, por brindarme fortaleza y sapiencia durante el desarrollo de esta tesis, por estar presente en esta etapa de mi vida y podamos lograr una nueva meta cumplida. Gracias Dios padre todo poderoso.
- A MIS PAPAS. Alex Jorge Veneros Limache y Palmira Dolores Ordoñez Rocha por su invaluable amor, por confiar y creer en mi en todo instante, y por esperar con ansias y paciencia este memorable momento. Les dedico este logro como una pequeña recompensa a sus sacrificios.
- A MI ESPOSA. Delsy Adriana Yugar Ortiz, con amor infinito, por el esfuerzo compartido, brindarme apoyo incondicional en todo momento de nuestros días. Gracias por ser parte de mi vida y hacer de mis sueños los tuyos, este logro es nuestro.
- A MIS HERMANOS Jonathan, Stefanny y Kimberly, por compartir mis alegrías, y estar presentes conmigo aun en la distancia.

*Christian Alex Veneros Ordoñez*

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se lo realizo con maderas de la especie maderable Miso Colorado (*Couratari macrosperma* A. C. Smith *Lecythidaceae*), provenientes de la comunidad Puerto Sucre, ubicado en la amazonia boliviana a 95 Km de la ciudad de Cobija, en el municipio de Filadelfia, provincia Manuripi del departamento de Pando.

El objetivo general fue determinar las características físicas y propiedades mecánicas de la especie en estudio, a través de ensayos de laboratorio, para su empleo en construcciones civiles como madera estructural.

La metodología empleada para cumplir con los objetivos trazados en la presente tesis, se fundamenta bajo los lineamientos de las normas ASTM (American Society for Testing and Materials), de esta manera se realiza la comparación de metodologías con estudios similares con especies maderables en diferentes países como a nivel nacional.

Se encontrará una descripción desde la selección y recolección de especies, la ejecución de los ensayos físicos y mecánicos, hasta el análisis e interpretación de resultados para la posterior caracterización y clasificación de la especie maderable Miso Colorado (*Couratari macrosperma* A. C. Smith *Lecythidaceae*).

Finalmente se concluye que el Miso Colorado (*Couratari macrosperma* A. C. Smith *Lecythidaceae*), es buena especie maderable estructural y es apta para su uso en construcciones civiles.

## ABSTRACT

The present research work was carried out with woods from the Miso Colorado timber species (*Couratari macrosperma* A.C. Smith Lecythidaceae), from the Puerto Sucre community, located in the Bolivian Amazon 95 km from the city of Cobija, in the municipality of Filadelfia, Manuripi province of the department of Pando.

The general objective was to determine the physical characteristics and mechanical properties of the specie under study, through laboratory tests, for use in civil constructions such as structural timber.

The methodology used to meet the objectives outlined in this thesis is based on the guidelines of the ASTM standards (American Society for Testing and Materials), thus comparing methodologies with similar studies with timber species in different countries. as at the national level.

A description will be found from the selection and collection of species, the execution of physical and mechanical tests, to the analysis and interpretation of results for the subsequent characterization and classification of the Miso Colorado timber species (*Couratari macrosperma* A. C. Smith Lecythidaceae).

Finally, it is concluded that the Miso Colorado (*Couratari macrosperma* A. C. Smith Lecythidaceae) is a good structural timber species and is suitable for use in civil constructions.

## ÍNDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Pag.</b>
<b>XIV</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. SELECCIÓN DE LA ESPECIE EN ESTUDIO. ....	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	3
1.3. OBJETIVOS. ....	4
1.3.1. Objetivo General. ....	4
1.3.2. Objetivos Específicos. ....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN. ....	4
1.5. ALCANCE. ....	5
1.6. DEFINICIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN. ....	6
1.7. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS. ....	6
1.8. DISEÑO METODOLÓGICO. ....	7
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1. ESTUDIOS REALIZADOS. ....	8
2.1.1. Estudios realizados en el extranjero. ....	8
2.1.2. Estudios realizados en Bolivia. ....	10
2.1.3. Estudios realizados en Pando. ....	11
2.2. ESTRUCTURA DE LA MADERA. ....	12
2.2.1. Estructura anatómica de la madera. ....	16
2.2.2. Estructura macroscópica de la madera. ....	16
2.2.3. Estructura microscópica de la madera. ....	17
2.2.4. Propiedades básicas de la madera. ....	20
2.3. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE EN ESTUDIO. ....	21
2.3.1. <i>Couratari macrosperma</i> A. C. Smith <i>Lecythidaceae</i> . ....	21
2.4. PROPIEDADES RESISTENTES DE LA MADERA. ....	24

2.4.1.	<i>Flexión Estática</i> .....	24
2.4.1.1.	Módulo de rotura (MOR).....	25
2.4.1.2.	Módulo de elasticidad.....	25
2.4.2.	<i>Compresión paralela a las fibras</i> .....	26
2.4.3.	<i>Compresión perpendicular a las fibras</i> .....	27
2.4.4.	<i>Dureza</i> .....	28
2.4.5.	<i>Corte paralelo a las fibras</i> .....	28
2.4.6.	<i>Clivaje (Hendimiento)</i> .....	29
2.4.7.	<i>Tracción paralela a las fibras</i> .....	30
2.4.8.	<i>Tracción perpendicular a las fibras</i> .....	31
2.5.	<b>PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA</b> .....	31
2.5.1.	<i>Contenido de humedad</i> .....	31
2.5.2.	<i>Densidad</i> .....	32
2.5.3.	<i>Peso específico</i> .....	33
2.5.4.	<i>Contracción volumétrica</i> .....	34
2.6.	<b>MADERA DE CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURAL</b> .....	34
<b>3.</b>	<b>SELECCIÓN Y RECOLECCIÓN DE ESPECIES</b> .....	<b>36</b>
3.1.	<b>DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL LUGAR DE EXTRACCIÓN</b> .....	36
3.1.1.	<i>Características físicas y climáticas</i> .....	36
3.1.2.	<i>Elevación</i> .....	36
3.1.3.	<i>Geología</i> .....	37
3.1.4.	<i>Suelos</i> .....	37
3.2.	<b>UBICACIÓN GEOGRÁFICA</b> .....	37
3.3.	<b>MAPAS DE UBICACIÓN DE EXTRACCIÓN DE LA COMUNIDAD CAMPESINA PUERTO SUCRE</b> .....	39
3.4.	<b>SELECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE TROZAS</b> .....	39
3.4.1.	<i>Muestreo</i> .....	40
3.4.2.	<i>Identificación y selección de especies</i> .....	43
3.4.3.	<i>Marcado y aserrado</i> .....	43
3.4.4.	<i>Corte y almacenaje</i> .....	44
3.5.	<b>NUMERACIÓN Y CODIFICACIÓN DE LAS PROBETAS</b> .....	45
3.5.1.	<i>Codificación de probetas para ensayos de propiedades físicas</i> .....	46
3.5.2.	<i>Codificación de probetas para ensayos de propiedades mecánicas</i> .....	46

<b>4.</b>	<b>DESARROLLO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>48</b>
4.1.	<i>ESPECIFICACIONES GENERALES.....</i>	48
4.1.1.	<i>Norma de aplicación para los ensayos.....</i>	48
4.1.2.	<i>Métodos de ensayo.....</i>	48
4.1.3.	<i>Control de la temperatura.....</i>	49
4.1.4.	<i>Medios y equipos utilizados.....</i>	49
4.2.	<i>SELECCIÓN Y DISPOSICIÓN PARA ENSAYOS.....</i>	52
4.3.	<i>DESARROLLO DE LOS ENSAYOS.....</i>	52
4.3.1.	<i>Flexión Estática.....</i>	53
4.3.1.1.	<i>Procedimiento de ensayo.....</i>	53
4.3.1.2.	<i>Calculo de resultados.....</i>	56
4.3.2.	<i>Compresión paralela a las fibras.....</i>	56
4.3.2.1.	<i>Procedimiento de ensayo.....</i>	56
4.3.2.2.	<i>Calculo de resultados.....</i>	60
4.3.3.	<i>Compresión perpendicular a las fibras.....</i>	60
4.3.3.1.	<i>Procedimiento de ensayo.....</i>	60
4.3.3.2.	<i>Calculo de resultados.....</i>	63
4.3.4.	<i>Dureza.....</i>	63
4.3.4.1.	<i>Procedimiento de ensayo.....</i>	63
4.3.4.2.	<i>Calculo de resultados.....</i>	65
4.3.5.	<i>Corte paralelo a las fibras.....</i>	66
4.3.5.1.	<i>Procedimiento de ensayo.....</i>	66
4.3.5.2.	<i>Calculo de resultados.....</i>	67
4.3.6.	<i>Clivaje (Hendimiento).....</i>	68
4.3.6.1.	<i>Procedimiento de ensayo.....</i>	68
4.3.6.2.	<i>Calculo de resultados.....</i>	69
4.3.7.	<i>Tracción paralela a las fibras.....</i>	70
4.3.7.1.	<i>Procedimiento de ensayo.....</i>	70
4.3.7.2.	<i>Calculo de resultados.....</i>	72
4.3.8.	<i>Tracción perpendicular a las fibras.....</i>	72
4.3.8.1.	<i>Procedimiento de ensayo.....</i>	72
4.3.8.2.	<i>Calculo de resultados.....</i>	74

4.3.9.	<i>Contenido de humedad.</i>	74
4.3.9.1.	Procedimiento de ensayo.....	74
4.3.9.2.	Calculo de resultados.....	75
4.3.10.	<i>Densidad, peso específico y contracción volumétrica.</i>	75
4.3.10.1.	Procedimiento de ensayo.....	75
4.3.10.2.	Calculo de resultados.....	76
4.4.	<i>ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS.</i>	76
4.4.1.	<i>Procedimiento.</i>	77
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>78</b>
5.1.	<i>PROPIEDADES FÍSICAS.....</i>	78
5.1.1.	<i>Contenido de humedad</i>	78
5.1.2.	<i>Densidad, peso específico y contracción volumétrica.</i>	79
5.2.	<i>PROPIEDADES MECÁNICAS.....</i>	80
5.2.1.	<i>Flexión Estática.....</i>	80
5.2.2.	<i>Compresión paralela a las fibras.</i>	81
5.2.3.	<i>Compresión perpendicular a las fibras.</i>	82
5.2.4.	<i>Dureza.....</i>	83
5.2.5.	<i>Corte paralelo a las fibras.</i>	84
5.2.6.	<i>Clivaje (Hendimiento).....</i>	84
5.2.7.	<i>Tracción paralela a las fibras.....</i>	85
5.2.8.	<i>Tracción perpendicular a las fibras.</i>	86
5.3.	<i>DISCUSIÓN.....</i>	87
5.4.	<i>FICHA TÉCNICA DE LA ESPECIE EN ESTUDIO.</i>	89
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>91</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>94</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>97</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Contenido</b>	<b>Pag.</b>
<i>Figura: 2.1. Secciones De Un Árbol: Raíces, Tronco Y Copa.....</i>	12
<i>Figura: 2.2 Sección Transversal De Un Tronco. Corteza Exterior E Interior .....</i>	13

<i>Figura: 2.3. Sección Transversal De Un Tronco. Cambium.</i> .....	14
<i>Figura: 2.4. Sección Transversal De Un Tronco. Albura.</i> .....	14
<i>Figura: 2.5. Sección Transversal De Un Tronco. Duramen.</i> .....	15
<i>Figura: 2.6. Sección transversal de un tronco. Médula.</i> .....	15
<i>Figura: 2.7 Estructura De Maderas Latifoliadas.</i> .....	18
<i>Figura: 2.8 Estructura de maderas coníferas.</i> .....	19
<i>Figura: 2.9. Ejes De La Madera</i> .....	20
<i>Figura: 2.10 Estructura De La Población De Miso, Según Inventarios Forestales En Pando.</i> .....	23
<i>Figura: 3.1. Ubicación De La Comunidad Campesina Puerto Sucre En El Departamento De Pando.</i> .....	38
<i>Figura: 3.2. Localización De La Comunidad Campesina Puerto Sucre Desde la Ciudad de Cobija.</i> .....	38
<i>Figura: 3.3. Mapas De Ubicación De Extracción De Los Árboles De Miso Colorado Dentro La CC Puerto Sucre (Coordenadas UTM).</i> .....	39
<i>Figura: 4.1. Dimensiones De Probeta En Mm. Flexión Estática.</i> .....	53
<i>Figura: 4.2. Forma De Aplicación De Carga sobre Probeta en Flexion Estatica .</i> .....	54
<i>Figura: 4.3 Tipos De Falla En Flexión Estática.</i> .....	55
<i>Figura: 4.4. Dimensiones De Probeta En Mm. Compresión Paralela A Las Fibras.</i> .....	57
<i>Figura: 4.5 Tipos de falla en compresión paralela a las fibras.</i> .....	59
<i>Figura: 4.6. Dimensiones De Probeta En Mm. Compresión Perpendicular A Las Fibras.</i> .....	61
<i>Figura: 4.7. Dimensiones De Probeta de Compresión Perpendicular a las Fibras En Mm. Dureza.</i> .....	64
<i>Figura: 4.8. Dimensiones De Probeta En Mm. Corte Paralelo A Las Fibras.</i> .....	66
<i>Figura: 4.9. Dimensiones De Probeta En Mm. Clivaje.</i> .....	68
<i>Figura: 4.10 Dimensiones De Probeta En Mm. Tracción Paralela A Las Fibras.</i> .....	70
<i>Figura: 4.11. Dimensiones De Probeta En Mm. Tracción Perpendicular A Las Fibras.</i> .....	73

## **ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS**

<b>Contenido</b>	<b>Pag.</b>
<i>Troza marcada sobre su sección transversal. ....</i>	43
<i>Proceso De Escuadrado Y Seccionamiento De Las Trozas. ....</i>	44
<i>Listones Obtenidos Después Del Aserrado. ....</i>	44
<i>Almacenamiento De Listones. ....</i>	45
<i>Descripción de Máquina para ensayos en madera JDBlab. ....</i>	51
<i>Descripción de Interface. ....</i>	51
<i>Disposición de Ensayo Flexión Estática. ....</i>	54
<i>Disposición De La Probeta Para El Ensayo Compresion Paralela a las Fibras. ....</i>	58
<i>Disposición De La Probeta Para El Ensayo Compresión Perpendicular a las Fibras. ....</i>	62
<i>Disposición De La Probeta Para El Ensayo de Dureza. ....</i>	64
<i>Disposición De La Probeta Para El Ensayo de Corte Paralelo a las Fibras. ....</i>	67
<i>Disposición de la probeta para el ensayo de Clivaje. ....</i>	69
<i>Probeta Ubicada En Dispositivo De Ensayo Traccion Paralela a las Fibras. ....</i>	71
<i>Probeta de Tracción Perpendicular a las Fibras Ubicada En Dispositivo De Ensayo. ....</i>	73

## **ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Contenido</b>	<b>Pag.</b>
<i>Tabla 2.1 Clasificación del MOR según resistencia a flexión estática. ....</i>	25
<i>Tabla 2.2 Clasificación del MOE según resistencia a flexión estática. ....</i>	26
<i>Tabla 2.3 Clasificación del MOR según la compresión paralela a las fibras. ....</i>	27
<i>Tabla 2.4 Clasificación del ELP según la compresión perpendicular la a las fibras. ....</i>	27
<i>Tabla 2.5 Clasificación según dureza. ....</i>	28
<i>Tabla 2.6 Clasificación del EMC según el corte paralelo a las fibras. ....</i>	29
<i>Tabla 2.7 Categorización según densidad seca al aire, al 12% C.H. ....</i>	33

<i>Tabla 2.8 Categorización según densidad anhidra .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 2.9 Categorización según peso específico.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 2.10 Las maderas según su coeficiente de contracción volumétrica.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 4.1 Cantidad de ensayos realizados.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 5.1 Promedios de ensayos de Contenido de humedad.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 5.2 Propiedades físicas del Miso Colorado .....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 5.3 Resumen Flexión estática .....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 5.4 Resumen Compresión paralela a las fibras.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 5.5 Resumen Compresión perpendicular a las fibras .....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 5.6 Resumen Dureza.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 5.7 Resumen Corte paralelo a las fibras.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 5.8 Resumen Clivaje. Cara Radial.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 5.9 Resumen Clivaje. Cara tangencial.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 5.10 Resumen Tracción Paralela a las Fibras .....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 5.11 Resumen Tracción Perpendicular a las Fibras Cara Radial .....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 5.12 Resumen Tracción Perpendicular a las Fibras Cara Tangencial .....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 5.13 Resumen de las propiedades físicas y mecánicas. ....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 5.14 Ficha técnica especie maderable Miso Colorado.....</i>	<i>90</i>

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>Contenido</b>	<b>Pag.</b>
<i>ANEXO. A Resultado De Los Ensayos De Propiedades Físicas .....</i>	<i>98</i>
<i>ANEXO. B. Resultados del Ensayo de Flexión Estática .....</i>	<i>99</i>
<i>ANEXO. C. Resultados del Ensayo de Compresión Paralela a las Fibras .....</i>	<i>102</i>
<i>ANEXO. D. Resultados del Ensayo de Compresión Perpendicular a las Fibras .....</i>	<i>105</i>
<i>ANEXO. E. Resultados del Ensayo de Dureza .....</i>	<i>106</i>
<i>ANEXO. F. Resultados del Ensayo Corte Paralelo a las Fibras .....</i>	<i>107</i>

<i>ANEXO. G. Resultados del Ensayo de Clivaje.....</i>	<i>108</i>
<i>ANEXO. H. Resultados del Ensayo Tracción Paralela a las Fibras.....</i>	<i>110</i>
<i>ANEXO. I. Resultados del Ensayo Tracción Perpendicular a las Fibras.....</i>	<i>111</i>
<i>ANEXO. J. Fotografías de Ensayos Realizados.....</i>	<i>113</i>
<i>ANEXO. K. Resumen de encuestas realizadas año 2013.....</i>	<i>123</i>

## GLOSARIO

<b>Albura</b>	Se encuentra en la parte externa del tronco, bajo la corteza constituida por tejidos jóvenes en período de crecimiento. De coloración más clara que el duramen, más porosa y más ligera, con mayor riesgo a los ataques bióticos.
<b>Arbórea</b>	Se le llama de esta manera a cualquier especie de madera.
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials).
<b>Barras</b>	Son segmentos de madera del cual se cortan las piezas para elaborar las probetas.
<b>CH</b>	Contenido de humedad
<b>Clivaje</b>	Esfuerzo necesario para hender la madera a lo largo de la fibra, ya sea en sentido radial o tangencial.
<b>Contracción volumétrica</b>	Es el achicamiento en volumen al que es capaz de deformarse la especie sometida a tal ensayo.
<b>Duramen</b>	Madera de la parte interior del tronco. Constituido por tejidos que han llegado a su máximo desarrollo y resistencia, debido al proceso de lignificación. De coloración, a veces, más oscura que la exterior.
<b>Fuste</b>	Parte sólida de los árboles.

<b>Hendimiento</b>	Es el proceso de introducir una esfera de acero aplicando carga por medio de una máquina a la probeta de madera, para establecer su capacidad de resistencia a la penetración.
<b>Módulo de elasticidad</b>	Expresa la relación existente entre la carga y la deformación dentro del límite de proporcionalidad.
<b>MOE</b>	Módulo de elasticidad
<b>MOR</b>	Módulo de ruptura

## 1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción demanda cada vez mayores garantías de calidad, seguridad y durabilidad en los edificios, tanto en obra nueva como en rehabilitación. La madera como material estructural, siendo históricamente el más utilizado y uno de los más demandados en nuestros días, encuentra en la actualidad una serie de dificultades cuyo origen se centra básicamente en el olvido de algunos oficios tradicionales y en el aún incipiente afán investigador que pueda dar respuesta a la demanda de dichas garantías, en claro contraste con otros materiales de reciente y fuerte implantación como el hormigón o el acero.

Debido a que la madera es un material biológico, sus propiedades mecánicas están sujetas a considerables variaciones naturales. Así, los resultados de los ensayos de propiedades mecánicas de las diferentes especies dependen en gran parte de cómo los árboles son procesados como material de ensayo. Sin embargo, alcanzar una verdadera probabilidad mediante el muestreo de árboles para determinar sus propiedades mecánicas puede ser una tarea extremadamente compleja y costosa debido a las características geográficas y condiciones topográficas en las cuales la especie arbórea se desarrolla. En algunas instancias, el muestreo por probabilidad directa puede ser poco práctico, surgiendo así la necesidad de procedimientos de muestreo alternativos (ASTM, 1999). Para la obtención y preparación de un material experimental adecuado, es decir, madera libre de defectos con las cuales se deben realizar los diferentes ensayos, se aplican los procedimientos prescritos en la norma ASTM-D 5536-99 "Standard Practice for Sampling Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties" (Prácticas estándares para muestrear árboles forestales para determinar propiedades en madera libre de defectos); para luego realizar un análisis estadístico de las

muestras con base en la media aritmética y en la desviación estándar, mostrando su validez estadística por medio del análisis del coeficiente de variación. Los resultados se ajustan al 12% de contenido de humedad y con base en ellos se calculan los esfuerzos básicos.

Muchos países han avanzado en el estudio de las especies maderables de su región; sin embargo, en el nuestro solo se tiene la recopilación de las especies faltando las características físicas y mecánicas, de acuerdo a la revisión bibliográfica se tiene un mínimo compendio donde se especifique las características físicas y mecánicas de las maderas de la amazonia boliviana.

### **1.1. Selección de la especie en estudio.**

El año 2013 se realizó el estudio de “Maderas de la Amazonia boliviana – Capacidades resistentes y propiedades elásticas de cinco especies maderables” (Lazo de la Vega Valenzuela, Navia Miranda, Veneros Ordoñez, & Yugar Ortiz, 2013), las especies estudiadas fueron el almendrillo negro, almendrillo amarillo, tajibo, itaúba y marfil, que fueron el resultado de encuestas y entrevistas a personal clave de las empresas madereras, empresas constructoras y profesionales ligados a la industria de la construcción.

Una de las especies que predominaba aparte de las estudiadas era el castaño, que por decreto supremo 27572 tiene una prohibición de corte, por lo que no se la tomo en cuenta, así mismo la séptima especie que prevalecía era el miso colorado objeto de estudio de esta tesis, des esta manera se da continuidad al estudio de especies maderables más utilizadas en la construcción, el resumen de las encuestas realizadas se encuentra en anexos de la presente investigación.

## **1.2.Planteamiento del problema.**

Actualmente es habitual el uso del acero y del hormigón en desmedro de la madera, debido en gran medida, a dos condicionantes que son: la durabilidad de las estructuras de madera y su comportamiento frente al fuego, por otra parte, la falta de conocimiento de las propiedades físico mecánicas de las especies maderables, provoca que a la gran mayoría de estas se las considere inservibles para su aprovechamiento.

Debido a la escasa información técnica de las especies maderables disponibles en el territorio nacional, solo ciertas especies maderables han sido explotadas y comercializadas, para distintos usos y aplicaciones. Estas extracciones se debían a la tradición de uso y a las características de trabajo ampliamente conocidas de estas especies maderables, aun cuando estas se basaban solamente en conocimientos empíricos.

De acuerdo a la investigación heurística realizada para esta instancia, en el país no se tienen datos técnicos (físicos, resistentes y elásticos) de las especies maderables estructurales provenientes de la Amazonia boliviana, pese a la falta de esta información, se realizan diseños de estructuras de madera que no son óptimos ni económicos, puesto que se tienen que asumir datos de partida que no están estudiados científicamente, siendo estos fundamentales para el cálculo y diseño de estructuras de madera .

La finalidad del trabajo de investigación es contar con datos técnicos fiables (características físico-mecánicas del miso colorado), que permitan efectuar diseños de estructuras de madera óptimas y económicas, que satisfagan al usuario final. De esta manera se está contribuyendo en la formulación de información tecnológica de especies maderables en nuestro país.

### **1.3.Objetivos.**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

Determinar las características físicas y propiedades mecánicas de la especie maderable Miso Colorado, a través de ensayos de laboratorio, para su empleo en construcciones civiles como madera estructural.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Realizar la toma de muestras de los arboles escogidos aleatoriamente.
- Determinar las propiedades físicas de la especie maderable Miso Colorado.
- Determinar las propiedades mecánicas de la especie maderable Miso Colorado.
- Realizar la ficha técnica de la especie estudiada.

### **1.4.Justificación.**

La madera en general es de uso masivo, no solo en estructuras civiles destinadas a vivienda sino en estructuras de mayor envergadura como cubiertas de grandes depósitos, puentes y otros. Sin embargo, debido a la escasez de información técnica necesaria del tema, el cálculo de estas estructuras sufre un sobredimensionamiento en el diseño estructural elevando los costos de la construcción, es por esta razón que la presente investigación se centra en las características físicas y propiedades mecánicas de la especie Miso Colorado, madera abundante en el departamento de Pando.

Cumpliendo los objetivos trazados en la investigación, tendremos como resultado información válida de la madera para su uso estructural que permita a ingenieros o técnicos del rubro de la construcción, diseñar estructuras acordes a sus características, finalmente toda la información científica obtenida, se resume en una ficha técnica que permitirá un fácil acceso a los datos obtenidos de la especie maderable Miso Colorado.

Con los resultados obtenidos en esta investigación, se podrá realizar estructuras económicas y seguras, convirtiendo en directos beneficiados a la población en general que opte por este tipo de estructuras, así mismo es un aporte para el empresario privado para que industrialice la especie estudiada.

### **1.5.Alcance.**

Durante el desarrollo de la investigación y cumpliendo los objetivos trazados, se logró obtener las siguientes características:

- Determinación de propiedades mecánicas:
  - Compresión paralela a las fibras.
  - Flexión estática.
  - Dureza
  - Corte paralelo a las fibras.
  - Compresión perpendicular a las fibras.
  - Tracción perpendicular a las fibras.
  - Tracción paralela a las fibras.
  - Resistencia al hendimiento.
- Determinación de propiedades físicas:
  - Contenidos de humedad.
  - Pesos específicos
  - Densidades
  - Contracción volumétrica

- Elaboración de una ficha técnica de la especie en estudio, donde se encuentran los datos técnicos obtenidos durante la investigación científica.

### **1.6. Definición del tipo de investigación.**

En la presente investigación se adoptó el enfoque cuantitativo porque se realizaron pruebas de laboratorio que son medibles, puntuales y numéricos. Para alcanzar los objetivos, fueron necesarios la recolección y el análisis de datos para aceptar o rechazar las preguntas de investigación y probar las hipótesis establecidas previamente. Se confía en la medición numérica, el conteo y el uso de la estadística para intentar establecer con exactitud patrones en una muestra para generalizar los resultados en el universo.

El alcance de la investigación fue el descriptivo, que buscó especificar las propiedades, las características y los aspectos importantes del fenómeno que se somete a análisis. Además, existe la necesidad de vislumbrar las relaciones entre algunas variables involucradas, aunque éstas sean poco elaboradas.

En función al tiempo en el que se realizó respecto al protocolo, el estudio fue prospectivo, toda vez que la recolección, la sistematización, el análisis y la interpretación de datos fue posterior a la aprobación del protocolo.

Respecto al momento de investigación, éste fue transversal. Esto quiere decir que el objetivo del estudio fue determinar las propiedades de las muestras en un momento dado y no estudiar el comportamiento en diferentes tiempos.

### **1.7. Formulación de la hipótesis.**

Para la presente investigación se plantea la siguiente hipótesis “El Miso Colorado es apto para el uso en construcciones civiles como madera estructural”

### **1.8.Diseño metodológico.**

La metodología empleada en el presente trabajo investigativo, se resume en dos partes específicas la heurística y la hermenéutica.

En la primera fase heurística se efectuó el análisis documental en el marco teórico conceptual, de la normativa vigente relacionadas con el presente trabajo, análisis del estado del arte y /o documentos publicados con anterioridad que traten o busquen objetivos similares a los del presente proyecto

La segunda fase hermenéutica, constó de tres partes muy diferenciadas: la primera permitió efectuar el muestreo de árboles forestales para la determinación de las propiedades de la madera libre de defectos; la segunda consistió en la aplicación de métodos de prueba estándar para pequeñas muestras de madera libres de defectos, que permitió clasificar las especies maderables mediante la evaluación de sus propiedades físicas y mecánicas, actividades que se desarrollaban en los laboratorios del programa de Ingeniería Civil de la UAP (Universidad Amazónica de Pando), la toma de muestras se efectuó de acuerdo a la Norma ASTM D 5536 y los ensayos destructivos se ejecutaron siguiendo la Norma ASTM D 143, finalmente, la tercera fase de análisis e interpretación de resultados consistió en la sistematización de la información obtenida de las prueba de laboratorio en una base de datos en función a las variables objeto de estudio y el análisis estadístico descriptivo como la media aritmética, desviación típica; para finalmente realizar el análisis de los resultados obtenidos comparando con los parámetros establecidos basándose en bibliografía específica sobre el tema.

## **2. Marco teórico**

### **2.1. Estudios realizados.**

#### **2.1.1. Estudios realizados en el extranjero.**

En la universidad San Carlos de Guatemala se elaboró una tesis denominada “Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de cuatro especies de madera del Peten” cuyo objetivo principal fue “Determinar las características físicas y propiedades mecánicas de cuatro especies del Péten”. Para el desarrollo de las pruebas físicas y mecánicas se empleó la norma A.S.T.M D-143 American Society for Testing and Materials. (Rivas, C. Joachin, J. (2006)).

En la misma universidad San Carlos de Guatemala se elaboró una tesis que tiene como objetivo general “Determinación de la características físicas y propiedades mecánicas por dos distintas edades de la especie de madera Gmelina arbórea Roxb (Melina) de Retalhuleu para recomendación de su uso en la industria de la construcción” donde también se acudió a la norma A.S.T.M D-143 para realizar los ensayos de laboratorio, y la norma A.S.T.M D-5536 para el corte y muestreo de árboles. (Gonzales, C. (2013)).

Así mismo, un estudio realizado es la tesis referida a la caracterización estructural de madera de gran escuadría (Guerrero, 2013), para lo cual ensaya una metodología que permite ampliar estudios posteriores, se dirige principalmente a la evaluación de estructuras existentes. El estudio se ha desarrollado sobre un total de 117 piezas de madera de gran escuadría procedentes de diferentes edificios antiguos, todas ellas de madera de pino silvestre o pinaster, que formaron parte de las estructuras de cubierta o forjados. Se ha realizado la clasificación visual con las normas UNE 56544 y DIN 4074 que son normas españolas que

definen la clasificación de la madera aserrada para uso estructural, según diferentes parámetros de clasificación o grupos de parámetros que permitan rendimientos altos con niveles de seguridad aceptables. Aconseja la clasificación por criterios de nudos y desviación de la fibra en una sola calidad que reúna todas las piezas que no son rechazadas según la especificación de la norma.

De igual forma se tiene un estudio de las propiedades físico-mecánicas de la madera de Fernán Sánchez (*Triplaris cumingiana* Fish. Mey.) procedente de Quevedo y Balzar, en donde determinaron el porcentaje de duramen y albura de los árboles, las propiedades físicas en estado verde y anhidro de la madera, las propiedades mecánicas en estado de equilibrio y las principales diferencias físico mecánicas de la madera. Se colectaron 10 árboles de Fernán Sánchez (5 en Quevedo y 5 en Balzar) con edades entre 13 a 18 años. De cada árbol se obtuvieron dos trozas de 2.50 m de largo y de cada troza se obtuvo un tablón central de 10 cm de ancho por 2.50 m de longitud del cual se extrajo las viguetas y finalmente las probetas. Se elaboraron 60 probetas (6 probetas por árbol) para los ensayos de las propiedades físicas. Para el estudio de las propiedades mecánicas se elaboraron 60 probetas (1 por cada ensayo por árbol). La metodología empleada para el estudio de las propiedades físicas y mecánicas se fundamentó en las normas ASTM D 143-94 (American Society for Testing and Materials). Los resultados mostraron que no existe diferencia significativa entre la madera de las dos zonas. La madera de Fernán Sánchez de Quevedo y Balzar presentó mediana densidad, por lo que tiene mejores posibilidades de uso en la fabricación de muebles y gabinetes, armazón en construcciones, molduras, carpintería en general, entablados, puertas y ventanas, entre las principales. (AA.VV. s/f)

Se tiene un estudio para la caracterización tecnológica de veinte especies de la Selva Lacandona con el propósito de generar la información técnica necesaria que permita el mejor aprovechamiento de las especies maderables tropicales que crecen en México y que hasta ahora han sido poco conocidas y utilizadas. Las especies estudiadas se seleccionaron de acuerdo con su forma, abundancia y distribución geográfica. Se realizaron ensayos físicos, mecánicos, de aserrado, de durabilidad y de resistencia natural al ataque de agentes biodegradadores. Los resultados se presentan en tablas para cada una de las pruebas realizadas y en fichas tecnológicas para cada especie. (Red de revistas científicas de América y el Caribe, España y Portugal. 1995).

### **2.1.2. Estudios realizados en Bolivia.**

En Cochabamba se realizó una investigación con madera proveniente de plantaciones experimentales de melina (*Gmelina arborea* Roxb.), de 15 años de edad; y teca (*Tectona grandis* Linn. F.) de 8 años de edad, ubicadas en los predios del fundo universitario "Valle de Sacta", donde el objetivo general es determinar las principales propiedades físicas y mecánicas de estas especies, con el fin de contar con información básica de estas maderas, la metodología empleada para alcanzar los objetivos propuestos está fundamentada en las normas ASTM (American Society for Testing and Materials), lo cual permitió realizar comparaciones con otros estudios realizados en diferentes países y regiones. (Rivero, G. 2004)

Así mismo otro trabajo realizado es la recopilación de información y experiencias existentes en Bolivia, del Instituto Brasileiro de Medio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis IBAMA, en países de la región que tienen bosques de similares características a los nuestros, Oxford Forestry Institute y de otras fuentes privadas, con el fin de brindar un

material de consulta, lo más completo posible, de fácil lectura, con la información básica necesaria pero susceptible a cambios y complementaciones. “Información técnica para el procesamiento industrial de 134 especies maderables de Bolivia/Víctor Hugo Gutiérrez Rojas y Julio Silva Sandoval”.

Por último, de acuerdo al estudio realizado en la junta de Cartagena las únicas especies maderables estudiadas de Bolivia según tipo son: Del tipo A: almendrillo, curuparú, del tipo B: coquino mururé y verdolago, y tipo C: palo maría y yesquero. “Manual de diseño para maderas del Grupo Andino”, PADT REDFORT, Junta de Acuerdo de Cartagena.

Significa que el estudio de las características mecánicas y físicas de las especies maderables de la Amazonia Boliviana es insuficiente y solamente se tiene un resumen de datos de las especies mencionadas anteriormente, de tal manera que el miso colorado no tiene un estudio de las características físico-mecánicas, por lo que la investigación empieza a partir de la inexistencia de datos de las características físicas, mecánicas y elásticas de esta especie maderable, datos que permitan el cálculo y diseño de estructuras civiles de madera.

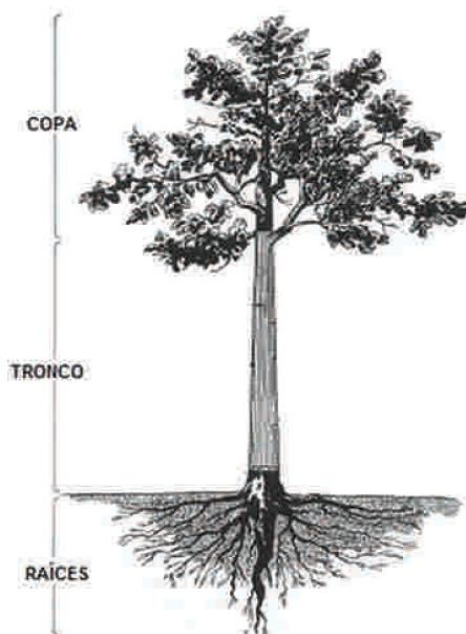
### **2.1.3. Estudios realizados en Pando.**

El año 2013 con el apoyo interinstitucional entre la Universidad Amazónica de Pando UAP y la fundación PIEB se publicó un libro donde se detalla toda la metodología empleada para la determinación de las características físico mecánicas de cinco especies de madera pertenecientes a la amazonia de Pando (Tajibo, Almendrillo amarillo, Almendrillo negro, Itaúba y Marfil) resumiéndose en fichas técnicas de cada especie maderable, constituyéndose este en un gran aporte. Para el desarrollo de los ensayos de laboratorio se siguió el procedimiento de la norma A.S.T.M D-143-2002. (AA.VV, 2013)

Si bien no se tiene más investigaciones de clasificación estructural podemos citar a “Ecología de especies maderables menos conocidas en el departamento de Pando”, el cual es un estudio realizado en los bosques del departamento de Pando por el Proyecto de Manejo Forestal de Pando (PANFOR) y el Centro de Investigación y Preservación de la Amazonia (CIPA) dependiente de la Universidad Amazónica de Pando (UAP). La investigación consiste en la obtención de información sobre el comportamiento e interacciones de cinco especies de madera menos conocidas para la producción maderera y el manejo sostenible de los bosques. (Vaca, D 2002).

## 2.2. Estructura de la madera.

El árbol está compuesto por tronco, copa y raíces. Del tronco se obtiene materia prima para la producción de madera aserrada, perfiles y tableros contrachapados.

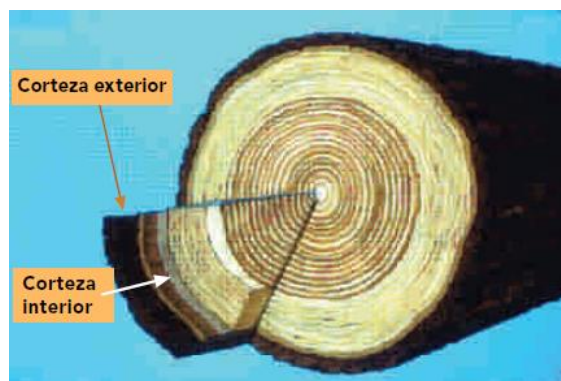


**Figura: 2.1.** Secciones De Un Árbol: Raíces, Tronco Y Copa (CORMA, La construcción de viviendas de madera, S/f)

La sección transversal del troco presenta las siguientes partes:

**Corteza exterior:** cubierta que protege el árbol de los agentes atmosféricos, en especial de la insolación; está formada por un tejido llamado floema que cuando muere forma esta capa. (1984, Manual de diseño para maderas del Grupo Andino)

**Corteza interior:** capa que tiene por finalidad conducir el alimento elaborado en las hojas hacia las ramas, tronco y raíces, está constituido por el tejido floemático vivo, llamado también líber. (1984, Manual de diseño para maderas del Grupo Andino)



**Figura: 2.2** Sección Transversal De Un Tronco. Corteza Exterior E Interior (CORMA, La construcción de viviendas de madera, S/f)

**Cambium:** es el tejido que se encuentra entre la corteza interior y la madera. Las células del cambium tienen la capacidad de dividirse y conservan esa facultad hasta cuando el árbol muere. El cambium forma células de madera hacia el interior y floema o líber hacia el exterior. (1984, Manual de diseño para maderas del Grupo Andino)



**Figura: 2.3.** Sección Transversal De Un Tronco. Cambium. (CORMA, La construcción de viviendas de madera, S/f)

**La madera o xilema:** es la parte maderable o leñosa del tronco, se puede distinguir en ella la albura, el duramen y la médula. (1984, Manual de diseño para maderas del Grupo Andino)

**La albura:** es la parte exterior del xilema cuya función principal es la de conducir el agua y las sales minerales de las raíces a las hojas; es de color claro y de espesor variable según las especies. La albura es la parte activa del xilema. (1984, Manual de diseño para maderas del Grupo Andino)



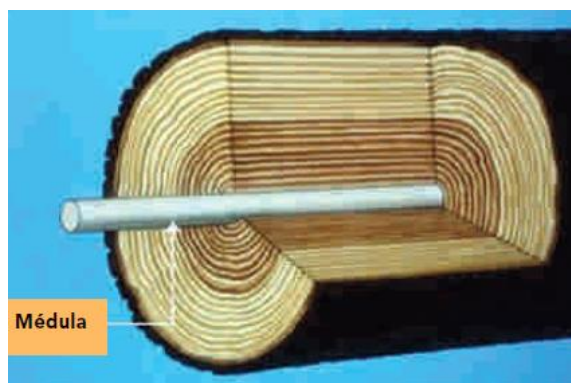
**Figura: 2.4.** Sección Transversal De Un Tronco. Albura. (CORMA, La construcción de viviendas de madera, S/f)

**El duramen:** es la parte inactiva y tiene como función proporcionar resistencia para el soporte del árbol. Se forma como se describe a continuación. Con el tiempo la albura pierde agua y sustancias alimenticias almacenadas y se infiltra de sustancias orgánicas distintas, tales como aceites, resinas, gomas, taninos, sustancias aromáticas y colorantes. La infiltración de estas sustancias modifica la consistencia de la madera que toma un color más oscuro y adquiere un mejor comportamiento frente al ataque de hongos e insectos, esto último distingue particularmente el duramen de la albura.



**Figura: 2.5.** Sección Transversal De Un Tronco. Duramen. (CORMA, La construcción de viviendas de madera, S/f)

**Medula:** es la parte central de la sección del tronco y está constituida por tejido parenquimático.



**Figura: 2.6.** Sección transversal de un tronco. Médula. (CORMA, La construcción de viviendas de madera, S/f)

### 2.2.1. Estructura anatómica de la madera.

La parte maderable del árbol tiene tres funciones básicas: conducción de agua, almacenamiento de sustancias de reserva y resistencia mecánica. Para cumplir con estas funciones en la madera se distinguen tres tipos de tejidos: Tejido vascular (de conducción), tejido parenquimático (de almacenamiento) y tejido fibroso (de resistencia). Se llaman elementos prosenquimáticos todas aquellas células alargadas y de paredes engrosadas, principalmente relacionadas con la conducción y la resistencia mecánica; en cambio, se llaman elementos parenquimáticos a aquellas células cortas y de paredes relativamente delgadas que tienen la función de almacenamiento y distribución de las sustancias de reserva.

En el tronco existen dos grandes sistemas de elementos xilemáticos. El sistema longitudinal, formado por elementos prosenquimáticos (elementos vasculares, fibras, o traqueidas) y elementos parenquimáticos; y el sistema transversal, constituido principalmente por elementos parenquimáticos. (1984, Manual de diseño para maderas del Grupo Andino)

### 2.2.2. Estructura macroscópica de la madera.

Puede ser observada a simple vista o con la ayuda de una lupa de 10 aumentos; se mencionan las siguientes características:

**Anillos de crecimiento:** son capas de crecimiento que tienen forma de una circunferencia, el último anillo siempre se extiende desde el extremo inferior del árbol hasta la copa. En las zonas templadas, en las cuales las estaciones son bien marcadas, todos los árboles tienen anillos bien definidos. En las zonas tropicales, donde las estaciones no son muy marcadas, los anillos de crecimiento no siempre se distinguen claramente debido al crecimiento casi continuo del árbol.

**Radios medulares:** son líneas que van desde el interior hacia el exterior del árbol, siguiendo la dirección de los radios del círculo definido por el troco, formando el sistema transversal del tronco.

**Parénquima longitudinal:** formado por tejido parenquimático constituye parte del sistema longitudinal del tronco, su disposición tiene importancia en la identificación de la especie. Las maderas con mayor porcentaje de tejido parenquimático son maderas de baja resistencia mecánica y más susceptibles al ataque de hongos e insectos.

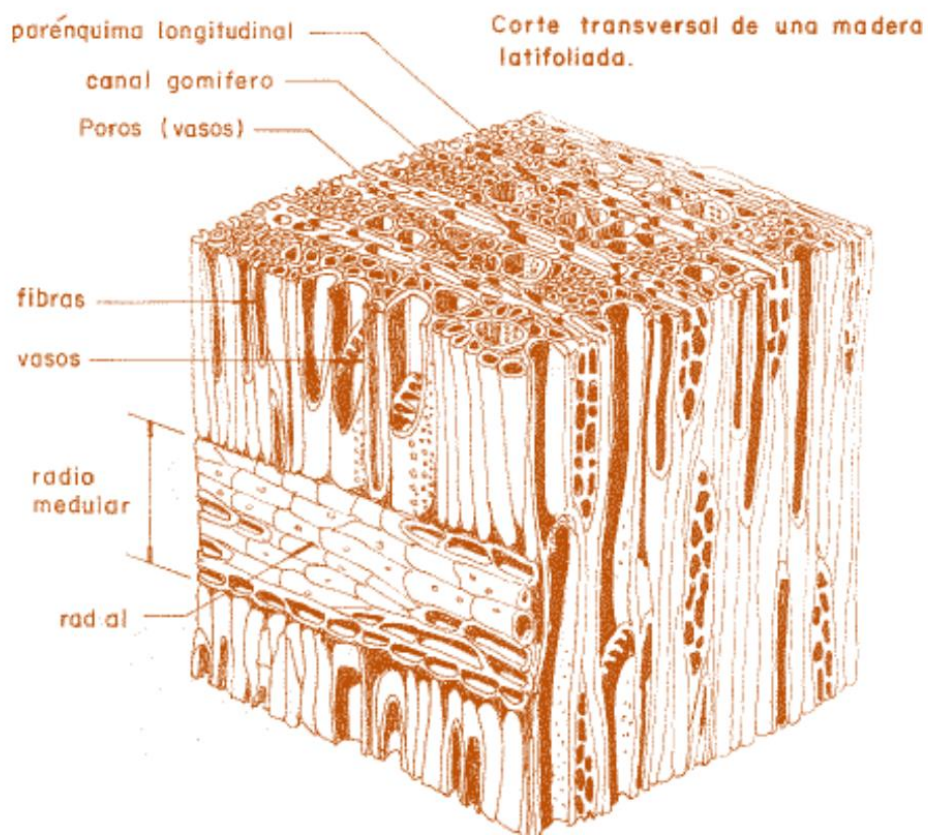
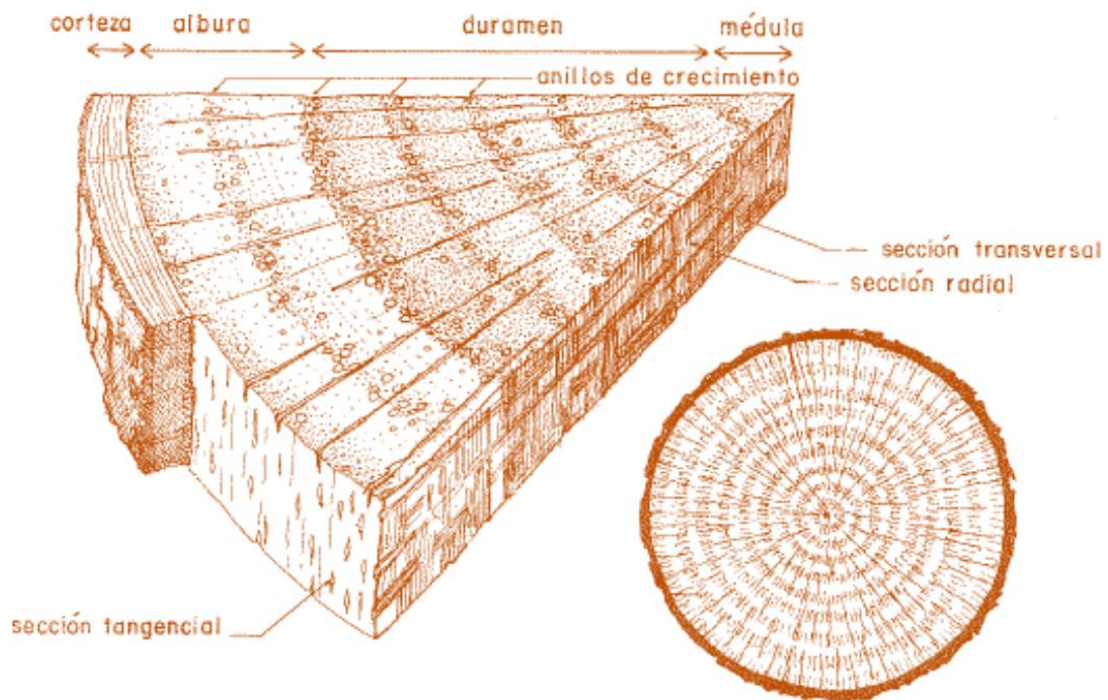
### **2.2.3. Estructura microscópica de la madera.**

A diferencia de la estructura macroscópica, la estructura microscópica considera los diferentes tipos y características de las células que forman estos tejidos.

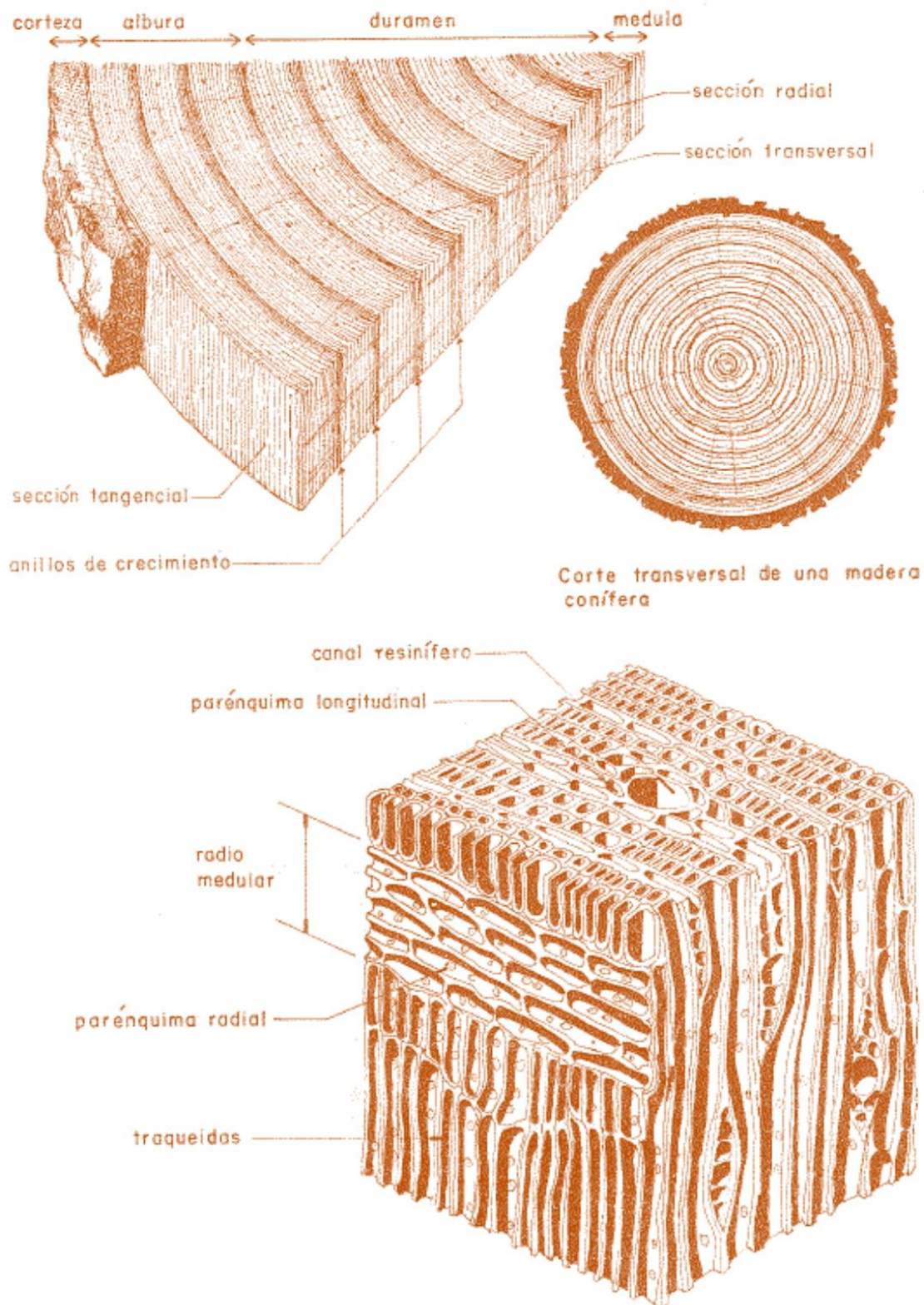
De acuerdo a la estructura celular, las especies maderables se dividen en dos grupos:

**Maderas latifoliadas:** (figura 1.7) son maderas que tienen su estructura anatómica heterogénea, que están constituidas por células leñosas que tienen la función de conducción del agua y sales minerales.

**Maderas coníferas:** (figura 1.8) maderas que tienen su estructura anatómica homogénea, constituida por elementos leñosos llamados traqueidas; estas forman del 80 al 90 por ciento del volumen total de la madera que tienen la función de resistencia y conducción.



**Figura: 2.7** Estructura De Maderas Latifoliadas. (CORMA, La construcción de viviendas de madera, S/f)



**Figura: 2.8** Estructura de maderas coníferas. (CORMA, La construcción de viviendas de madera, S/f)

#### 2.2.4. Propiedades básicas de la madera.

De acuerdo a las características descritas, la madera puede ser considerada como material biológico, anisotrópico e higroscópico.

La madera está compuesta generalmente por moléculas de celulosa y lignina, lo que la hace un material biológico.

Es material anisotrópico debido a que el comportamiento ya sea físico o mecánico, tiene resultados diferentes para cada eje en función de la dirección de las fibras y anillos de crecimiento. Debido a este comportamiento tan desigual, se ha hecho necesario establecer tres ejes (Figura 1.9) sobre la madera; eje transversal, T (corte realizado perpendicular al eje del tronco), eje longitudinal, L (corte realizado paralelo al eje del tronco y paralelo a los anillos de crecimiento), y eje radial, R (corte realizado paralelo al eje del tronco y perpendicular a los anillos de crecimiento).

Es material higroscópico debido a la capacidad de cambios de humedad, de acuerdo a la temperatura y humedad relativa del ambiente.

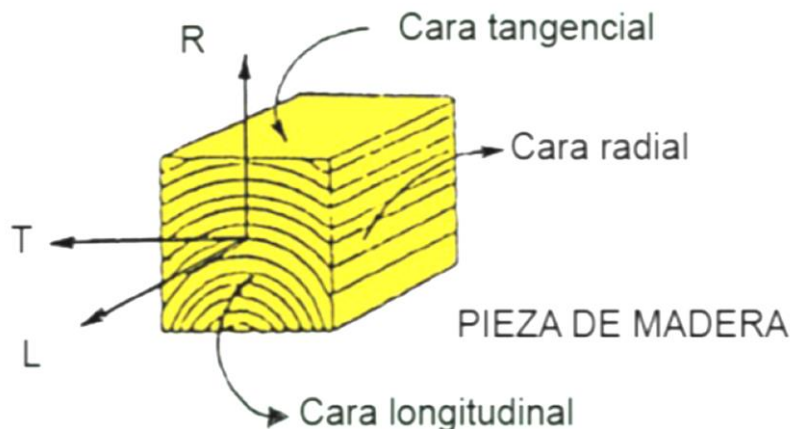


Figura: 2.9. Ejes De La Madera

### **2.3.Descripción de la especie en estudio.**

La descripción detallada a continuación, fue extraída del libro “Ecología de especies maderables menos conocidas en el departamento de Pando” (Vaca, Torrico, & Peralta, 2002), pues se considera que la información del libro mencionado, es la más completa y adecuada según el análisis bibliográfico realizado.

#### **2.3.1. Couratari macrosperma A. C. Smith Lecythidaceae.**

##### **Clasificación**

El género *Couratari* fue descrito por Aublet en 1775 con su descripción de la especie *Couratari guianensis* Aublet, que fue descrita en base a hojas de *Lecythis* y los frutos de *C. guianensis*, sin embargo, permaneció como un género válido hasta la actualidad. El género cuenta con 19 especies, de las cuales solamente dos especies han sido reportadas para la Amazonía boliviana: *C. Guianensis* y *C. macrosperma*.

*Couratari macrosperma* pertenece a la familia *Lecythidaceae*, del orden *Lecythidales*, subclase *Dillenidae* y clase *Magnoliopsidae* (dicotiledóneas) (Cronquist, 1981).

##### **Sinonimia y nombres comunes.**

Sinónimos: *Couratari krukovii* A. C. Smith, *C. mamorensis* Knuth, *C. impressa* Knuth, *C. estellulata* Rizzini

Nombres comunes: miso colorado, pancho, bitumbo (Pando, Bolivia); tauri (Brasil), cachimbo, machimango colorado (Perú)

##### **Forma del tronco y la copa.**

Son arboles muy altos, emergentes, llegando a alcanzar 50m de altura; con el fuste recto y cilíndrico, de hasta 1,5 m de diámetro. La base presenta aletones no muy desarrollados, lo que la diferencia de *C. guianensis*. La copa tiene forma aparasolada, con ramas ascendentes,

es amplia y extendida en arboles emergentes. La media de la superficie de la copa en los arboles observados fue de 432 m<sup>2</sup>, con una mínima de 71 m<sup>2</sup> y una máxima de 854 m<sup>2</sup>. Las áreas de copa mayores no siempre coincidieron con los arboles de mayor diámetro, ya que además influye el estado de salud del individuo y su posición de copa en el dosel del bosque.

La posición de copa de los arboles estudiados fue la siguiente: el 33% emergente, 44% dominante, 18% codominante y 3% subdominante. (Vaca, D 2002).

### **Corteza y Madera.**

La corteza es color pardo oscuro, con fisuras longitudinales poco profundas. La corteza interna es muy fibrosa. La albura difícilmente se diferencia del duramen, la madera es de color pardo crema con vetas un poco más oscuras. Es madera semi-pesada, de mediana densidad (620 kg/m<sup>3</sup>, al 12% de humedad), la fibra es recta. Es poco resistente a los hongos y al ataque de insectos. (Vaca, D 2002).

### **Distribución.**

*Couratari macrosperma* es una especie que se encuentra solamente en la Amazonia occidental. En Bolivia, su distribución se restringe a la región norte, en los departamentos de Pando, parte de La Paz (provincia Iturralde) y norte del Beni (provincia Vaca Diez).

### **Plagas y Patógenos.**

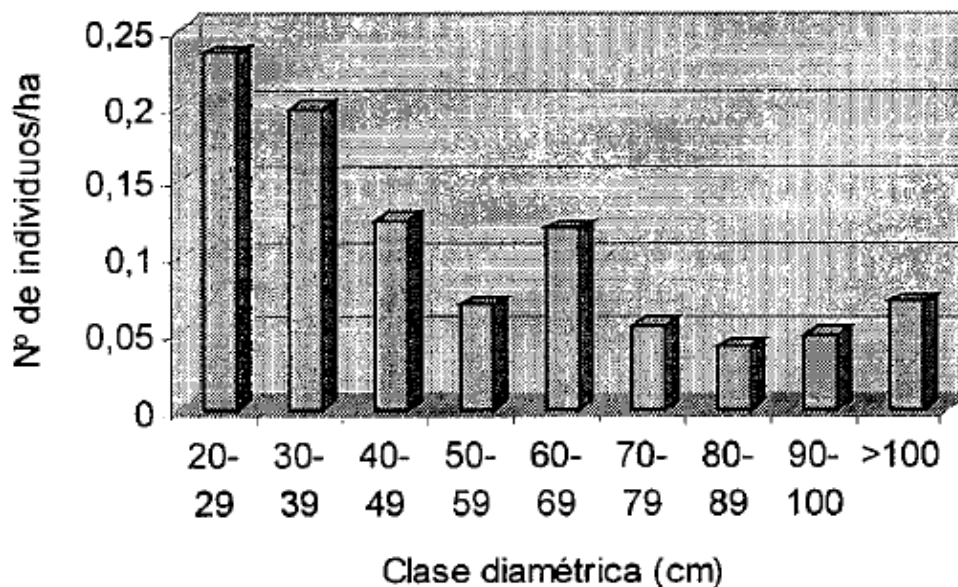
No se conocen plagas y patógenos importantes. En arboles grandes se observa con frecuencia pudriciones en el tronco, sobre todo cuando han sufrido daños o quebraduras de ramas. También, se han observado algunos casos de formación de agallas en la base del tronco por ataque de insectos chupadores.

Ocasionalmente las hojas presentan ataque de insectos herbívoros, y una proporción de las semillas llegan a ser dañadas por larvas de insectos, ya sea el piso del bosque o en los frutos en la copa.

### Densidad y Estructura de Población.

La densidad de Couratari en los bosques de Pando es alta, alcanzando 0,96 individuos por hectárea, con diámetro mayor o igual a 20 cm.

Según se observa en la figura 4, generada con datos de inventarios forestales en la región (Superintendencia Forestal, 1999), la población de Couratari sigue un patrón de J invertida, con una mayor proporción de individuos jóvenes, lo cual quiere decir que la población se reproduce y mantiene con facilidad. Esto indica que la regeneración de la especie es capaz de prosperar en el interior del bosque, probablemente asociada a los claros naturales.



**Figura: 2.10** Estructura De La Población De Miso, Según Inventarios Forestales En Pando. (Vaca, Torrico, & Peralta Rodolfo, 2002)

## **2.4. Propiedades resistentes de la madera.**

Para efectos de diseño, la madera se considera como un material homogéneo y ortotrópico. Por consiguiente, las propiedades resistentes se especifican para la dirección transversal o perpendicular a la fibra o grano.

De acuerdo a (JUNAC, 1984), las principales propiedades resistentes de la madera son: resistencia a la compresión paralela a las fibras, la compresión perpendicular a las fibras, la flexión, tracción y corte paralelo a las fibras.

Además de los ensayos considerados por la junta de Cartagena, en este trabajo de investigación científica se incluye, tracción perpendicular a las fibras, la dureza, y clivaje.

### **2.4.1. Flexión Estática.**

Flexibilidad es la propiedad que tienen algunas maderas de poder ser dobladas o ser curvadas en su sentido longitudinal, sin romperse. Si son elásticas recuperan su forma primitiva cuando cesa la fuerza que las ha deformado.

De acuerdo a la definición de Vargas, 1987; flexión estática es la resistencia que ofrecen las maderas a romperse, cuando son sometidas a cargas que actúan perpendicularmente a su eje de apoyo.

En ensayos de probetas sometidas al esfuerzo de flexión, los valores varían entre 200 y 1700 kg/cm<sup>2</sup> en promedio, la variación depende de la densidad de la especie y del contenido de humedad (JUNAC, 1984).

La propiedad de resistencia a la flexión, es una de las más importantes en la utilización de la madera como material de construcción, siendo el factor principal en la construcción de casas, puertas, tejados, paredes de madera, etc.

Los defectos tienen mucha importancia en la resistencia; nudos, fibras reviradas, rajaduras y otros, reducen la flexión; y si se encuentran en el lado convexo, reducen mucho más la resistencia de la madera.

La madera presenta especial aptitud para sobrepasar su límite de elasticidad por flexión sin que se produzca rotura inmediata, siendo esta una propiedad que la hace útil para la curvatura. La madera verde, joven, húmeda, es más flexible que la seca o vieja y tiene mayor límite de deformación.

Este ensayo proporciona dos resultados, los cuales son: el módulo de ruptura (MOR), el módulo de elasticidad (MOE) y el esfuerzo en el límite proporcional (ELP).

#### **2.4.1.1. Módulo de rotura (MOR)**

Es el mayor esfuerzo aplicado a las fibras externas de la madera cuando la probeta de ensayo se rompe bajo la influencia de una carga. Este criterio sirve para clasificar la madera según su resistencia a esfuerzos de ruptura. Los datos que se presentan en la Tabla 2.1 corresponden al 12% de contenido de humedad. La fuerza es aplicada en el centro de las probetas (Arroyo, 1983 en Rivero, 2004).

**Tabla 2.1**  
**Clasificación del MOR según resistencia a flexión estática**

<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Menor de 500</b>	Muy bajo
<b>500 a 950</b>	Bajo
<b>951 a 1220</b>	Medio
<b>1221 a 1750</b>	Alto
<b>Mayor a 1750</b>	Muy alto

Fuente: Gutiérrez y Silva, 1999

#### **2.4.1.2. Módulo de elasticidad**

Es la relación lineal entre un esfuerzo y la tensión producidos en el rango de elasticidad de un material (esfuerzos sin producir deformación), como indicador de su rigidez. Este

criterio permite clasificar a la madera por su resistencia a la aplicación de esfuerzos sin causar deformaciones. Al igual que en el caso anterior, los siguientes valores corresponden a pruebas al 12% de contenido de humedad (Arroyo, 1983 en Rivero, 2004).

**Tabla 2.2**  
**Clasificación del MOE según resistencia a flexión estática**

MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	Clasificación
Menor de 100000	Muy bajo
101000 a 120000	Bajo
121000 a 150000	Medio
151000 a 200000	Alto
Mayor a 200000	Muy alto

Fuente: Gutiérrez y Silva, 1999

#### **2.4.2. Compresión paralela a las fibras.**

Es la capacidad de sustentar las fuerzas que tienden a acortar un cuerpo, y está determinada por la carga máxima en el momento de la ruptura, y en el área donde actúa la fuerza (Vargas, 1987).

La resistencia a la compresión paralela a las fibras, es aproximadamente la mitad que su resistencia a la tracción (JUNAC, 1984).

Según (JUNAC, 1984), los valores para ensayos de laboratorio varían entre 100 y 900 kg/cm<sup>2</sup> para maderas tropicales, la variación está en función de la densidad básica (0,2 y 0,8). El esfuerzo en el límite proporcional es el 75% del esfuerzo máximo aproximadamente, y la deformación es del orden del 60% de la máxima.

La importancia del conocimiento de esta resistencia se refleja en el comportamiento de la madera cuando actúa como poste, columnas, pilotes, etc.

El presente ensayo permite calcular el esfuerzo en el límite de proporcionalidad (ELP), el módulo de ruptura (MOR), el módulo de elasticidad (MOE) y el esfuerzo máximo en

compresión (EMC), que es la resistencia que ofrece la madera a una acción que actúa en la dirección paralela a las fibras (Torrelli, 1982).

Se pueden clasificar las maderas según su resistencia a la compresión paralela al grano de la siguiente manera:

**Tabla 2.3**

**Clasificación del MOR según la compresión paralela a las fibras.**

<b>MOR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Menor de 200</b>	Muy bajo
<b>201 a 300</b>	Bajo
<b>301 a 400</b>	Medio
<b>401 a 500</b>	Alto
<b>Mayor a 500</b>	Muy alto

Fuente: Vargas, 1987

#### **2.4.3. Compresión perpendicular a las fibras.**

Consiste en determinar la capacidad de sustentar las fuerzas que tienden a aplastar las fibras, unas contra otras; es un ensayo que no presenta carga máxima y es realizado principalmente en la cara tangencial (Vargas, 1987).

Este ensayo es importante porque nos proporciona los valores que determina la aplicación de la madera en durmientes y tijerales de construcción.

El presente ensayo permite calcular el esfuerzo en el límite de proporcionalidad (ELP).

Se pueden clasificar las maderas según su resistencia a la compresión perpendicular al grano de la siguiente manera:

**Tabla 2.4**

**Clasificación del ELP según la compresión perpendicular la a las fibras**

<b>ELP (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Menor de 25</b>	Muy bajo
<b>26 a 50</b>	Bajo
<b>51 a 75</b>	Medio
<b>76 a 100</b>	Alto
<b>Mayor a 100</b>	Muy alto

Fuente: Vargas, 1987

#### 2.4.4. Dureza.

Es la resistencia que opone la madera a la abrasión, desgaste, penetración y la compresión que en ella se ejerce (Vargas, 1987).

Es una característica que depende de la cohesión de las fibras y de su estructura. Se manifiesta en la dificultad que pone la madera de ser penetrada por otros cuerpos (clavos, tornillos, etc.) o a ser trabajada (cepillo, sierra, formón).

Los resultados obtenidos son muy utilizados para la industria del parquet, machimbre, etc.

Cabe resaltar que la lectura obtenida de la resistencia es única, sin necesidad de cálculos.

Se pueden clasificar las maderas según su dureza de la siguiente manera:

**Tabla 2.5**

**Clasificación según dureza**

<b>Dureza (kg)</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Menor de 350</b>	Muy baja o muy blanda
<b>350 a 500</b>	Baja o blanda
<b>501 a 650</b>	Media o moderadamente dura
<b>651 a 1000</b>	Alta o dura
<b>Mayor a 1000</b>	Muy alta o muy dura

Fuente: Kollmann y Côté, 1968 en Rivero, 2004

#### 2.4.5. Corte paralelo a las fibras.

Este ensayo consiste en medir la capacidad que tiene la madera para resistir fuerzas que tienden a producir deslizamiento de un plano interno de la madera, sobre su adyacente (Vargas, 1987).

Los esfuerzos de rotura en probetas sometidas a corte paralelo varían entre 25 y 200 kg/cm<sup>2</sup> en promedio (JUNAC, 1984).

Los esfuerzos de corte tienen lugar en la mayoría de los usos de la madera y se clasifican de acuerdo a la dirección en que la fuerza actúa con respecto a los planos estructurales.

Los resultados de este ensayo pueden ser utilizados en uniones de vigas de soporte, travesaños, tijerales, etc.

El presente ensayo permite calcular el esfuerzo máximo de corte (EMC) que mide la capacidad que tiene la madera para resistir acciones que tienden a producir deslizamiento de un plano interno de la madera sobre su adyacente (Vargas, 1987 en Rivero, 2004).

La clasificación según el corte paralelo a las fibras, se da de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 2.6**  
**Clasificación del EMC según el corte paralelo a las fibras**

<b>EMC (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Menor de 40</b>	Muy bajo
<b>40 a 85</b>	Bajo
<b>86 a 120</b>	Medio
<b>121 a 175</b>	Alto
<b>Mayor a 175</b>	Muy alto

Fuente: Vargas, 1987

#### **2.4.6. Clivaje (Hendimiento).**

Es la resistencia ofrecida frente a la acción de una fuerza que tiende a desgajar o cortar la madera en dos partes cuando la dirección de los esfuerzos es paralela a la dirección de las fibras.

La madera tiene cierta facilidad para hendirse o separarse en el sentido de las fibras. Una cuña, penetra fácilmente en la madera, al vencer por presión la fuerza de cohesión de las fibras (no las corta). Es fácil observar esta propiedad al cortar madera para hacer leña, en la dirección de las fibras se separa en dos fácilmente. La madera verde es más hendible que la seca.

Cuando se van a realizar uniones de piezas de madera por medio de tornillos o clavos nos interesa que la madera que vamos a usar tenga una gran resistencia a la hienda.

El presente ensayo permite calcular la resistencia unitaria al clivaje, que mide el esfuerzo necesario para hendir la madera a lo largo de la fibra, ya sea en sentido radial o tangencial.

#### **2.4.7. Tracción paralela a las fibras.**

La madera es un material muy indicado para trabajar a tensión (en la dirección de las fibras), viéndose limitado su uso únicamente por la dificultad de transmitir estos esfuerzos a las piezas. Esto significa que en las piezas sometidas a tensión los problemas aparecerán en las uniones.

Por otra parte, los defectos de la madera, tales como nudos, inclinación de fibras, etc., afectan mucho a este tipo de esfuerzo, disminuyendo su resistencia en una proporción mucho mayor que en los esfuerzos de compresión. Los factores que afectan a la resistencia a la tracción son:

**Humedad:** la resistencia a la tracción paralela a la fibra aumenta de forma más o menos lineal desde el punto de saturación de las fibras hasta el 10 por ciento, con un aumento del 3 por ciento por cada disminución de humedad del 1 por ciento. Entre el 8 y el 10 por ciento de humedad existe un máximo, a partir del cual disminuye ligeramente.

**Temperatura:** el efecto de la temperatura es menor en la tensión paralela, que en otros tipos de esfuerzos.

**Nudos:** los nudos afectan enormemente a este esfuerzo, ya que la desviación de fibras alrededor del nudo tiene gran influencia en la resistencia. Así, pequeños nudos, que reducirían la resistencia a compresión en un 10 por ciento, lo haría en el 50 por ciento en el caso de tensión. Los nudos dan lugar, también, a una distribución irregular de las tensiones.

**Inclinación de la fibra:** se puede decir que la resistencia a tensión se ve mucho más afectada que la resistencia a la compresión con igual inclinación de las fibras. Un ángulo de

15 grados reduce la resistencia a la tensión a la mitad y si el ángulo es de 30 grados la resistencia es 1/5 de la que tendría si la dirección del esfuerzo fuese paralela a la fibra.

Este ensayo proporciona dos resultados, los cuales son: esfuerzo ultimo de tracción (EUT).

#### **2.4.8. Tracción perpendicular a las fibras.**

En este ensayo de tracción perpendicular a las fibras, ocurre todo lo contrario de la tracción paralela a las fibras, ya que aquí se produce una separación de las fibras, mientras que en la tensión paralela se requiere el rompimiento de ellas, a este esfuerzo la madera presenta su menor resistencia.

Este ensayo proporciona los de esfuerzo máximo de tracción perpendicular (EM).

### **2.5. Propiedades físicas de la madera.**

#### **2.5.1. Contenido de humedad.**

La cantidad de agua presente en una pieza de madera se conoce con el nombre de contenido de humedad (C.H.). El contenido de humedad se expresa como porcentaje del peso seco al horno de la madera. Se toma como base el peso seco al horno porque el mismo es un índice de la cantidad de sustancia sólida presente.

Según Vargas, 1987; la madera de árboles vivos posee como proporción de humedad, en relación a su peso total, valores que varían entre 30 y 300%, determinados en base al peso seco de la madera.

El Contenido de Humedad (C.H.) es la relación entre el peso del agua contenida en su interior y su peso en estado completamente seco (anhidro), expresado en porcentaje.

El agua de la madera puede ser encontrada en tres formas:

a. Llenando las cavidades y los espacios intercelulares; llamada "agua libre".

b. Impregnando la pared de las células; llamada de "impregnación", o imbibición higroscópica, o de saturación de la pared celular.

c. El agua que forma parte de la pared celular; llamada agua de constitución.

Cuando se elimina toda el agua libre dejando únicamente el agua de impregnación, se llega al punto conocido con el nombre de "punto de saturación de las fibras" (P.S.F.) que tiene valores variables entre 22 y 35%; en la práctica se adopta un valor de 30%. (Arroyo, 1983).

Hay que tomar en cuenta que el decremento de la humedad, le da a la madera un incremento en su resistencia, así como el efecto de la humedad no es igual para todas las propiedades.

### **2.5.2. Densidad.**

La densidad, es el peso de cualquier volumen dado de una sustancia dividido por el peso de un volumen igual de agua. Como el peso y el volumen de la madera varían con la cantidad de humedad contenida en esta, la densidad es aplicada a la madera como una cantidad indefinida a menos que se especifiquen claramente las condiciones bajo las que es determinada (ASTM D 2395 - 93).

La densidad de la madera es generalmente basada en el peso seco al horno, pero el volumen puede ser seco al horno, parcialmente seco, o la condición verde. La cantidad de humedad retenida en cualquier condición de equilibrio es proporcional al peso seco del espécimen, y por esta razón el contenido de humedad es normalmente expresado como el porcentaje del peso de la madera secada al horno (ASTM D 2395 - 93).

Según Aróstegui, 1975, (en Rivero, 2004), la madera puede ser categorizada de acuerdo a su densidad seca al aire y densidad anhidra. De acuerdo a las tablas Tabla 2.7 y Tabla 2.8

**Tabla 2.7**  
**Categorización según densidad seca al aire, al 12% C.H.**

Densidad seca al aire (g/cm <sup>3</sup> )	Categoría
Menor de 0,35	Muy baja
0,36 a 0,50	Baja
0,51 a 0,75	Mediana
0,76 a 1,00	Alta
Mayor a 1,00	Muy alta

Fuente: (Aróstegui, 1975)

**Tabla 2.8**  
**Categorización según densidad anhidra**

Densidad anhidra (g/cm <sup>3</sup> )	Categoría
Menor de 0,30	Muy liviana
0,31 a 0,45	Liviana
0,46 a 0,70	Mediana
0,71 a 0,86	Pesada
Mayor a 0,86	Muy pesada

Fuente: (Aróstegui, 1975)

### 2.5.3. Peso específico.

El peso específico de la madera basado en el peso del volumen verde se conoce con el nombre de peso específico básico y es uno de los valores más útiles y más comúnmente utilizados para la comparación de propiedades de las maderas de diferentes especies. El término básico se aplica a este peso específico por el hecho de que, tanto el volumen verde, como el peso seco al horno son aproximadamente constantes y fácilmente reproducibles en la madera (Arroyo, 1983).

Según IAWA Comité, 1989 (en Rivero, 2004); se establece tres categorías de acuerdo al peso específico. Ver Tabla 2.9

**Tabla 2.9**  
**Categorización según peso específico**

Peso específico	Categoría
Menor de 0,40	Liviana
0,41 a 0,75	Moderadamente pesada
Mayor a 0,75	Pesada

Fuente: IAWA Comité, 1989

#### 2.5.4. Contracción volumétrica.

La contracción volumétrica consiste en que la madera absorba o pierda agua, excepto en el PSF (punto de saturación de la fibra), ya que en este punto y arriba de este la madera no sufre contracciones.

Antes de establecer las dimensiones reales de escuadría de los diferentes elementos de madera aplicados a la construcción, es importante tener en cuenta los cambios de dimensión de la madera, a partir de las dimensiones nominales o comerciales.

Según la norma NTC 2500 (ICONTEC, 1997), se puede clasificar la contracción volumétrica de la madera, de acuerdo al coeficiente de contracción de acuerdo a la tabla Tabla 2.10.

**Tabla 2.10**  
***Las maderas según su coeficiente de contracción volumétrica***

<b>Coeficiente de contracción volumétrica%</b>	<b>Tipo de madera</b>
<b>Menor de 0,35</b>	Contracción baja
<b>0,36 a 0,55</b>	Contracción moderada
<b>0,56 a 0,75</b>	Contracción alta
<b>0,76 a 1,00</b>	Contracción muy alta

Fuente: NTC 2500

#### 2.6. Madera de construcción estructural.

Se denomina madera de construcción estructural, a aquella que constituye el armazón estructural de una edificación. Es decir, forma la parte resistente de componentes tales como: muros o paredes, pisos, techos, pies derechos, columnas, vigas, cerchas, etc. La característica común de todos estos elementos es su función básicamente resistente (JUNAC, 1984).

Según (JUNAC, 1984) considera que la madera es estructural, si se encuentra dentro de los Grupos A, B o C.

Para efectos de agrupar la madera de uso estructural en los grupos mencionados, se utiliza la densidad básica como indicador de sus propiedades mecánicas, de la siguiente manera:

**Grupo A** (Maderas de mayor resistencia): maderas con densidad básica en el rango de 0,71 y 0,90 gr/cm<sup>3</sup>

**Grupo B** (Maderas de resistencia media): maderas con densidad básica entre 0,56 y 0,70 gr/cm<sup>3</sup>

**Grupo C** (Maderas de menor resistencia): maderas con densidad básica entre 0,40 y 0,55 gr/cm<sup>3</sup>

### **3. SELECCIÓN Y RECOLECCIÓN DE ESPECIES**

#### **3.1. Descripción geográfica del lugar de extracción**

Las condiciones geográficas descritas a continuación corresponden al área de la Comunidad Campesina (CC) Puerto Sucre, lugar de donde se obtuvo las muestras de madera de la especie en estudio del presente trabajo, se menciona ampliamente al complejo industrial “SIBACSA”, lugar donde se realiza el corte y procesado de las troncas de árboles extraídos de los bosques.

##### **3.1.1. Características físicas y climáticas.**

El clima del área de extracción es de tropical húmedo cálido, con una estación relativamente seca de mayo a septiembre. La temperatura media varía entre 26,6° a 28° en condiciones normales. Los vientos predominantes son alisios que soplan de noroeste a sudeste, variando la precipitación pluvial anual entre 1774 y 1834 mm

La temporada de lluvia se extiende desde mediados de noviembre a marzo, las más intensas ocurren en diciembre, enero y febrero. La precipitación media anual sobrepasa la evapotranspiración. (Zonisig, 1993).

##### **3.1.2. Elevación.**

La elevación mínima que se presenta en la Unidad de Manejo alcanza los 275 m, la cual abarca una pequeña área ubicada en la parte Este. De igual manera se presenta una altitud máxima de 316 m en la parte noroeste. En cuanto al área total se observó que la altitud promedio se mantienen entre los 279 a 308 m, ocupando un 80 % del total, aproximadamente (Imágenes satelitales. Google Earth Pro 2017).

### **3.1.3. Geología.**

El lugar de extracción se encuentra en la parte noroeste del departamento, donde mayormente existen, extensas formaciones lateríticas de edad terciaria, en areniscas limolíticas y arcillitas, directamente sobre el Escudo Precámbrico (Zonisig, 1993).

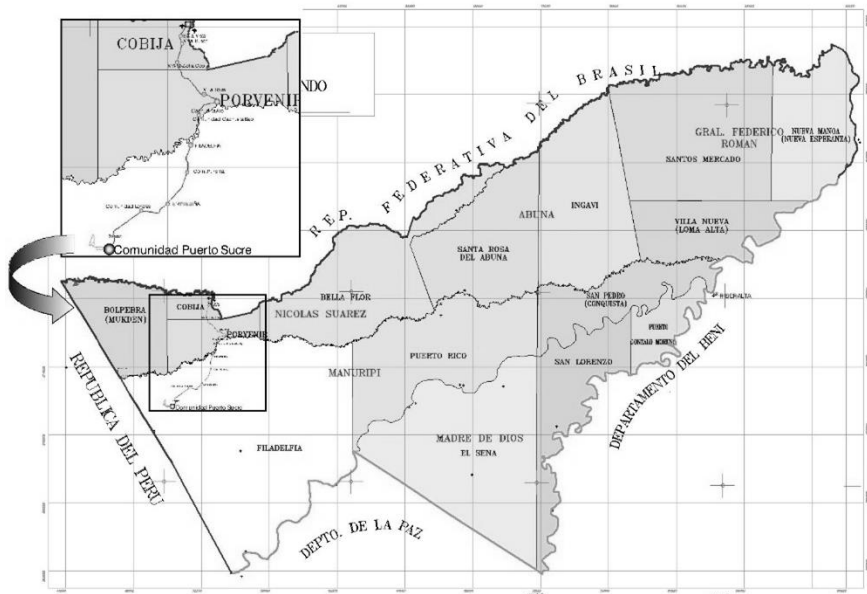
### **3.1.4. Suelos.**

Los suelos dominantes en 15% de las unidades de terreno son los Acrisoles. Estos suelos presentan acumulación de arcilla en el subsuelo y son susceptibles a la erosión. Son pobres en nutrientes y poseen elevada saturación de aluminio. Se caracterizan por su drenaje pobre a imperfecto y por la presencia de agua estancada en las partes bajas en gran parte del año (Zonisig, 1993).

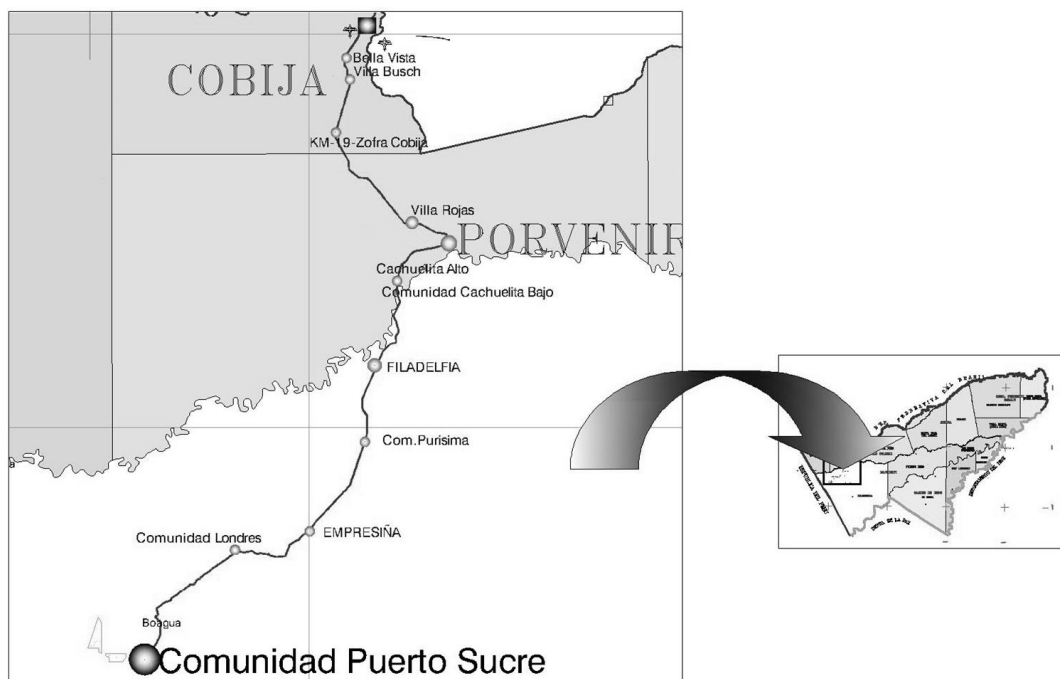
## **3.2. Ubicación geográfica.**

La comunidad campesina Puerto Sucre se encuentra localizada a 95 kilómetros de la ciudad de Cobija en el municipio de Filadelfia, de la Provincia Manuripi, departamento de Pando.

Se encuentra en las coordenadas: latitud 11°36'47.70" S, longitud 68°58'22.98" O, y está a una altura de 251 m sobre el nivel del mar.



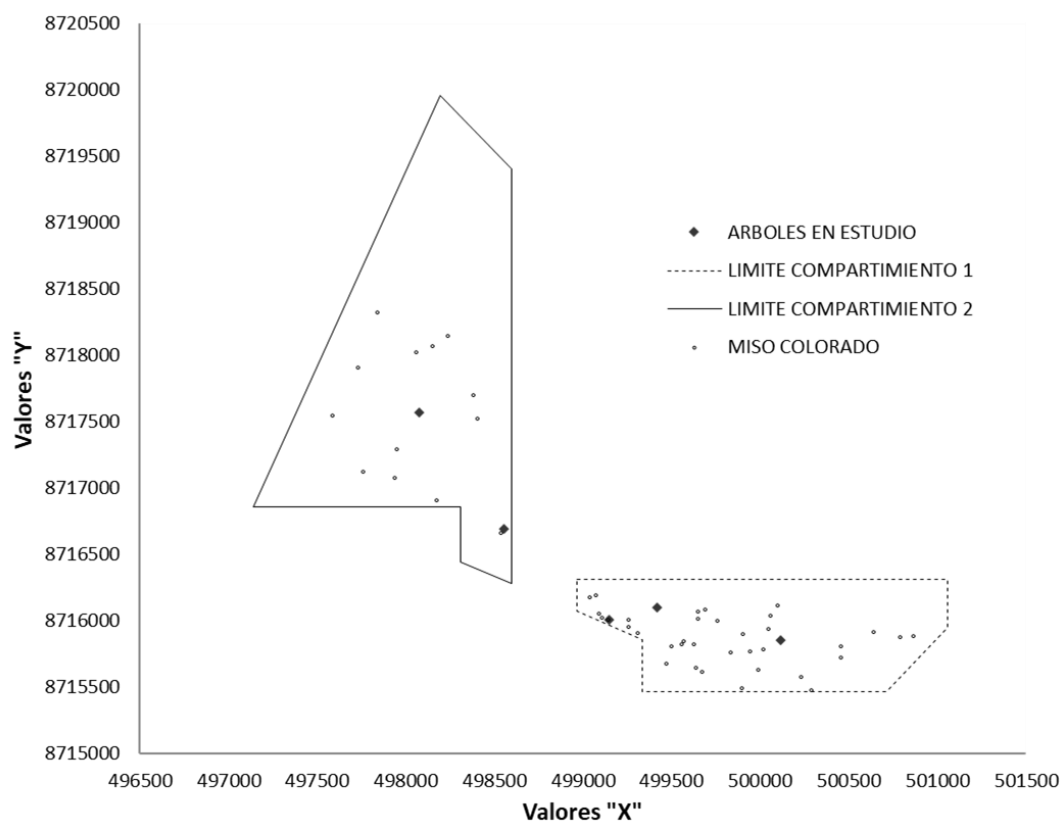
**Figura: 3.1.** Ubicación De La Comunidad Campesina Puerto Sucre En El Departamento De Pando. Elaboración propia con software AutoCAD



**Figura: 3.2.** Localización De La Comunidad Campesina Puerto Sucre Desde la Ciudad de Cobija. Elaboración propia con software AutoCAD

### 3.3. Mapas de ubicación de extracción de la comunidad campesina Puerto Sucre.

Estos mapas representan el área destinada a corte del año 2014, en el cual fueron localizadas los árboles que serían utilizadas en este trabajo. La CC Puerto Sucre realiza el censo anualmente de las áreas destinadas a corte, no solo para tener un buen control sino para facilitar su búsqueda en el tiempo destinado a la tala.



**Figura: 3.3.** Mapas De Ubicación De Extracción De Los Árboles De Miso Colorado Dentro La CC Puerto Sucre (Coordenadas UTM). Elaboración propia con datos proporcionados por SIBACSA

### 3.4. Selección e identificación de trozas.

En este apartado se describe el procedimiento de los procesos de selección e identificación de trozas y el de selección de probetas, como la determinación de la cantidad de las mismas, su identificación, corte, transporte y almacenaje. Los procedimientos descritos son realizados

en base a las normas ASTM D-5536 (Standard Practice for Sampling Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties) y ASTM D-143 (Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber), “*Práctica Normalizada Para el Muestreo de Árboles Forestales para la Determinación de Propiedades de Madera Libre de Defectos*” y “*Métodos de ensayos normalizados para pequeñas muestras de madera libre de defectos*”, traducidas al español respectivamente.

#### **3.4.1. Muestreo.**

De acuerdo con la Norma ASTM D 5536, se deben considerar determinados aspectos para la toma de muestras.

Debido a que la madera es un material biológico, sus propiedades mecánicas están sujetas a variaciones naturales considerables. Así, los resultados de los ensayos para evaluar las propiedades mecánicas de una especie dependen en gran medida, de cómo se toman muestras del material de prueba en los árboles del bosque. De manera ideal, si los resultados de la evaluación de las propiedades mecánicas son representativos del muestreo en el bosque, debe ser utilizado el muestreo probabilístico. Sin embargo, el muestreo de probabilidad real de los árboles del bosque para la determinación de propiedades mecánicas, puede ser muy complejo y caro debido a la amplia gama de condiciones geográficas y topográficas en las que una especie de árbol crece. En algunos casos, el muestreo probabilístico directo puede ser poco práctico, lo que exige procedimientos alternos de muestreo. La Norma ASTM D 5536 ofrece dos procedimientos alternos de toma de muestras: cruciforme y el muestreo aleatorio. La elección de uno de los dos procedimientos dependerá del uso futuro de los resultados de los ensayos, los recursos disponibles para el muestreo y los ensayos, y la disponibilidad de los datos existentes sobre las propiedades mecánicas y la gravedad específica de las especies de

interés. Existe un tercer procedimiento, el muestreo doble, que se incluye principalmente por referencia. Este procedimiento se aplica a los resultados de la toma de muestras cruciforme o aleatoria a través de correlaciones para mejorar o actualizar los datos de las propiedades de la madera (ASTM D-5536).

El método cruciforme es de importancia cuando la información deseada se refiere a la influencia sobre las propiedades mecánicas que tiene: la altura del árbol, la edad o la posición radial en el árbol, la tasa de crecimiento, el cambio de albura a duramen, las relaciones entre las propiedades mecánicas y factores tales como la gravedad específica y la comparación general entre especies para propósitos de selección de especies para usos finales específicos.

El método de doble muestreo se utiliza cuando se desea mejorar o actualizar las estimaciones existentes de valores de las propiedades mecánicas de la madera, que son la base para el establecimiento de tensiones admisibles de elementos estructurales de madera. El método consiste en la predicción de una propiedad observando cuidadosamente una propiedad auxiliar muy bien relacionada, que es probablemente más fácil y más barata de determinar. La estimación de una propiedad de una muestra auxiliar se obtiene con un alto grado de precisión cuando se tiene un muestreo representativo de la población. Una muestra pequeña e independiente o una submuestra de la muestra grande se utiliza para establecer una relación entre la propiedad auxiliar y la propiedad que se desea estimar. Así, mediante el sistema de doble muestreo se pueden predecir las propiedades mecánicas en base al peso específico.

Esto es aplicable cuando no se cuente con los datos de una especie o cuando haya estimaciones que se cree que ya no son aplicables debido a un cambio del carácter forestal.

El muestreo aleatorio proporciona mejores estimaciones de probabilidad que el muestreo doble y es menos costoso y más rápido si el muestreo y las pruebas son completadas para establecer regresiones de las propiedades mecánicas y de peso específico.

De acuerdo a los objetivos del presente trabajo de investigación, se elige el método de muestreo aleatorio. Esto se debe a varios factores que influyen en esta tarea. Lo anterior se apoya en los criterios señalados en la Norma ASTM D-5536.

Los principios generales del muestreo probabilístico de materiales (Práctica E 105), incluyendo la ubicación del tamaño de la muestra, la recolección del material de la muestra de una manera objetiva y el análisis de datos, se aplican al muestreo de los árboles del bosque para la determinación de las propiedades mecánicas. Generalmente, el tamaño de la muestra se determina por la precisión deseada en las estimaciones de las propiedades. El muestreo de los árboles forestales para la determinación de propiedades mecánicas, sin embargo, presenta problemas particulares para mantener la objetividad en la toma de muestras porque la población de la muestra, a efectos prácticos, es esencialmente e infinitamente grande, y debido a problemas asociados con amplios rangos geográficos y topografía inaccesible. El número de lugares, sus condiciones de crecimiento, y la cantidad de árboles por cada lugar también entran en escena. Para un tamaño de muestra dada, una muestra por cada árbol probablemente ofrece la mayor precisión; sin embargo, si el costo de la selección de un árbol, encontrar el mismo, talar y trasladarlo fuera del bosque es alto, entonces puede ser más económico muestrear un menor número de árboles, pero más intensamente en un árbol o dentro de un lugar, que refleja la necesidad de aumentar el número total de muestras analizadas para lograr la misma precisión (Norma ASTM D-5536).

Por lo anteriormente señalado, se privilegia este método por sobre el método cruciforme.

### 3.4.2. Identificación y selección de especies.

Por medio de planos geográficos de extracción del lugar (Ver sección 3.3), se cuenta con la localización específica de cada árbol para su extracción. Se hizo una búsqueda teniendo especial cuidado en que sus características fitosanitarias sean buenas, como ser: árboles sanos, el tronco lo más recto y vertical posible, fustes cilíndricos, los arboles seleccionados deben ser los más representativo del área seleccionada para la extracción tanto en altura como en diámetro.

Se eligieron cinco árboles, y se obtuvieron dos muestras por árbol haciendo un total de diez muestras, según ASTM D-143.

### 3.4.3. Marcado y aserrado.

Las trozas seleccionadas fueron marcadas sobre sus secciones transversales (Ver fotografía 2.1), posteriormente, fueron transportados al complejo industrial SIBACSA, donde se procedió al aserrado de las troncas (Ver fotografía 2.2), primero cuadrándolas; es decir, formando una sección rectangular dentro de la sección circular de la troza, para luego obtener tablas de 6 cm de altura de acuerdo a la Norma ASTM D-5536.



Fotografía: 3.1 Troza marcada sobre su sección transversal. (Fotografía Propia)



**Fotografía: 3.2** Proceso De Escuadrado Y Seccionamiento De Las Trozas. (Fotografía Propia)

#### 3.4.4. Corte y almacenaje.

La Norma ASTM D-143 establece que la sección transversal de una muestra estándar es de 2" x 2" (50 mm x 50 mm), y la longitud puede variar de 6" a 30" (150 a 760 mm), dependiendo de la prueba particular. La unidad de muestreo es un trozo de madera de 2" x 2", con una longitud, suficiente para suministrar una muestra de ensayo de cada tipo a ser evaluado. Además, se dejará material adicional para los residuos de corte mecanizado, la orientación de los anillos anuales y la eliminación de defectos de crecimiento.

Finalmente, la unidad mínima de muestreo es un listón de 2½" x 2½" (60 por 60 mm) de sección transversal y 6,5 pies (2,00 m) de largo.



**Fotografía: 3.3** Listones Obtenidos Después Del Aserrado. (Fotografía Propia)

El almacenamiento se lo realizo en los ambientes del complejo industrial SIBACSA, en un lugar donde estuviera la madera protegida de la lluvia. Las barras fueron apiladas de tal manera que se pueda protegerlas de la humedad del suelo con cierto grado de inclinación, ya que de esta manera circula fácilmente el aire por la madera (Ver fotografía 2.4).



**Fotografía: 3.4** Almacenamiento De Listones. (Fotografía Propia)

### **3.5. Numeración y codificación de las probetas.**

Para un registro conveniente de las probetas con las que se realizaran los distintos ensayos, es útil realizar una codificación de las probetas, de una manera clara y sencilla que nos permita ubicar una determinada probeta en cualquier momento del ensayo.

La codificación descrita a continuación, es la misma utilizado en trabajos similares al de la presente tesis, tales como “Maderas de la Amazonia Boliviana” y “Propiedades Físico-Mecánicas de *Gmelina arborea* Roxb. y *Tectona grandis* Linn. F”

### **3.5.1. Codificación de probetas para ensayos de propiedades físicas.**

Esta codificación tiene tres partes: la primera son dos letras, las cuales son las iniciales del género y especie del árbol a estudiar (MC = Miso Colorado); la segunda parte es un número correlativo, igual al número de probeta sujeto a estudio; la tercera parte está formada por las letras "PF" que significa "Propiedades físicas".

Ejemplo:

MC-2-PF

Siendo:

MC = Miso Colorado

2 = probeta N.º 2

PF = Propiedades físicas

### **3.5.2. Codificación de probetas para ensayos de propiedades mecánicas.**

Esta codificación también tiene tres partes: la primera son dos letras, las cuales son las iniciales del género y especie del árbol a estudiar (MC = Miso Colorado); la segunda parte es un número correlativo, igual al número de probeta sujeto a estudio; la tercera parte está formada por dos o más letras que significan el tipo de ensayo a realizar en esa probeta (DJK = Dureza Janka; CORPA = Corte paralelo a las fibras; COMPE = Compresión perpendicular a las fibras; COMPA = Compresión paralela a las fibras; FXE = Flexión estática; TRAPE = Tracción perpendicular a las fibras; TRAPA= Tracción paralela a las fibras; CLV = Clivaje).

Ejemplo:

MC-3-COMPE

Siendo:

MC = Miso Colorado

3 = probeta N.º 3

COMPE = Compresión perpendicular a las fibras

## **4. DESARROLLO EXPERIMENTAL.**

### **4.1. Especificaciones generales.**

#### **4.1.1. Norma de aplicación para los ensayos.**

Para el desarrollo de cada uno de las pruebas físicas y mecánicas de la especie en estudio, se utilizó como base, la norma **ASTM D – 143 – 94 (Reapproved 2000)**<sup>e1</sup> “**Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber**”, que para efectos de redacción en el presente documento será denominada: ASTM D-143.

La norma de la Sociedad americana para ensayos y materiales (por sus siglas en ingles American Society for Testing and Materials, ASTM), con designación fija D 143 fue publicada en el año 1994 y reprobada el año 2000, y esta es denominada “*Métodos de ensayos normalizados para pequeñas muestras de madera libre de defectos*”

#### **4.1.2. Métodos de ensayo.**

Las descripciones de algunos de los ensayos de resistencia se refieren a métodos primarios y métodos secundarios. Los métodos primarios provienen de probetas de 2 por 2 pulgadas (50 x 50 mm) de sección transversal. El tamaño de las probetas ha sido muy usado para la evaluación de varias propiedades físicas y mecánicas de diferentes especies de madera, y un gran número de datos basados en este método primario han sido obtenidos y publicados.

El tamaño de 2” x 2” tiene la ventaja de abarcar un número de anillos de crecimiento y es poco influenciado por las diferencias de madera nueva o vieja y es una porción suficiente para la probeta de este tamaño. Es posible usar el método primario en casi todos los casos. Sin embargo, existen circunstancias, donde es dificultoso o imposible obtener muestras limpias de 2” x 2” de sección transversal, teniendo como requerimiento longitudes de 30”

(760 mm) para ensayos de flexión estática. Con el incremento de la incidencia de árboles de pequeños crecimientos y el deseo de evaluar, en ciertas situaciones, un material de dimensiones menores a la sección transversal de 2" x 2" se incluye el segundo método de 1" x 1" (25t x 25 mm) de sección transversal. Esta sección transversal es establecida para compresión paralela a las fibras y ensayo de flexión estática, mientras que la sección transversal de 2" x 2" para flexión por impacto, compresión perpendicular a las fibras, dureza, corte paralelo a las fibras, clivaje y tensión perpendicular a las fibras. (ASTM D-143)

#### **4.1.3. Control de la temperatura.**

La temperatura y la humedad relativa juntas afectan la resistencia de la madera fijando el contenido de humedad de equilibrio. Las propiedades mecánicas de la madera son también afectadas solamente por la temperatura. Para los ensayos, las temperaturas de las probetas deben encontrarse a  $68 + 6$  °F ( $20 + 3$ °C). Se debe registrar la temperatura a lo largo de los ensayos como una parte específica del ensayo. (ASTM D-143)

En el ambiente donde se encuentra la máquina para ensayos en madera, se trató de mantener la temperatura constante, incluso cuando no se estaba realizando ensayo alguno, a una temperatura de 23 °C, con la ayuda de un acondicionador de aire.

#### **4.1.4. Medios y equipos utilizados.**

Todos los ensayos realizados en este trabajo investigativo, fueron desarrollados en los laboratorios del programa de ingeniería civil, donde fueron utilizados la mayoría de medios y equipos.

Los medios y equipos utilizados son los siguientes:

- horno de secado eléctrico
- balanza electrónica de precisión 0,01 gr.

- calibrador digital de precisión 0,01 mm
- sierra mecánica eléctrica
- cinta métrica metálica de precisión 1,0 mm
- lijas para maderas
- vaso de precipitación
- agua destilada
- clavos
- martillo.

Para la ejecución de los ensayos mecánicos se utilizó una “Maquina para ensayos en madera JDBlab” (Fotografía: 4.1), que se encuentra disponible en los ambientes del programa de ingeniería civil, esta cuenta con todos los accesorios intercambiables, para desarrollar los distintos tipos de ensayos mecánicos para maderas; como se verá más adelante.

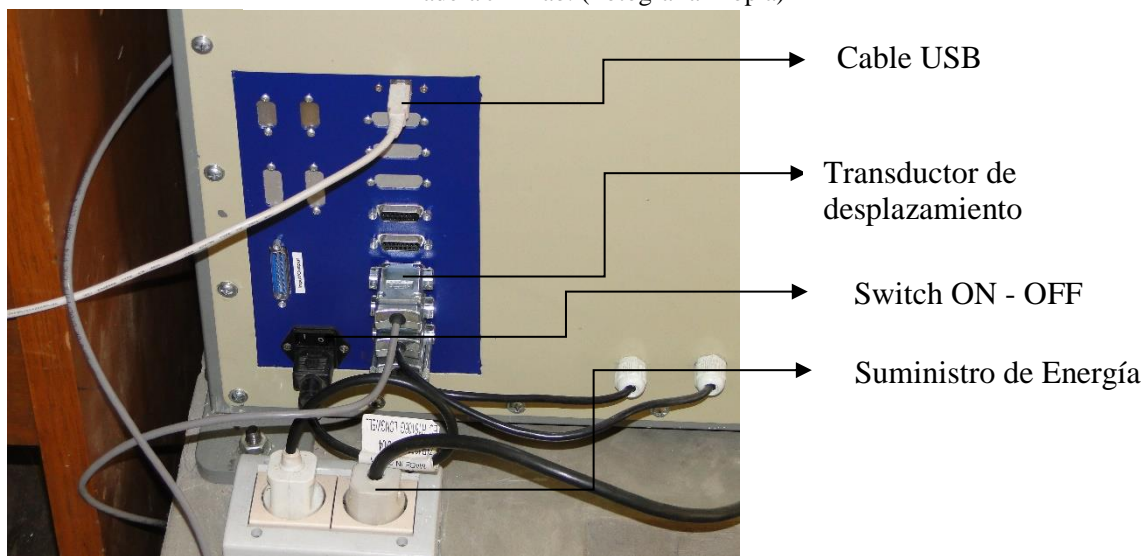
La máquina JDBlab, es un bastidor de alto rendimiento que tiene incorporado una cruceta robusta que permite que la maquina tenga un alto nivel de rigidez lateral, a su vez la cruceta funciona como guía de los ensayos. La JDBlab consta de una célula de carga de 10 toneladas.

Para la adquisición de datos durante el desarrollo de datos, la maquina cuenta con una interface (Fotografía: 4.2) que consta de un puerto de conexión USB para computadoras, tres puertos de entrada para sensores de carga, posición deformación, transductor de desplazamiento axial y cable de entrada de fuente de poder.

Para la conexión de la interface con una computadora, la JDBla trabaja con el software ADMET MTESTQuattro®, el cual permite configurar todos los parámetros de entrada y salida, adecuado a cada ensayo y norma utilizada, en nuestro caso la ASTM D-143.



**Fotografía: 4.1** Descripción de Máquina para ensayos en madera JDBlab. (Fotografía Propia)



**Fotografía: 4.2** Descripción de Interface (Fotografía Propia)

#### 4.2. Selección y disposición para ensayos.

Para este estudio el procedimiento a seguir fue realizado en madera seca al aire. El motivo se debe a que la madera fue cortada varios meses antes de ser transportada al laboratorio.

A continuación, se muestra la cantidad total de ensayos según las muestras que se obtuvieron y en referencia a la norma ASTM D-143.

**Tabla 4.1**  
**Cantidad de ensayos realizados**

<b>Ensayos</b>	<b>N.º de Trozas</b>	<b>N.º de probetas</b>
<b>Flexión estática</b>	10	10
<b>Compresión paralela a las fibras</b>	10	10
<b>Compresión perpendicular a las fibras</b>	10	10
<b>Dureza</b>	10	10
<b>Corte paralelo a las fibras</b>	10	10
<b>Clivaje</b>	10	10
<b>Tracción paralela a las fibras</b>	10	10
<b>Tracción perpendicular a las fibras</b>	10	10
<b>Peso específico y contracción volumétrica</b>	10	10
<b>Contenido de humedad</b>	10	10
<b>Total, de ensayos</b>		100

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3. Desarrollo de los ensayos.

Los ensayos que serán descritos a continuación, se realizan con probetas que tienen dimensiones normalizadas y específicas según el tipo de ensayo, en este caso siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ASTM D-143.

La elaboración de las probetas, es un factor muy importante a la hora de realizar los ensayos de caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Durante la fabricación de estas se debe tomar en cuenta la adecuada orientación de los anillos de crecimiento, la dirección de las fibras y la relación a los ejes de las piezas, pues de lo contrario se obtienen resultados incorrectos.

Las probetas fabricadas fueron elaboradas de tal manera de que dos de sus lados opuestos tuvieran cara tangencial paralela a los anillos de crecimiento y las otras dos caras radiales.

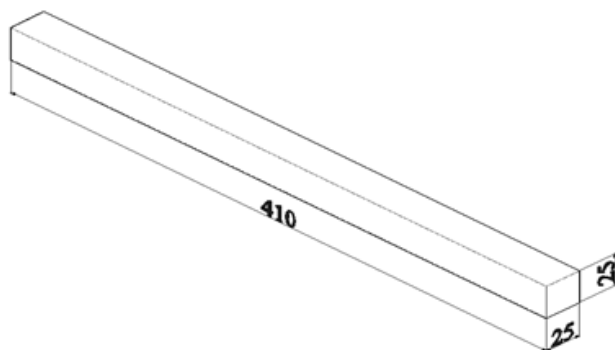
#### 4.3.1. Flexión Estática.

##### 4.3.1.1. Procedimiento de ensayo.

El ensayo de flexión estática consiste en someter la probeta estandarizada a una carga central con una luz entre apoyos de 36 cm y a una velocidad de 1,3 mm/min. Se ensayaron 10 probetas al 12% de contenido de humedad.

La Norma ASTM D-143 exige realizar el ensayo de flexión estática en probetas que tengan una relación altura/luz de 14.

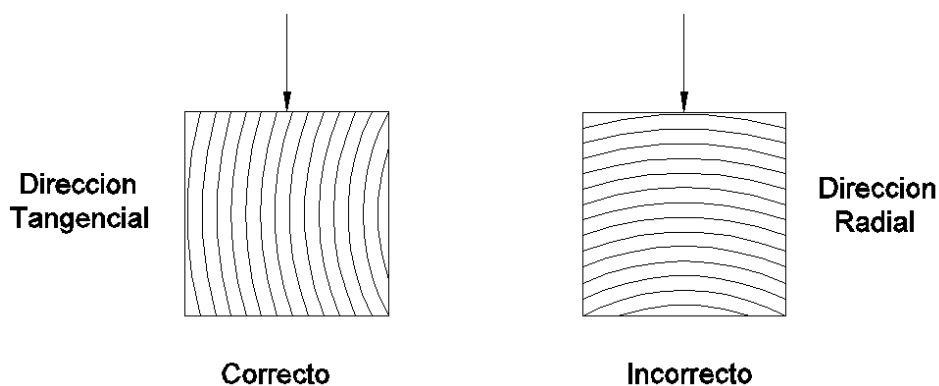
**Probetas:** se elaboraron de sección cuadrada con un espesor igual al ancho de 25mm por 410 mm de largo. Las fibras de la madera deben correr paralelamente al eje longitudinal de la probeta.



**Figura: 4.1.** Dimensiones De Probeta En Mm. Flexión Estática. (JDBlab)

**Disposición del ensayo:** se debe colocar las probetas sobre el dispositivo correspondiente al ensayo de flexión (**Fotografía: 4.3**), la carga debe ser aplicada en el centro de la probeta; la longitud de los tramos de apoyo debe de ser de 360 mm.

Las probetas deben colocarse de tal manera que la carga se aplique tangencialmente a los anillos de crecimiento (Figura: 4.2)



**Figura: 4.2.** Forma De Aplicación De Carga sobre Probeta en Flexión Estática . (JDBlab)



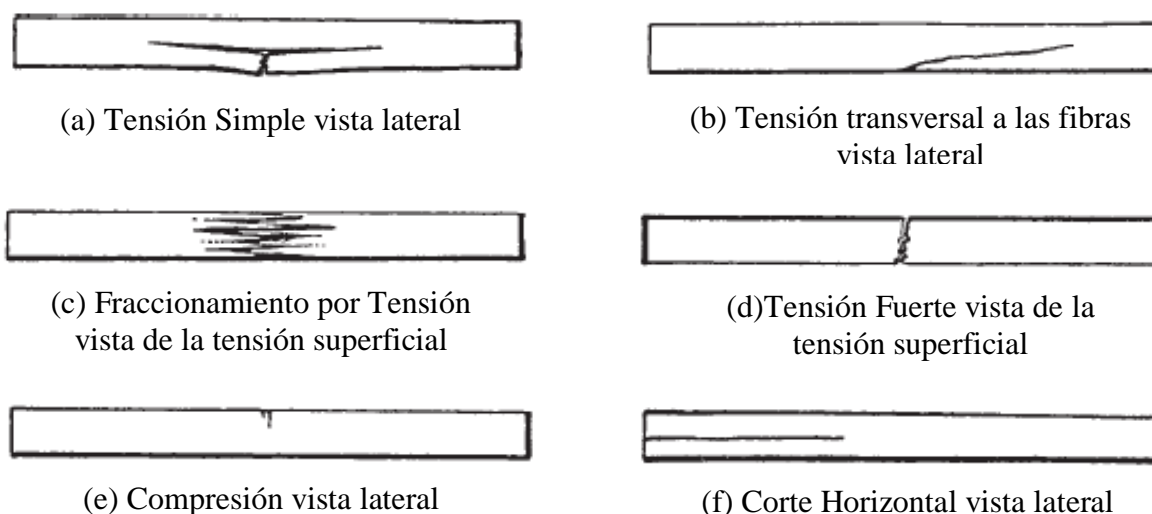
**Fotografía: 4.3** Disposición de Ensayo Flexión Estática

### **Procedimiento:**

La probeta debe cargarse en forma continua y constante para obtener una deformación de 1.3 mm/min para los especímenes, hasta la rotura registrándose la deformación y la carga correspondiente.

Las curvas de carga-deformación se registran a, o más allá de, la carga máxima para todas las pruebas de flexión estática. Las curvas deberán ser continuas a 76 mm de deflexión o hasta que la muestra falle a una carga de 220 N para los especímenes.

Las fallas de flexión se clasificarán de acuerdo con la apariencia de la superficie fracturada y la manera en que la falla se desarrolla (Figura: 4.3) las superficies de fracturas se pueden dividir en “descocado” y “fibroso”, el término “descocado” indicando falla abrupta y “fibroso” que indica una fractura que muestran astillas.



**Figura: 4.3** Tipos De Falla En Flexión Estática. (ASTM D 143-94, 2000)

La carga y la deflexión a la primera falla, así como la carga máxima y los puntos de cambio repentino deben leerse y mostrarse en la curva carga – deformación, a pesar de que esto no pueda ocurrir en cargas regulares o incrementos de deformación.

Determinar el contenido de humedad luego de realizado el ensayo; se debe cortar una sección de 25 mm aproximadamente, lo más cercana al punto de falla.

#### 4.3.1.2. Calculo de resultados.

Se debe determinar la resistencia a la flexión, o módulo de ruptura (MOR) mediante la siguiente ecuación:

$$MOR \left( \frac{kg}{cm^2} \right) = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot a \cdot e^2}$$

El Módulo de Elasticidad (MOE) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$MOE \left( \frac{kg}{cm^2} \right) = \frac{Pl \cdot L^3}{4 \cdot y \cdot a \cdot e^3} = \frac{P1 \cdot L^3}{4 \cdot y \cdot a \cdot e^3}$$

El Esfuerzo en el límite proporcional (ELP) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$ELP \left( \frac{kg}{cm^2} \right) = \frac{1.5 \cdot L \cdot Pl}{a \cdot e^2}$$

Donde:

$P$  = Carga máxima, en Kg.

$Pl$  = Carga en el límite proporcional en Kg.

$L$  = Luz entre apoyos en centímetros.

$a$  = Ancho de la probeta en la dirección radial, en centímetros.

$e$  = Altura de la probeta en la dirección tangencial, en centímetros.

$y$  = Deflexión en el límite de proporcionalidad, en centímetros.

#### 4.3.2. Compresión paralela a las fibras.

##### 4.3.2.1. Procedimiento de ensayo.

El ensayo de compresión paralela a las fibras consiste en someter la probeta estandarizada a una carga a través de la sección transversal a una velocidad de 0,3 mm/min. Se ensayaron 10 probetas por cada especie al 12% de contenido de humedad.

**Probetas:** Las probetas son prismas rectos de 25 por 25 por 100 mm, la fibra debe ser paralela a la longitud.

Antes de cada ensayo se debe medir, la longitud, espeso y ancho de cada probeta. Es muy importante que las probetas tengan cortes transversales a escuadra con las caras longitudinales.



**Figura: 4.4.** Dimensiones De Probeta En Mm. Compresión Paralela A Las Fibras. (JDBlab)

**Disposición del ensayo:** se debe colocar las probetas entre el plato circular (base) y el cabezal superior, de tal forma que este se encuentre centrada entre estas, para evitar cualquier desviación o descentralización de la carga en la probeta (Fotografía: 4.4).



**Fotografía: 4.4** Disposición De La Probeta Para El Ensayo Compresion Paralela a las Fibras (Fotografía Propia)

**Procedimiento:**

- La carga se aplica sobre las caras transversales en forma continua y durante todo el ensayo para que produzca una deformación a 0.3 mm/min, los valores para la curva de esfuerzo – deformación se toman aun después de la falla de la probeta.
- Las roturas por compresión se describen de acuerdo con la apariencia de las mismas, en la superficie en que aparezcan. En caso de presentarse dos o más roturas, se describen en el orden en que ocurrieron.
- Las fallas de compresión paralela se pueden clasificar de acuerdo con la apariencia de la superficie fracturada tal como se indica en la figura 8, que pueden llegar a ser las más comunes ocurridas en el ensayo.



### **Aplastante**

Este término se utiliza cuando el plano de rotura es de aproximadamente horizontal.



### **Brecha de División**

La dirección de la división, es decir, si radial o tangencial se debe señalar.



### **Cizallamiento**

Este término se utiliza cuando la ruptura plana forma un ángulo de más de 45 grados con la parte superior de la muestra.



### **División**

Este tipo de falla por lo general ocurre en la muestra con defectos internos antes de la prueba y será la base para la eliminación selectiva la muestra.



### **Compresión y Cizallamiento Paralelo a las Fibras**

Este fracaso ocurre generalmente en cruz - piezas de fibra y será la base para la eliminación selectiva de la muestra.



### **Escoba o Rodillo Final**

Este tipo de falla es generalmente es asociada con un contenido de humedad en exceso en los extremos de la muestra de corte inadecuado de la muestra o los dos no se trata de un tipo aceptable de falla y por lo general se asocia con una reducción de la carga de consideración se debe dar a las condiciones correctivas cuando este tipo de falla se observa.

**Figura: 4.5** Tipos de falla en compresión paralela a las fibras. (ASTM D 143-94, 2000)

Inmediatamente después de realizado el ensayo, se corta de la probeta un prisma de 2 cm. de altura, cuyas superficies y aristas se deben fijar convenientemente a fin de despojarlas de astillas y otras irregularidades, y se determina el contenido de humedad.

#### 4.3.2.2. Cálculo de resultados.

Módulo de ruptura

$$MOR \left( \frac{kg}{cm^2} \right) = \frac{P}{a \cdot e}$$

El Módulo de Elasticidad (MOE) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$MOE \left( \frac{kg}{cm^2} \right) = \frac{ELP \cdot L}{a \cdot e \cdot y} = \frac{P1 \cdot L^3}{4 \cdot y \cdot a \cdot e^3}$$

El Esfuerzo en el límite proporcional (ELP) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$ELP \left( \frac{kg}{cm^2} \right) = \frac{Pl}{a \cdot e}$$

Donde:

$P$  = Carga máxima, en Kg.

$Pl$  = Carga en el límite proporcional en Kg.

$L$  = Distancia sobre la cual se midió la deformación en centímetros.

$a$  = Ancho de la probeta, en centímetros.

$e$  = Espesor de la probeta, en centímetros.

$y$  = Deformación en el límite proporcional, en centímetros.

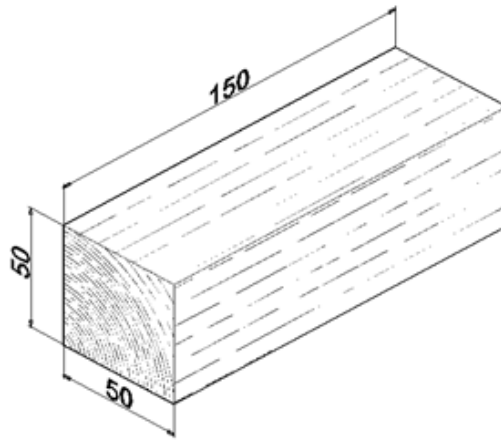
#### 4.3.3. Compresión perpendicular a las fibras.

##### 4.3.3.1. Procedimiento de ensayo.

El ensayo de compresión perpendicular a las fibras consiste en someter la probeta estandarizada a una carga a través de la sección radial a una velocidad de 0,3 mm/min,

mediante una placa metálica de 50x50 mm. Se ensayaron 10 probetas por cada especie al 12% de contenido de humedad.

**Probetas:** Las probetas son prismas rectos de 50 por 50 por 150 mm, cortadas de tal manera que las caras longitudinales sean paralelas a las fibras, dos de sus caras opuestas tangenciales y las otras dos radiales. Las medidas se verifican en el momento del ensayo.



**Figura: 4.6.** Dimensiones De Probeta En Mm. Compresión Perpendicular A Las Fibras. (JDBlab)

**Disposición del ensayo:** se debe colocar las probetas entre el plato circular (base) en forma tal que la fuerza se aplique sobre la cara tangencial o radial., La pieza de presión se coloca sobre la probeta perfectamente centrada, para centrar la probeta ayuda mucho marcar en el centro de la cara de aplicación de la probeta dos líneas transversales a las fibras a una distancia de 50 mm entre ambas líneas (Fotografía: 4.5).



**Fotografía: 4.5** Disposición De La Probeta Para El Ensayo Compresión Perpendicular a las Fibras (Fotografía Propia)

### **Procedimiento:**

Se acciona la máquina de tal forma que el travesaño inferior móvil realice la presión sobre la probeta a una velocidad de ensayo de 0.3 mm/min. Esta velocidad debe mantenerse constante hasta alcanzar una deformación del 1 % (0.5 mm) del espesor de la probeta.

Se puede disponer de un software en la computadora el cual registra con mucha precisión los datos adquiridos durante el ensayo, en el cual se puede observar los datos durante y después del ensayo.

Inmediatamente después de realizado el ensayo, se corta de la probeta un prisma de 2 cm. de altura, cuyas superficies y aristas se deben fijar convenientemente a fin de despojarlas de astillas y otras irregularidades, y se determina el contenido de humedad.

#### 4.3.3.2. Calculo de resultados.

El Esfuerzo en el límite proporcional (ELP) del 1% se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$ELP \left( \frac{kg}{cm^2} \right) 1\% = \frac{P}{a * e}$$

Donde:

$P$  = Carga en 1% de deformación en Kg.

$a$  = Ancho de la sección de probeta que sufrió el esfuerzo en 1%, en centímetros.

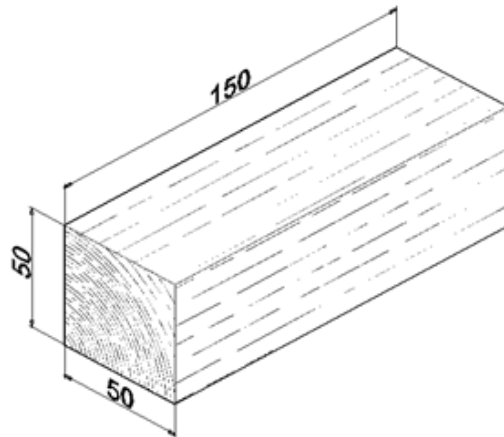
$e$  =Espesor de la sección de probeta que sufrió el esfuerzo en 1%, en centímetros.

#### 4.3.4. Dureza.

##### 4.3.4.1. Procedimiento de ensayo.

En esta investigación se usará el método JANKA, que consiste en medir el esfuerzo necesario para introducir en las caras transversales y en las laterales (tangencial y radial) de una probeta, una semiesfera de acero de 1 cm2 de área diametral hasta una profundidad igual a su radio. Se ensayaron 10 probetas por cada especie al 12% de contenido de humedad.

**Probetas:** Las probetas son prismas rectos de 50 por 50 por 150 mm, cortadas de tal manera que las caras longitudinales sean paralelas a las fibras, dos de sus caras opuestas tangenciales y las otras dos radiales. Las medidas se verifican en el momento del ensayo.



**Figura: 4.7.** Dimensiones De Probeta de Compresión Perpendicular a las Fibras En Mm. Dureza. (JDBlab)

**Disposición del ensayo:** se debe colocar la probeta sobre la base, debajo de la semiesfera de penetración (Fotografía: 4.6).



**Fotografía: 4.6** Disposición De La Probeta Para El Ensayo de Dureza (Fotografía Propia)

### **Procedimiento:**

Se debe penetrar la semiesfera una vez, en los extremos y en las caras de las probetas, de acuerdo con el siguiente orden:

Dos penetraciones sobre una superficie tangencial, dos en una superficie radial, y una en cada extremo. La elección entre las dos radiales y entre las dos superficies tangenciales deberá ser tal para cada pieza de un promedio razonable. Los intervalos serán lo suficientemente alejados del borde para evitar que se resquebraje o se astille.

La probeta se coloca inmediatamente debajo de la semiesfera, se acciona la prensa en tal forma que el travesaño inferior juntamente con el plato y la probeta se aproxime hacia la semiesfera a una velocidad de 6 mm/min y se mantiene la velocidad constante durante todo el ensayo hasta conseguir la penetración total de la semiesfera. En este instante se detiene el ensayo.

Cuando la penetración de la semiesfera este llegando al máximo, debe moverse constantemente al anillo, alrededor del vástago, en un ángulo de aproximadamente 20°, lo cual permite advertir tan pronto como se frene al movimiento que la base del anillo ya ha tocado el extremo de la probeta; esto significa que se ha logrado la penetración de la semiesfera.

Una vez efectuada la última penetración en la probeta, de la zona central se corta un prisma de 2 cm. de altura, al cual luego de lijarlo y despojarlo de las astillas y otras irregularidades, se le determina el contenido de humedad.

#### **4.3.4.2. Calculo de resultados.**

Se trabajará con el promedio obtenido de las dos lecturas en cada cara de penetración. Los valores de la penetración se expresan en kilogramos (kg). Si el ensayo se efectúa sobre la cara transversal de una probeta con un contenido de humedad mayor de 12 %, para ajustar los resultados a este valor debe aumentarse en un 4 % el valor de dureza obtenido en el

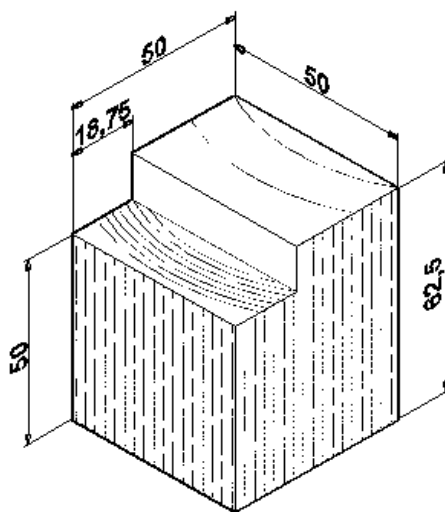
ensayo por cada 1 % de diferencia en el contenido de humedad. Cuando el ensayo se efectúa sobre las caras laterales, debe aumentarse el valor obtenido en el ensayo, en un 2.5 %.

### 4.3.5. Corte paralelo a las fibras.

#### 4.3.5.1. Procedimiento de ensayo.

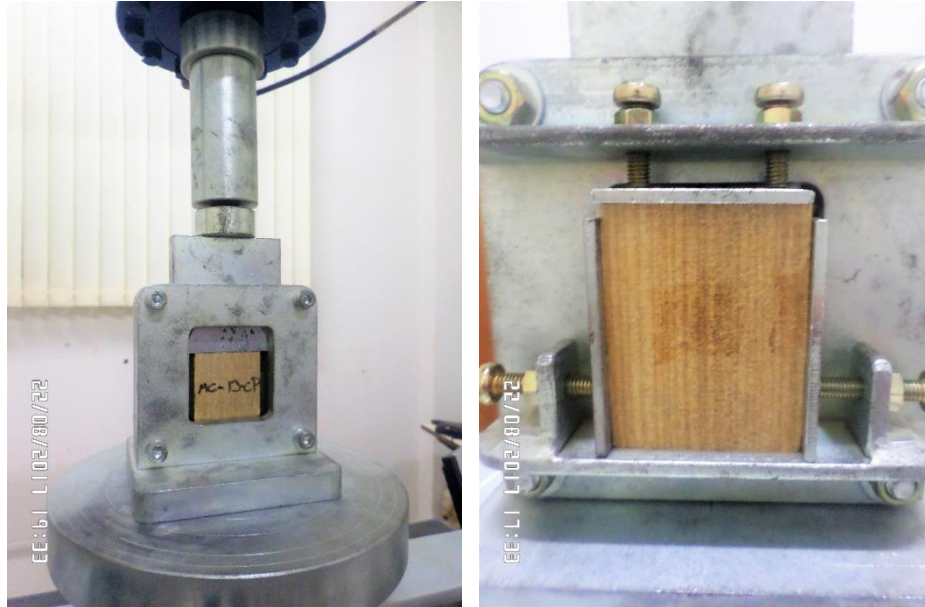
El ensayo de corte paralelo a las fibras consiste en someter la probeta estandarizada a una carga a través de una sección de 50 mm x 50 mm y a una velocidad de 0,6 mm/min. Se ensayaron 10 probetas de la especie, al 12% de contenido de humedad.

**Probetas:** Las dimensiones y la forma de las probetas para el ensayo son de 50 por 50 por 63 mm, a modo de producir la falla sobre la cara de 50 por 50 mm.



**Figura: 4.8.** Dimensiones De Probeta En Mm. Corte Paralelo A Las Fibras. (JDBlab)

**Disposición del ensayo:** Se coloca la probeta en el dispositivo de corte de tal manera que la cara de 50 por 50 por 63 mm quede en posición paralela a la pieza móvil y que la superficie adyacente pequeña reciba la presión de corte. (Fotografía: 4.7).



**Fotografía: 4.7** Disposición De La Probeta Para El Ensayo de Corte Paralelo a las Fibras (Fotografía Propia)

#### **Procedimiento:**

La carga debe aplicarse en forma continua durante todo el ensayo de modo que la sección de corte se desplace a razón de 0.6 mm/min. Se deberá registrar la carga máxima.

Inmediatamente después de realizado debe determinarse el contenido de humedad de la probeta. Para esto se utiliza la porción de la probeta que ha sido separada por el corte.

#### **4.3.5.2. Calculo de resultados.**

La resistencia máxima de rotura por cizallamiento se determina mediante la siguiente ecuación:

$$EMC = \frac{P}{a \times e}$$

Donde:

$EMC$  = esfuerzo máximo de corte, en (kg/cm<sup>2</sup>)

$P$  = Carga máxima soportada por la probeta, en kilogramos

$a$  = ancho de la probeta, en centímetros.

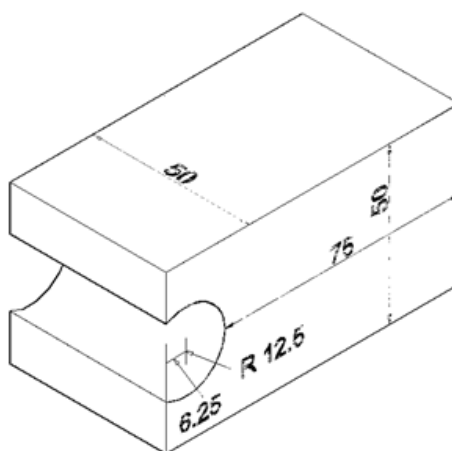
$e$  = espesor de la probeta, en centímetros.

#### 4.3.6. Clivaje (Hendimiento).

##### 4.3.6.1. Procedimiento de ensayo.

Para el ensayo de hendimiento se somete la probeta estandarizada a una carga de separación de las fibras, mediante dos fuerzas iguales y opuestas, aplicadas en sentido perpendicular a la dirección de las fibras, a una velocidad de 2,5 mm/min. Se ensayaron 5 probetas para plano tangencial y 5 probetas para plano radial, al 12% de contenido de humedad.

**Probetas:** Las probetas empleadas para este ensayo deben tener la forma y dimensiones indicadas en la figura 12. La mitad de las probetas se elabora y se ensaya de tal forma que la superficie de falla este en un plano tangencial a los anillos de crecimiento y la otra mitad este en un plano radial.



**Figura: 4.9.** Dimensiones De Probeta En Mm. Clivaje. (JDBlab)

**Disposición del ensayo:** Se coloca la probeta entre dos mordazas especiales, esta debe estar centrada y nivelada (Fotografía: 4.8).



**Fotografía: 4.8** Disposición de la probeta para el ensayo de Clivaje (Fotografía Propia)

### **Procedimiento:**

El travesaño inferior móvil debe desplazarse a una velocidad de 2.5 mm/min. El ensayo finaliza cuando se produzca la rotura de la probeta.

Antes de la rotura se debe de tomar en cuenta la carga máxima soportada por la probeta en Newtons para los cálculos correspondientes.

Después de la rotura de la probeta ensayada, las partes restantes se emplean para calcular su contenido de humedad

#### **4.3.6.2. Calculo de resultados.**

La resistencia unitaria al clivaje se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Rc = \frac{P}{a}$$

Donde:

$Rc$  = Resistencia unitaria al clivaje, en Kg/cm.

$P$  = Carga máxima soportada por la probeta, en Kilogramo.

$a$  = Ancho del plano de falla de la probeta, en centímetros.

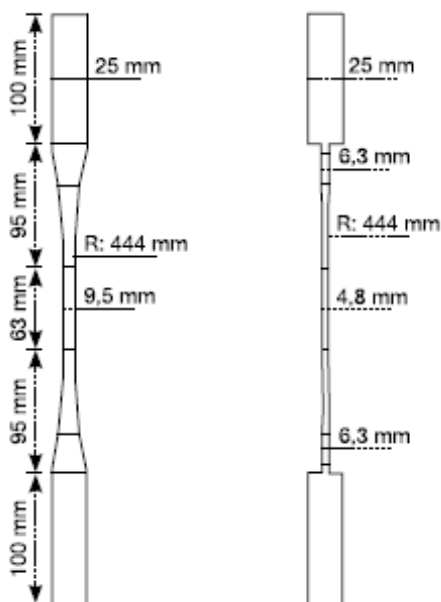
### 4.3.7. Tracción paralela a las fibras.

#### 4.3.7.1. Procedimiento de ensayo.

El ensayo de tracción paralela a las fibras consiste en someter la probeta estandarizada a una carga axial con una velocidad de 1,0 mm/min.

La probeta debe ser orientada de tal forma que la dirección de los anillos de crecimiento anual en la sección crítica y en los extremos debe ser perpendicular a la mayor dimensión. Se ensayaron 10 probetas al 12% de contenido de humedad.

**Probetas:** Las probetas empleadas para este ensayo deben tener la forma y dimensiones indicadas en la Figura: 4.10. Las probetas se elaboran de tal forma que la dirección de los anillos de crecimiento, en la zona de la sección reducida, sea perpendicular a la mayor dimensión de dicha sección.



**Figura: 4.10** Dimensiones De Probeta En Mm. Tracción Paralela A Las Fibras  
(Fotografía Propia)

**Disposición del ensayo:** La probeta se fija en las mordazas especiales para este ensayo, cada una de las partes de la mordaza transmite carga, estas mordazas detienen la probeta en la parte cuadrada de la misma, exactamente, en donde principia a originarse la parte crítica de la probeta. En el centro de la misma deberá colocarse el extensómetro para medir la deformación o alargamiento de la pieza.



**Fotografía: 4.9** Probeta Ubicada En Dispositivo De Ensayo Traccion Paralela a las Fibras (Fotografía Propia)

### **Procedimiento:**

Fijar el modelo que figura en las mordazas especiales (Fotografía: 4.9). La deformación se medirá en una longitud de 50 mm de la dimensión central en todas las muestras, se debe tomar lecturas de extensión de carga hasta que se pase el límite proporcional.

Las probetas se colocan y se mantienen durante el ensayo en tal forma que la cruceta móvil se desplace a una velocidad de 1.00 mm/min y de modo que las mordazas, con la probeta montada, tiendan a separarse entre sí.

Para cada probeta se traza una curva de Carga – Deformación con la ayuda del transductor de desplazamiento, con una luz de 50 mm entre los sujetadores del transductor de desplazamiento, hasta pasar el límite de proporcionalidad. El transductor de desplazamiento debe montarse sobre las caras radiales de la probeta, de tal manera que el punto medio de la separación del sujetador coincida con el punto medio de la probeta. Las deformaciones deben leerse con una precisión de 0.001 mm. El ensayo se continúa hasta que se produzca la rotura de la probeta.

De la zona cercana al sitio en donde se produjo la rotura se corta una porción de 76 mm de longitud y se determina el contenido de humedad de la probeta ensayada.

#### **4.3.7.2. Cálculo de resultados.**

El esfuerzo unitario máximo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$EUT = \frac{P}{a}$$

Donde:

$EUT$  = Esfuerzo último de tracción, en Kg/cm<sup>2</sup>.

$P$  = Carga máxima soportada por la probeta, en kilogramos.

$a$  = Área de la sección mínima de la probeta, en centímetros cuadrados.

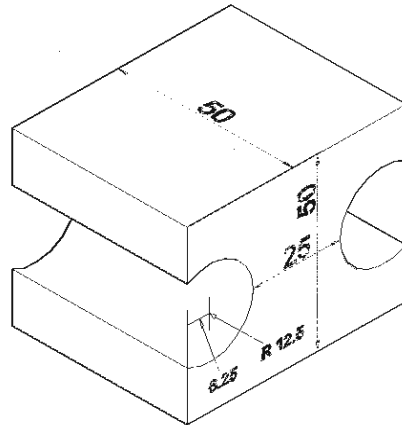
#### **4.3.8. Tracción perpendicular a las fibras.**

##### **4.3.8.1. Procedimiento de ensayo.**

El ensayo de tracción paralela a las fibras consiste en someter la probeta estandarizada a una carga axial con una velocidad de 2,5 mm/min.

**Probetas:** Las probetas empleadas para este ensayo deben tener las formas y dimensiones indicadas en la figura 14. La mitad de las probetas se elabora y se ensaya de tal forma que la

superficie de rotura este en un plano tangencial a los anillos de crecimiento y la otra mitad este en un plano radial.



**Figura: 4.11.** Dimensiones De Probeta En Mm. Tracción Perpendicular A Las Fibras. (JDBlab)

**Disposición del ensayo:** La probeta se fija entre 2 mordazas idénticas una superior y otra inferior, tal como se muestra en Fotografía: 4.10.



**Fotografía: 4.10** Probeta de Tracción Perpendicular a las Fibras Ubicada En Dispositivo De Ensayo (Fotografía Propia)

**Procedimiento:**

Se debe incrustar las muestras entre las mordazas, como se muestra en la Fotografía: 4.10.

Las probetas se mantienen durante el ensayo de tal manera que las mordazas se separen, a una velocidad de 2.5 mm/min, el ensayo debe continuar hasta la rotura de la probeta.

Antes de la rotura se debe tomar en cuenta la carga máxima en Newtons, soportada por la probeta.

Después de la rotura, una de las partes de la probeta se debe usar para determinar el contenido de humedad.

#### **4.3.8.2. Calculo de resultados.**

El esfuerzo unitario máximo a la tracción perpendicular, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$EM = \frac{P}{a}$$

Donde:

$EM$  = Esfuerzo unitario máximo a la tracción perpendicular, en Kg/cm<sup>2</sup>.

$P$  = Carga máxima soportada por la probeta, en Kg.

$A$  = Área de la selección mínima de la probeta, en cm<sup>2</sup>.

#### **4.3.9. Contenido de humedad.**

##### **4.3.9.1. Procedimiento de ensayo.**

La forma de seleccionar las muestras para determinar la humedad de cada prueba, se describe en cada ensayo. Cuando se obtiene esta muestra se quita todos los fragmentos sueltos y se pesa.

Luego se acondiciona todo el volumen acumulado en ese día en un horno y se seca a una temperatura de  $103 \pm 2$  grados centígrados, hasta que se llegue a un peso constante y se determina luego el peso seco.

La pérdida de humedad expresada como porcentaje del peso secado al horno, se considera como el contenido de humedad de la probeta.

#### 4.3.9.2. Cálculo de resultados.

$$CH = \frac{(Ph - Ps)}{Ps} \times 100\%$$

Donde:

CH: Humedad de la madera expresada como un porcentaje de su peso anhidro.

Ph: Peso de la madera en estado húmedo o peso inicial.

Ps: Peso de la madera en estado anhidro, peso final o constante

#### 4.3.10. Densidad, peso específico y contracción volumétrica.

##### 4.3.10.1. Procedimiento de ensayo.

Para esta prueba fueron seleccionadas 10 probetas que serán usadas para densidad, peso específico y contracción volumétrica de la porción no usada de las probetas utilizadas para flexión.

Las dimensiones de las probetas son de 25 x 25 x 100 mm, debe determinarse antes de la prueba, las dimensiones reales (ancho, alto y largo) y hechas éstas con la precisión requerida.

Hay que tomar en cuenta que para esta prueba la madera debe estar en la condición verde (más de un 30 % de humedad). Para obtener la densidad, el peso específico y la contracción volumétrica se hace uso de una misma probeta. Se hacen estas determinaciones con un contenido de humedad del 12 % y en condiciones de secado al horno.

Cuando está verde se pesa la probeta y el volumen se determina por el método de la inmersión. Se apila esta probeta verde luego de la inmersión y se ventila en un cuarto con un ambiente acondicionado hasta que se llegue a una humedad uniforme de aproximadamente el 12 %. Cuando esto sucede se mide la probeta y se determina el volumen de nuevo por el método de la inmersión.

Cuando se ha secado nuevamente se determina el volumen por el método de la inmersión.

#### 4.3.10.2. Cálculo de resultados.

Densidad ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )

$$\text{Densidad verde } (\text{kg}/\text{cm}^3) = \frac{\text{Peso verde}}{\text{Volumen verde}}$$

$$\text{Densidad anhidra } (\text{kg}/\text{cm}^3) = \frac{\text{Peso seco al horno}}{\text{Volumen seco al horno}}$$

$$\text{Densidad al 12\% de humedad } (\text{kg}/\text{cm}^3) = \frac{\text{Peso al 12\% de humedad}}{\text{Volumen al 12\% de humedad}}$$

Peso específico (adimensional)

$$\text{Peso específico básico} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Volumen humedo}} / \text{densidad del agua}$$

$$\text{Peso específico al 12\% de C.H.} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Volumen al 12\% de C.H.}} / \text{densidad del agua}$$

Contracción volumétrica (adimensional)

$$\text{Contracción volumétrica} = \frac{\text{Volumen verde} - \text{Volumen seco}}{\text{Volumen verde}} \times 100$$

#### 4.4. Análisis estadístico y evaluación de resultados.

En este apartado se describe, el análisis realizado para evaluar las propiedades de cada ensayo, de acuerdo a los resultados obtenidos.

#### 4.4.1. Procedimiento.

Todos los datos obtenidos durante la ejecución de los ensayos de cada una de las pruebas realizadas, se sometieron a un análisis estadístico, con el objeto de obtener datos compactos de utilidad que nos permitan evaluar y obtener conclusiones.

Para cada ensayo realizado, se determinó la media aritmética, la desviación estándar, coeficiente de variación y valores máximos y mínimos.

El procedimiento descrito, se realizó para cada ensayo, obteniendo datos claros y en forma ordenada.

El coeficiente de variación (CV) es parámetro que permite evaluar la calidad estadística de los resultados obtenidos. (Lazo de la Vega Valenzuela, Navia Miranda, Veneros Ordoñez, & Yugar Ortiz, 2013)

Para los resultados se considera los siguientes rangos de validación:

- Coeficientes de variación entre 0% y 10%. Los datos son homogéneos.
- Coeficientes de variación entre 10% y 20%. Datos con homogeneidad media.
- Coeficientes de variación entre 20% y 30%. Datos con homogeneidad moderada.
- Coeficientes mayores al 30%. Datos poco precisos y por lo tanto se recomienda utilizarla

sólo con fines descriptivos.

## 5. RESULTADOS.

Los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio y del análisis estadístico, realizados para cada ensayo, se presentan desde el ANEXO. A. hasta el ANEXO. I.

A continuación, se presentan los resultados mediante cuadros resumen. Divididos en propiedades físicas y propiedades mecánicas.

### 5.1. Propiedades físicas.

#### 5.1.1. Contenido de humedad

*Tabla 5.1*  
*Promedios de ensayos de Contenido de humedad*

<b>Variable</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Coefficiente de variación (%)</b>	<b>Valor máximo</b>	<b>Valor mínimo</b>
<b>Flexión</b>	11,48%	0,005	4,24%	0,12	0,10
<b>Compresión paralela a las fibras</b>	10,97%	0,005	4,23%	0,12	0,10
<b>Corte paralelo a las fibras</b>	11,06%	0,004	3,69%	0,12	0,10
<b>Tracción perpendicular a las fibras (cara radial)</b>	10,66%	0,003	2,78%	0,11	0,10
<b>Tracción perpendicular a las fibras (cara tangencial)</b>	10,57%	0,004	3,32%	0,11	0,10
<b>Clivaje (cara radial)</b>	10,43%	0,002	2,29%	0,11	0,10
<b>Clivaje (cara tangencial)</b>	10,79%	0,003	2,33%	0,11	0,10
<b>Dureza</b>	11,33%	0,008	7,30%	0,12	0,10

<b>Compresión perpendicular a las fibras</b>	10,33%	0,004	3,99%	0,11	0,10
<b>Tracción perpendicular a las fibras (cara tangencial)</b>	10,57%	0,004	3,31%	0,11	0,10
<b>Tracción perpendicular a las fibras (cara radial)</b>	10,66%	0,003	2,77%	0,11	0,10
<b>Promedios</b>	10,80%	0,004	3,66%	11,40%	10,20%

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 5.1, el contenido de humedad registrada para cada ensayo de propiedades mecánicas realizadas es en promedio de 10,80%, recordando que los ensayos deberían realizarse con probetas al 12% de contenido de humedad, podemos decir que los ensayos mecánicos se realizaron dentro los parámetros establecidos.

El coeficiente de variación es cercano al 4%, esto nos indica que los datos tienen poca variación, prácticamente homogéneas.

### **5.1.2. Densidad, peso específico y contracción volumétrica.**

Con respecto a las propiedades físicas, se observa que los coeficientes de variación, en todos los casos, se encuentran entre el 8% y 10%; esto permite afirmar que hay homogeneidad en los datos obtenidos, por tanto, los resultados de los ensayos son confiables (Tabla 5.2).

**Tabla 5.2**  
**Propiedades físicas del Miso Colorado**

Variables	Densidad verde	Densidad al 12 %	Densidad anhidra	Peso específico o básico	Peso específico al 12% ch	Contracción volumétrica
	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )			%
<b>Promedio</b>	0,81	0,79	0,75	0,68	0,71	9,03
<b>Desviación estándar</b>	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,78
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	8,80	9,87	10,50	9,89	9,93	8,67
<b>Valor máximo</b>	0,90	0,90	0,86	0,77	0,81	10,36
<b>Valor mínimo</b>	0,69	0,65	0,61	0,56	0,59	7,84

Fuente: elaboración propia.

## 5.2. Propiedades mecánicas.

### 5.2.1. Flexión Estática.

Con respecto al ensayo de flexión estática, puesto que los coeficientes de variación en todos los parámetros determinados están comprendidos entre 19,18% y 32,08%, se induce que existe homogeneidad moderada (entre 20% y 30%) en los datos conseguidos. Esta homogeneidad moderada posiblemente se deba a factores como los siguientes: dimensiones e irregularidades de las probetas con pequeñas variaciones, contenido de humedad variable, fibras entrecruzadas y presencia de madera juvenil y adulta en diferentes proporciones; así como el tiempo transcurrido entre la tala del árbol y los ensayos correspondientes (Tabla 5.3).

**Tabla 5.3**  
**Resumen Flexión estática**

<b>Variable</b>	<b>Carga máxima</b>	<b>C.L.P.</b>	<b>D.L.P.</b>	<b>M.O.R.</b>	<b>M.O.E.</b>	<b>E.L.P.</b>
	(kg)	(kg)	(cm)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Media</b>	385,27	204,60	0,39	1.290,48	148.036,78	67,30
<b>Desviación estándar</b>	92,96	63,62	0,08	322,05	28.400,28	21,59
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	24,13	31,10	21,06	24,96	19,18	32,08
<b>Máximo valor</b>	512,12	290,55	0,49	1.757,91	174.509,00	97,81
<b>Mínimo valor</b>	209,20	103,53	0,24	660,11	76.151,90	33,45

Fuente: elaboración propia.

CLP: Carga en el límite de proporcionalidad (kg), DLP: Deformación en el límite de proporcionalidad (cm), ELP: Esfuerzo en el límite de proporcionalidad (kg/cm<sup>2</sup>), MOR: Modulo de Ruptura (kg/cm<sup>2</sup>), MOE: Modulo de elasticidad (kg/cm<sup>2</sup>), ELP: Esfuerzo en límite de proporcionalidad (kg/cm<sup>2</sup>)

### 5.2.2. Compresión paralela a las fibras.

En la prueba de compresión paralela a las fibras, se observó que los coeficientes de variación, en todos los parámetros determinados, están comprendidos entre 13,02% y 21,47%, por lo que se induce que existe homogeneidad media (entre 10% y 20%) en los datos conseguidos (Tabla 5.4). Esta homogeneidad media posiblemente se deba a factores como los siguientes: dimensiones e irregularidades de las probetas con pequeñas variaciones, contenido de humedad variable, fibras entrecruzadas y presencia de madera juvenil y adulta en diferentes proporciones, así como el tiempo transcurrido entre la tala del árbol y los ensayos correspondientes.

**Tabla 5.4**  
**Resumen Compresión paralela a las fibras**

<b>Variable</b>	<b>Carga máxima</b>	<b>C.L.P.</b>	<b>D.L.P.</b>	<b>M.O.R.</b>	<b>M.O.E.</b>	<b>E.L.P.</b>
	(Kg)	(Kg)	(cm)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Media</b>	4.003,47	2.778,93	1,01	624,60	684,61	433,58
<b>Desviación estándar</b>	743,10	361,85	0,22	117,01	138,77	57,58
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	18,56	13,02	21,47	18,73	20,27	13,28
<b>Máximo valor</b>	5.284,81	3.280,17	1,38	808,61	869,22	507,23
<b>Mínimo valor</b>	3.020,28	2.151,19	0,69	464,12	454,24	330,57

Fuente: elaboración propia.

CLP: Carga en el límite de proporcionalidad (kg), DLP: Deformación en el límite de proporcionalidad (cm), ELP: Esfuerzo en el límite de proporcionalidad (kg/cm<sup>2</sup>), MOR: Modulo de Ruptura (kg/cm<sup>2</sup>), MOE: Modulo de elasticidad (kg/cm<sup>2</sup>), ELP: Esfuerzo en límite de proporcionalidad (kg/cm<sup>2</sup>)

### 5.2.3. Compresión perpendicular a las fibras.

Con relación a la prueba de compresión perpendicular a las fibras, se observa que los coeficientes de variación en todos los parámetros determinados están comprendidos entre 22,72% y 23,79%, por lo cual se induce que existe homogeneidad moderada (entre 20% y 30%) en los datos determinados (Tabla 5.5). Esta homogeneidad media a moderada posiblemente se deba a factores como los siguientes: dimensiones e irregularidades de las probetas con pequeñas variaciones, contenido de humedad variable, fibras entrecruzadas y presencia de madera juvenil y adulta en diferentes proporciones, así como el tiempo transcurrido entre la tala del árbol y los ensayos correspondientes.

**Tabla 5.5**  
**Resumen Compresión perpendicular a las fibras**

Variable	C. L. P.	E.L.P.	E.L.P.
	(Kg)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Mpa)
<b>Media</b>	1.446,38	57,78	5,67
<b>Desviación estándar</b>	328,55	13,75	1,35
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	22,72	23,79	23,79
<b>Máximo valor</b>	1.859,57	77,33	7,58
<b>Mínimo valor</b>	1.015,77	40,07	3,93

Fuente: elaboración propia.

CLP: Carga en el límite de proporcionalidad (kg), ELP: Esfuerzo en el límite de proporcionalidad (kg/cm<sup>2</sup>)

#### 5.2.4. Dureza.

Con relación a los ensayos de Dureza, se observa que los coeficientes de variación están comprendidos entre 21,23% y 29,68%, por lo cual se induce que existe homogeneidad moderada (entre 20% y 30%) en los datos logrados (Tabla 5.6). Esta homogeneidad media a moderada posiblemente se deba a factores como los siguientes: dimensiones e irregularidades de las probetas con pequeñas variaciones, contenido de humedad variable, fibras entrecruzadas y presencia de madera juvenil y adulta en diferentes proporciones, así como el tiempo transcurrido entre la tala del árbol y los ensayos correspondientes.

**Tabla 5.6**  
**Resumen Dureza**

Variable	Dureza. Extremo	Dureza Radial	Dureza Tangencial
	(Kg)	(Kg)	(Kg)
<b>Media</b>	716,41	632,27	606,27
<b>Desviación estándar</b>	152,10	160,54	179,93
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	21,23	25,39	29,68
<b>Máximo valor</b>	999,23	947,20	957,42
<b>Mínimo valor</b>	529,53	415,72	382,58

Fuente: elaboración propia.

Prom: promedio

### 5.2.5. Corte paralelo a las fibras.

Respecto a la prueba del corte paralelo a las fibras, se vio que los coeficientes de variación en todos los parámetros determinados están comprendidos entre 17,03% y 17,31%, por lo que se induce que existe homogeneidad media (entre 10% y 20%) en los datos conseguidos (Tabla 5.7). Esta homogeneidad media posiblemente se deba a factores como los siguientes: dimensiones e irregularidades de las probetas con pequeñas variaciones, contenido de humedad variable, fibras entrecruzadas y presencia de madera juvenil y adulta en diferentes proporciones de las muestras ensayadas.

Tiene que ver también el tiempo transcurrido entre la tala del árbol y los ensayos correspondientes

**Tabla 5.7**  
**Resumen Corte paralelo a las fibras**

<b>Variable</b>	<b>P</b> (Kg)	<b>E.M.C.</b> (Kg /cm <sup>2</sup> )	<b>E.M.C.</b> (Mpa)
<b>Media</b>	3.174,98	125,48	12,31
<b>Desviación estándar</b>	540,68	21,72	2,13
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	17,03	17,31	17,31
<b>Máximo valor</b>	3.943,00	156,78	15,38
<b>Mínimo valor</b>	2.369,94	94,24	9,24

Fuente: elaboración propia. EMC: Esfuerzo máximo de corte, P: Carga máxima

### 5.2.6. Clivaje (Hendimiento).

Con respecto al clivaje, encontramos que esta propiedad, con respecto a la cara radial, posee un valor de 941,80 kg/cm<sup>2</sup> (Tabla 5.8); dado que tenemos un coeficiente de variación de 10,86% podemos apreciar que se tenía una buena homogeneidad.

Sin embargo, ocurre todo lo contrario en el plano tangencial, el coeficiente de variación es de 44,86%, por lo que se tuvo que desechar estos resultados, de acuerdo a lo descrito en la sección 4.4.1 (Tabla 5.9).

**Tabla 5.8**  
**Resumen Clivaje. Cara Radial**

VARIABLE	P	Rc	Rc
	(Kg)	(Kg /cm2)	(Mpa)
<b>Media</b>	207,00	41,80	4,10
<b>Desviación estándar</b>	22,93	4,54	0,45
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	11,08	10,86	10,86
<b>Máximo valor</b>	239,70	47,94	4,70
<b>Mínimo valor</b>	182,30	36,61	3,59

Fuente: elaboración propia.

RC: Resistencia al clivaje, P: Carga máxima

**Tabla 5.9**  
**Resumen Clivaje. Cara tangencial**

VARIABLE	P	Rc	Rc
	(Kg)	(Kg /cm2)	(Mpa)
<b>Media</b>	451,56	90,60	8,88
<b>Desviación estándar</b>	201,46	40,64	3,99
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	44,61	44,86	44,86
<b>Máximo valor</b>	634,80	128,24	12,58
<b>Mínimo valor</b>	169,90	33,78	3,31

Fuente: elaboración propia.

RC: Resistencia al clivaje, P: Carga máxima

### 5.2.7. Tracción paralela a las fibras.

De acuerdo a los ensayos realizados, tenemos un esfuerzo de tracción paralela, de 1807,02 Kg/cm2 como valor promedio.

La prueba de tracción paralela a las fibras revela que los coeficientes de variación están comprendidos entre 21,27% y 24,14% (Tabla 5.10). Esto expresa que existe homogeneidad moderada (entre 20% y 30%) en los resultados obtenidos. Esta homogeneidad moderada posiblemente se deba a factores como los siguientes: dimensiones e irregularidades de las probetas con pequeñas variaciones, contenido de humedad variable, fibras entrecruzadas y

presencia de madera juvenil y adulta en diferentes proporciones de las muestras ensayadas y especialmente a la geometría compleja de la probeta para su construcción. También influye el tiempo transcurrido entre la tala del árbol y los ensayos correspondientes.

**Tabla 5.10**  
**Resumen Tracción Paralela a las Fibras**

<b>Variable</b>	<b>Carga Máxima</b> (Kg)	<b>EUT</b> (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>MEDIA</b>	902,93	1807,02
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	192,05	436,69
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)</b>	21,27	24,17
<b>MÁXIMO VALOR</b>	1131,90	2383,26
<b>MÍNIMO VALOR</b>	618,40	1145,19

Fuente: elaboración propia.

EUT: Esfuerzo ultimo de tracción

### **5.2.8. Tracción perpendicular a las fibras.**

En esta prueba vemos que el coeficiente de variación para el plano radial es de 17,94 (Tabla 5.11), lo que nos indica que existe una homogeneidad media; para el plano tangencial se tiene un 20,60 como coeficiente de variación (Tabla 5.12), hay una homogeneidad moderada (entre 20% y 30%). Esta homogeneidad media y moderada posiblemente se deba a factores de dimensiones e irregularidades de las probetas con pequeñas variaciones, fibras entrecruzadas y presencia de madera juvenil y adulta en diferentes proporciones de las muestras ensayadas y especialmente a la geometría compleja de la probeta para su construcción. También influye el tiempo transcurrido entre la tala del árbol y los ensayos correspondientes.

**Tabla 5.11**  
**Resumen Tracción Perpendicular a las Fibras Cara Radial**

Variables	Carga Máxima	EM	EM
	(Kg)	(Kg /cm2)	(Mpa)
<b>Media</b>	811,90	67,07	6,58
<b>Desviación estándar</b>	152,31	12,03	1,18
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	18,76	17,94	17,94
<b>Máximo valor</b>	997,40	81,22	7,97
<b>Mínimo valor</b>	623,10	51,12	5,01

Fuente: elaboración propia.

EM: Esfuerzo máximo

**Tabla 5.12**  
**Resumen Tracción Perpendicular a las Fibras Cara Tangencial**

Variables	Carga Máxima	EM	EM
	(Kg)	(Kg /cm2)	(Mpa)
<b>Media</b>	301,82	24,93	2,44
<b>Desviación estándar</b>	63,89	5,14	0,50
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	21,17	20,60	20,60
<b>Máximo valor</b>	372,50	30,79	3,02
<b>Mínimo valor</b>	227,30	19,04	1,87

Fuente: elaboración propia.

EM: Esfuerzo máximo

### 5.3.Discusión.

En general los coeficientes de variación de los diferentes parámetros encontrados en el trabajo de investigación nos revelan que existe dispersión moderada, probablemente a causa de diferentes factores como: manera de secado, el tiempo transcurrido entre la tala de los árboles de muestreo y la realización de los ensayos de laboratorio, las irregularidades de las probetas de ensayo y sus dimensiones, especialmente en las probetas sometidas a tracción paralela y perpendicular a las fibras por su compleja geometría, fibras entrecruzadas, esviaje en las fibras en un número considerable de probetas con relación al eje longitudinal de las muestras, presencia de madera juvenil y adulta en diferentes proporciones de las muestras ensayadas y otros no detectados visualmente. Concluido el trabajo de toma de muestras y

ejecución de los ensayos correspondientes para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la especie maderable en estudio, se efectuó un análisis de resultados (Tabla 5.13).

**Tabla 5.13**  
**Resumen de las propiedades físicas y mecánicas.**

Variable	Descripción	Resultados		
<b>Propiedades físicas</b>	DENSIDAD VERDE (gr/cm <sup>3</sup> )	0,81		
	DENSIDAD AL 12 % (gr/cm <sup>3</sup> )	0,79		
	DENSIDAD ANHIDRA (gr/cm <sup>3</sup> )	0,75		
	Densidad, peso específico y contracción volumétrica	Peso específico básico	0,68	
		Peso específico al 12% ch	0,71	
		Contracción volumétrica	9,03	
	Clasificación en función de densidad al 12% CH		Alta	
		Clasificación en función de densidad seca al aire	Moderadamente pesada	
	<b>Propiedades mecánicas</b>	Flexión Estática	Carga máxima (kg)	385,27
			C.L.P. (kg)	204,60
D.L.P. (cm)			0,39	
M.O.R. (Kg/cm <sup>2</sup> )			1290,48	
M.O.E. (Kg/cm <sup>2</sup> )			148036,78	
E.L.P. (Kg/cm <sup>2</sup> )			67,30	
Clasificación en función del MOR			Alto	
Clasificación en función del MOE			Medio	
Compresión paralela a las fibras			Carga máxima (kg)	4003,47
	C.L.P. (kg)	2778,93		
	D.L.P. (cm)	1,01		
	M.O.R. (Kg/cm <sup>2</sup> )	624,60		
	M.O.E. (Kg/cm <sup>2</sup> )	684,61		
	E.L.P. (Kg/cm <sup>2</sup> )	433,58		
	Clasificación en función de resistencia	Muy alta		
	Compresión perpendicular a las fibras	C.L.P. (kg)	1446,38	
		E.L.P. (Kg/cm <sup>2</sup> )	57,78	
		Clasificación en función de resistencia	Mediana	
Dureza	Dureza externa	716,41		
	Dureza radial	632,27		
	Dureza tangencial	606,27		
	Clasificación en Extremos	Dura		
	Clasificación en cara radial	Moderadamente dura		

	Clasificación en cara tangencial	Moderadamente dura
Corte paralelo a las fibras	Carga máxima (Kg)	3174,98
	E.M.C. (Kg/cm <sup>2</sup> )	125,48
	Clasificación en función de esfuerzo de corte	Alta
Clivaje radial	Carga máxima (kg)	207,00
	Rc (Kg/cm <sup>2</sup> )	41,80
Tracción paralela a las fibras	Carga máxima (Kg)	902,93
	EUT (Kg/cm <sup>2</sup> )	1807,02
Tracción perpendicular a las fibras Radial	Carga máxima (Kg)	811,90
	EM (Kg/cm <sup>2</sup> )	67,07
Tracción perpendicular a las fibras Tangencial	Carga máxima (Kg)	301,82
	EM (Kg/cm <sup>2</sup> )	24,93

Fuente: elaboración propia.

#### 5.4. Ficha técnica de la especie en estudio.

Con la información obtenida durante el desarrollo de la investigación, se logró obtener información necesaria para elaborar la ficha técnica. Esta información es de especial relevancia, pues permite conocer las características físico-mecánicas de la especie estudiada (Tabla 5.14).

También es apta para pilotes, tablestacas y horcones, así como para otros elementos estructurales como vigas, columnas, muros y pisos en estructuras de madera o mixtas.

**Tabla 5.14**  
**Ficha técnica especie maderable Miso Colorado.**

<b>MISO COLORADO</b>	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA ESPECIE</b>	
Nombre Científico :	Couratari macrosperma A. C. Smith Lecythidaceae
Familia:	Lecythidaceae
Nombre Comercial:	miso colorado, pancho, bitumbo, tauri, cachimbo, machimango colorado
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	
Densidad Verde (básica)	0,81 g/cm <sup>3</sup>
Densidad al 12% de humedad	0,79 g/cm <sup>3</sup>
Densidad Anhidra	0,75 g/cm <sup>3</sup>
Peso específico básico	0,68
Peso específico al 12% de humedad	0,71
Contracción volumétrica	9,03
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>	
<b>Flexión Estática</b>	
Modulo de Ruptura (MOR)	1290,48 Kg/cm <sup>2</sup>
Modulo de Elasticidad (MOE)	148036,78 Kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo en el limite de proporcionalidad (ELP)	67,30 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Compresión Paralela a las fibras</b>	
Esfuerzo en el limite de proporcionalidad (ELP)	433,58 Kg/cm <sup>2</sup>
Modulo de Ruptura (MOR)	624,60 Kg/cm <sup>2</sup>
Modulo de Elasticidad (MOE)	684,61 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Compresión Perpendicular a las fibras</b>	
Esfuerzo en el limite de proporcionalidad (ELP)	57,78 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Dureza</b>	
Extremos	716,41
Radial	632,27
Tangencial	606,27
<b>Corte Paralelo a las fibras</b>	
Esfuerzo Máximo de Corte (EMC)	125,48 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Clivaje</b>	
Radial	41,8 Kg/cm <sup>2</sup>
Tangencial	90,60 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Tracción Paralelo a las fibras</b>	
Esfuerzo Ultimo de Tensión (EUT)	1807,02 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Tracción Paralelo a las fibras</b>	
Esfuerzo Máximo (EM) Radial	811,9 Kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo Máximo (EM) Tangencial	301,82 Kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

## 6. CONCLUSIONES.

En el presente trabajo de investigación se recopiló información descriptiva en detalle de las características físicas y mecánicas de la especie maderable Miso Colorado con el nombre científico de *Couratari macrosperma* A. C. Smith Lecythidaceae. Se tomaron dos muestras por árbol de cinco arboles de la especie, haciendo un total de diez muestras.

Para el desarrollo de cada uno de las pruebas físicas y mecánicas de la especie estudiada, se utilizó como base, la norma **ASTM D – 143 – 94 (Reapproved 2000)**<sup>e1</sup> “**Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber** (Práctica Normalizada Para el Muestreo de Árboles Forestales para la Determinación de Propiedades de Madera Libre de Defectos)

De acuerdo a los datos obtenidos del contenido de humedad (C.H.) de la madera, para todos los ensayos de propiedades mecánicas, tuvieron un promedio aproximado al 11%, de acuerdo a las exigencias de la norma ASTM D-143, los ensayos sobre las probetas, deben realizarse con un C.H. del 12%. Podemos decir que los ensayos mecánicos se realizaron dentro los parámetros.

Los valores calculados de coeficiente de variación para los diferentes ensayos de propiedades mecánicas varían desde el 11 hasta el 29%, lo cual podemos inferir que se debe a la preparación propia de cada una de las probetas, de sus dimensiones al momento de realizar los ensayos, de la correcta orientación de los cortes y de la cantidad de madera de albura y de reacción en cada una de las piezas.

Según los resultados obtenidos en los ensayos de propiedades físicas, clasificamos al Miso Colorado de la siguiente manera:

- ✓ En función a la densidad al 12% de CH, 0,79 gr/cm<sup>3</sup>; se clasifica como alta (de 0,76 a 1,00 gr/cm<sup>3</sup>) según Aróstegui y Sato (1975, en Rivero, 2004).
- ✓ Según su densidad anhidra, 0,75 gr/cm<sup>3</sup>; se categoriza como pesada (de 0,71 a 0,86 gr/cm<sup>3</sup>), según Aróstegui y Sato (1975, en Rivero, 2004).
- ✓ Respecto a su peso específico básico, 0,68 gr/cm<sup>3</sup>; se clasifica como madera moderadamente pesada (0,41 a 0,75), según IAWA Comité (1989, en Rivero, 2004).
- ✓ De acuerdo a Vargas (1987, en Rivero, 2004), podemos clasificar la madera en relación a la contracción volumétrica, 9,03%; como baja (9 a 11%).

De acuerdo a las propiedades mecánicas de la especie estudiada se la puede clasificar de la siguiente manera:

- ✓ El MOR según resistencia a flexión estática tiene como valor medio 1.290,48 Kg/cm<sup>2</sup>, de acuerdo a Gutiérrez y Silva (2002), el módulo de ruptura (MOR) del Miso Colorado es alto (de 1.221 a 1.750 kg/cm<sup>2</sup>). En cuanto al MOE, tenemos como resultado 148.036,78 kg/cm<sup>2</sup>, según Gutiérrez y Silva (2002) se clasifica como medio (de 121.000 a 150.000 kg/cm<sup>2</sup>).
- ✓ En compresión paralela a las fibras tenemos como módulo de rotura (MOR) el valor medio de 624,60 kg/cm<sup>2</sup>, de acuerdo a Vargas (1987, en Rivero, 2004), la resistencia a la compresión paralela a las fibras es muy alta (mayor a 500 kg/cm<sup>2</sup>).
- ✓ El esfuerzo en el límite de proporcionalidad (ELP) para compresión perpendicular a las fibras se clasifica como mediana (de 51 kg/cm<sup>2</sup> a 75 kg/cm<sup>2</sup>) según Vargas (1987, en Rivero, 2004); se obtuvo un valor medio de 57,78 kg/cm<sup>2</sup>.

- ✓ Según los resultados obtenidos para la dureza del Miso Colorado en las caras radial y tangencial se obtuvieron valores de 632,27 y 606,27 kg respectivamente, entonces se las clasifica como moderadamente dura (de 501 a 650 Vargas (1987, en Rivero, 2004)); y dura en los extremos (de 650 a 1000) Vargas (1987, en Rivero, 2004) de acuerdo al valor medio de 716,41 kg.
- ✓ Para el corte paralelo a las fibras tenemos un esfuerzo máximo de corte (EMC) de 125,48 kg/cm<sup>2</sup>, de acuerdo a Vargas (1987, en Rivero, 2004), el corte paralelo a las fibras es alto (de 121 a 175 kg/cm<sup>2</sup>).

Para la clasificación de estas especies dentro de los parámetros de la madera estructural, de acuerdo a la sección 2.6, la especie en estudio, tiene una densidad básica de 0,81 gr/cm<sup>3</sup>, lo que hace que esta corresponda al Grupo A Madera de mayor resistencia.

De acuerdo a todas las clasificaciones descritas concluimos que la especie maderable estudiada es buena especie maderable estructural y es apta para su uso en construcciones civiles.

*Christian Alex Veneros Ordoñez*

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ASTM D 143-94, A. S. (2000). *Standar Methods of Testing Small clear Specimen of Timber*. Philadelphia: ASTM D 143-94.
- Bárceñas Pazos, G. (primavera de 1995). Caracterización tecnológica de veinte especies maderables de la Selva Lacandona México. *Madera y Bosques*, 1(1), 9 - 38.
- Carreira, M. R. (2003). *Critérios Para Classificação Visual De Peças Estruturais De Pinus Sp. Tesis Maestría en Ingeniería de Estructuras*. Brasil: Universidade de Sao Paulo.
- Cobos Fischer, J., & León Rodríguez, X. (2007). *Propiedades Físicas-Mecánicas De La Guadua Angustifolia Kunth Y Aplicación Al Diseño De Baterías Sanitarias Del Iasa II*. Tesis de Licenciatura, Escuela Politécnica del Ejército., Ecuador.
- ConfederacionPeruana de la Madera. (2008). *Compendio De Información Técnica De 32 Especies Forestales. Tomo II*. Perú: Ministerio de Producción. .
- CORMA. (S/f). *La construccion de viviendas de madera*. CORMA.
- Crespo Gutiérrez, R. S., Jiménez Romero, E. M., Suatunce Cunuhay, P., Law Blanco, G., & Sánchez Fonseca, C. (2006). *Análisis Comparativo de las Propiedades Físico-Mecánicas de. Los Rios* , Ecuador: División Forestal, Unidad de Investigación Científica y Tecnológica, Universidad Técnica Estatal de Quevedo / Escuela de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- FEJAD. (2000). *Modulo 9 - Investigacion Educativa y Tesis de Grado*. La Paz, Bolivia: FEJAD.

- Fundacion Jose Manuel Pando. (2003). *Estudio Sobre Especies Forestables Maderables no Tradicionales en la REgión de Pando*. Documento Técnico, BOLFOR.
- González G. (2007). *Clasificación mediante técnicas no Destructivas y evaluación de las Propiedades mecánicas de la madera Aserrada de coníferas de gran Escuadría para uso estructural*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Gutiérrez Rojas, V. H., & Silva Sandoval, J. (2002). *Información técnica para el procesamiento industrial de 134 especies maderables de Bolivia*. La Paz, Bolivia: Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. Plan de Acción Forestal para Bolivia / Gobierno del Reino Unido de los Países Bajos / Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) / IBAMA.
- Hermoso Prieto, E. (2007). *Determinación de la capacidad Resistente de la madera Estructural de gran escuadría y Su aplicación en estructuras Existentes de madera de conífera*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Herrero, M. E. (2003). *Determinación de la capacidad resistente de la madera estructural de gran escuadría y su aplicación en estructuras existentes de madera de conífera*. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- ICONTEC, I. C. (1997). *Norma Técnica Colombiana NTC 2500*. Bogota: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- JDBlab. (s.f.). *Manual de Ensayos*. JDBlab.
- JUNAC, J. d. (1984). *Manual de diseño para maderas del Grupo Andino*. Lima: JUNAC.
- Lazo de la Vega Valenzuela, M. C., Navia Miranda, F., Veneros Ordoñez, C. A., & Yugar Ortiz, D. A. (2013). *Maderas de la Amazonia boliviana: Capacidades resistentes y*

*propiedades elasticas de cinco especies maderables*. Pando: Universidad Amazonica de Pando; Fundacion PIEB.

Materials, A. S. (2000). Standard methods of testing small clear specimens of timber: ASTM D 143-94. 31.

Materials, A. S. (2004). Standard Practice for Sampling Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties: ASTM D 5536-94. 9.

Rivas Boch, C. L., & Joachin Bautista, J. C. (2006). *Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de cuatro especies de madera del Petén*. Tesis de Licenciatura, Universida de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Rivero Moreno, J. (2004). *Propiedades Físico-Mecánicas de GmelinaarboreaRoxb. y TecnonagrandisLinn.*

Vaca, D. K., Torrico, G., & Peralta, R. (2002). Ecología de Especies Maderables Menos Conocidas en el Departamento de Pando.

# **8. ANEXOS**

**ANEXO. A**

**Resultado De Los Ensayos De Propiedades Físicas**

Tabla: 1

*Resultado de los ensayos de propiedades físicas del Miso Colorado*

<b>Referencia</b>	<b>Densidad verde</b>	<b>Densidad al 12 %</b>	<b>Densidad anhidra</b>	<b>Peso específico básico</b>	<b>Peso específico al 12% ch</b>	<b>Contracción volumétrica</b>
	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )			
<b>MC-3</b>	0,75	0,73	0,69	0,63	0,66	8,46
<b>MC-4</b>	0,80	0,78	0,73	0,67	0,70	7,84
<b>MC- 6</b>	0,69	0,65	0,61	0,56	0,59	8,31
<b>MC-8</b>	0,84	0,82	0,78	0,71	0,74	9,16
<b>MC-9</b>	0,85	0,82	0,78	0,71	0,74	9,75
<b>MC-10</b>	0,90	0,90	0,86	0,77	0,81	10,36
<b>MC-11</b>	0,84	0,83	0,79	0,71	0,75	9,60
<b>MC-12</b>	0,88	0,86	0,82	0,74	0,78	8,93
<b>MC-13</b>	0,74	0,71	0,68	0,62	0,64	8,88
<b>Interpretación Estadística</b>						
<b>Promedio</b>	0,81	0,79	0,75	0,68	0,71	9,03
<b>Desviación estándar</b>	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,78
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	8,80	9,87	10,50	9,89	9,93	8,67
<b>Valor máximo</b>	0,90	0,90	0,86	0,77	0,81	10,36
<b>Valor mínimo</b>	0,69	0,65	0,61	0,56	0,59	7,84

**ANEXO. B.**

**Resultados del Ensayo de Flexión Estática**

*Tabla: 2*  
*Resultados Obtenidos del Módulo de Ruptura (MOR)*

<b>Referencia</b>	<b>luz entre apoyos</b>	<b>Carga Máxima</b>	<b>Ancho de probeta</b>	<b>Altura de probeta</b>	<b>MOR</b>
	(cm)	(Kg)	(cm)	(cm)	(Kg/cm <sup>2</sup> )
MC-1-FXE	36,00	512,12	2,509	2,504	1.757,91
MC-2-FXE	36,00	509,56	2,561	2,568	1.629,26
MC-3-FXE	36,00	358,44	2,507	2,51	1.225,49
MC-4-FXE	36,00	411,42	2,528	2,522	1.381,69
MC.6-FXE	36,00	270,51	2,512	2,533	906,33
MC.8-FXE	36,00	405,90	2,506	2,52	1.377,31
MC.9-FXE	36,00	337,64	2,558	2,565	1.083,36
MC.10-FXE	36,00	454,71	2,5	2,506	1.563,96
MC.11-FXE	36,00	414,10	2,527	2,508	1.406,82
MC.12-FXE	36,00	354,41	2,523	2,511	1.203,06
MC.13-FXE	36,00	209,2	2,571	2,58	660,11
<b>Análisis estadístico</b>					
<b>Media</b>	36,00	385,27	2,53	2,53	1.290,48
<b>Desviación estándar</b>	0	92,96	0,02	0,03	322,05
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	0	24,13	0,98	1,11	24,96
<b>Máximo valor</b>	36,00	512,12	2,57	2,58	1.757,91
<b>Mínimo valor</b>	36,00	209,20	2,50	2,50	660,11

**Tabla: 3.**  
**Resultados Obtenidos del Módulo de Elasticidad (MOE)**

<b>Referencia</b>	<b>luz entre apoyos</b>	<b>Ancho de probeta</b>	<b>Altura de probeta</b>	<b>CLP</b>	<b>DLP</b>	<b>MOE</b>	<b>MOE</b>
	(cm)	(cm)	(cm)	(kg)	cm	(Kg/cm2)	(Mpa)
<b>MC-1-FXE</b>	36,00	2,51	2,50	290,55	0,49	174509,00	17114,10
<b>MC-2-FXE</b>	36,00	2,56	2,57	274,28	0,45	165391,11	16219,91
<b>MC-3-FXE</b>	36,00	2,51	2,51	193,07	0,42	134928,82	13232,47
<b>MC-4-FXE</b>	36,00	2,53	2,52	215,93	0,42	147525,16	14467,79
<b>MC.6-FXE</b>	36,00	2,51	2,53	103,53	0,24	123762,94	12137,43
<b>MC.8-FXE</b>	36,00	2,51	2,52	228,70	0,42	160281,31	15718,79
<b>MC.9-FXE</b>	36,00	2,56	2,57	138,08	0,24	158762,45	15569,83
<b>MC.10-FXE</b>	36,00	2,50	2,51	241,74	0,41	174369,69	17100,44
<b>MC.11-FXE</b>	36,00	2,53	2,51	249,94	0,46	160725,22	15762,32
<b>MC.12-FXE</b>	36,00	2,52	2,51	206,65	0,40	151997,00	14906,35
<b>MC.13-FXE</b>	36,00	2,57	2,58	108,10	0,38	76151,90	14906,35
<b>Análisis Estadístico</b>							
<b>Media</b>	36	2,53	2,53	204,60	0,39	148.036,78	15.194,16
<b>Desviación estándar</b>	0	0,02	0,03	63,62	0,08	28.400,28	1.516,46
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	0	0,98	1,11	31,10	21,06	19,18	9,98
<b>Máximo valor</b>	36	2,57	2,58	290,55	0,49	174.509,00	17.114,10
<b>Mínimo valor</b>	36	2,50	2,50	103,53	0,24	76.151,90	12.137,43

**Tabla: 4.**

**Resultados Obtenidos del Esfuerzo en el Límite de Proporcionalidad (ELP)**

<b>Referencia</b>	<b>luz entre apoyos</b>	<b>CLP</b>	<b>Ancho de probetas</b>	<b>Altura probeta</b>	<b>ELP</b>	<b>ELP</b>
	(cm)	(kg)	(cm)	(cm)	(Kg/cm2)	(Mpa)
<b>MC-1-FXE</b>	36,00	290,55	2,509	2,504	997,34	97,81
<b>MC-2-FXE</b>	36,00	274,28	2,561	2,568	876,98	86,01
<b>MC-3-FXE</b>	36,00	193,07	2,507	2,51	660,10	64,74
<b>MC-4-FXE</b>	36,00	215,93	2,528	2,522	725,17	71,12
<b>MC.6-FXE</b>	36,00	103,53	2,512	2,533	346,87	34,02
<b>MC.8-FXE</b>	36,00	228,70	2,506	2,52	776,03	76,11
<b>MC.9-FXE</b>	36,00	138,08	2,558	2,565	443,05	43,45
<b>MC.10-FXE</b>	36,00	241,74	2,5	2,506	831,46	81,54
<b>MC.11-FXE</b>	36,00	249,94	2,527	2,508	849,12	83,27
<b>MC.12-FXE</b>	36,00	206,65	2,523	2,511	701,49	68,79
<b>MC.13-FXE</b>	36,00	108,1	2,571	2,58	341,10	33,45
<b>Análisis Estadístico</b>						
<b>Media</b>		204,60	2,53	2,53	686,24	67,30
<b>Desviación estándar</b>		63,62	0,02	0,03	220,16	21,59
<b>Coefficiente de variación (%)</b>		31,10	0,98	1,11	32,08	32,08
<b>Máximo valor</b>		290,55	2,57	2,58	997,34	97,81
<b>Mínimo valor</b>		103,53	2,50	2,50	341,10	33,45

## Resultados del Ensayo de Compresión Paralela a las Fibras

**Tabla: 5**  
**Resultados Obtenidos del Esfuerzo en el Límite de Proporcionalidad (ELP)**

<b>Referencia</b>	<b>CLP</b> (kg)	<b>Ancho de probetas</b> (cm)	<b>Espesor de probetas</b> (cm)	<b>ELP</b> (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>ELP</b> (Mpa)
<b>MC-1-COMPA</b>	2.830,84	2,519	2,490	451,320	44,261
<b>MC-2-COMPA</b>	3.037,62	2,558	2,555	464,770	45,580
<b>MC-3-COMPA</b>	2.851,41	2,517	2,536	446,710	43,809
<b>MC-4-COMPA</b>	2.984,78	2,526	2,530	467,040	45,803
<b>MC.6-COMPA</b>	2.552,79	2,518	2,516	402,950	39,517
<b>MC.8-COMPA</b>	2.864,05	2,520	2,529	449,400	44,073
<b>MC.9-COMPA</b>	2.756,76	2,531	2,533	430,000	42,170
<b>MC.10-COMPA</b>	3.100,00	2,513	2,529	487,780	47,837
<b>MC.11-COMPA</b>	3.280,17	2,542	2,544	507,230	49,744
<b>MC.12-COMPA</b>	2.151,19	2,550	2,552	330,570	32,419
<b>MC.13-COMPA</b>	2158,59	2,553	2,550	331,570	32,517
<b>Análisis Estadístico</b>					
<b>Media</b>	2.778,93	2,532	2,533	433,576	42,521
<b>Desviación estándar</b>	361,85	0,016	0,019	57,585	5,647
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	13,02	0,646	0,733	13,281	13,281
<b>Máximo valor</b>	3.280,17	2,558	2,555	507,230	49,744
<b>Mínimo valor</b>	2.151,19	2,513	2,490	330,570	32,419

**Tabla: 6**  
**Resultados Obtenidos del Módulo de Ruptura (MOR)**

<b>Referencia</b>	<b>Carga Máxima</b>	<b>Ancho de probeta</b>	<b>Espesor de probeta</b>	<b>MOR</b>	<b>MOR</b>
	(Kg)	(cm)	(cm)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Mpa)
<b>MC-1-COMPA</b>	4.998,30	2,519	2,49	796,88	78,15
<b>MC-2-COMPA</b>	5.284,81	2,558	2,555	808,61	79,30
<b>MC-3-COMPA</b>	3.807,61	2,517	2,536	596,51	58,50
<b>MC-4-COMPA</b>	4.470,05	2,526	2,53	699,45	68,60
<b>MC.6-COMPA</b>	3.219,26	2,518	2,516	508,15	49,83
<b>MC.8-COMPA</b>	3.847,01	2,52	2,529	603,63	59,20
<b>MC.9-COMPA</b>	3.543,69	2,531	2,533	552,75	54,21
<b>MC.10-COMPA</b>	4.358,99	2,513	2,529	685,87	67,26
<b>MC.11-COMPA</b>	4.271,33	2,542	2,544	660,50	64,77
<b>MC.12-COMPA</b>	3.020,28	2,55	2,552	464,12	45,52
<b>MC.13-COMPA</b>	3216,84	2,553	2,55	494,13	48,46
<b>Análisis Estadístico</b>					
<b>Media</b>	4.003,47	2,53	2,53	624,60	61,25
<b>Desviación estándar</b>	743,10	0,02	0,02	117,01	11,48
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	18,56	0,65	0,73	18,73	18,73
<b>Máximo valor</b>	5.284,81	2,56	2,56	808,61	79,30
<b>Mínimo valor</b>	3.020,28	2,51	2,49	464,12	45,52

**Tabla: 7**  
**Resultados Obtenidos del Módulo de Elasticidad (MOE)**

<b>Referencia</b>	<b>L</b>	<b>Ancho de probeta</b>	<b>Altura de probeta</b>	<b>ELP</b>	<b>DLP</b>	<b>MOE</b>	<b>MOE</b>
	(cm)	(cm)	(cm)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	cm	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Mpa)
<b>MC-1-COMPA</b>	9,88	2,519	2,49	451,32	1,270	559,84	54,90
<b>MC-2-COMPA</b>	9,89	2,558	2,555	464,77	0,860	818,11	80,23
<b>MC-3-COMPA</b>	9,82	2,517	2,536	446,71	0,810	848,11	83,17
<b>MC-4-COMPA</b>	9,90	2,526	2,53	467,04	1,090	663,47	65,07
<b>MC.6-COMPA</b>	9,86	2,518	2,516	402,95	1,380	454,24	44,55
<b>MC.8-COMPA</b>	10,00	2,52	2,529	449,40	0,990	712,51	69,88
<b>MC.9-COMPA</b>	9,85	2,531	2,533	430,00	0,760	869,22	85,24
<b>MC.10-COMPA</b>	9,86	2,513	2,529	487,78	1,030	734,50	72,03
<b>MC.11-COMPA</b>	9,93	2,542	2,544	507,23	1,180	660,07	64,73
<b>MC.12-COMPA</b>	9,86	2,55	2,552	330,57	1,030	486,13	47,67
<b>MC.13-COMPA</b>	9,82	2,553	2,55	331,57	0,690	724,52	71,05
<b>Análisis Estadístico</b>							
<b>Media</b>		2,53	2,53	433,58	1,01	684,61	67,14
<b>Desviación estándar</b>		0,02	0,02	57,58	0,22	138,77	13,61
<b>Coefficiente de variación (%)</b>		0,65	0,73	13,28	21,47	20,27	20,27
<b>Máximo valor</b>		2,56	2,56	507,23	1,38	869,22	85,24
<b>Mínimo valor</b>		2,51	2,49	330,57	0,69	454,24	44,55

## Resultados del Ensayo de Compresión Perpendicular a las Fibras

**Tabla: 8.**  
**Resultados Obtenidos del Esfuerzo en el Límite de Proporcionalidad (ELP)**

<b>Codificación</b>	<b>Ancho probeta</b>	<b>Espesor probeta</b>	<b>C. L. P.</b>	<b>E.L.P.</b>	<b>E.L.P.</b>
	(cm)	(cm)	(Kg)	(Kg /cm <sup>2</sup> )	(Mpa)
<b>MC-3-COMPE</b>	5,020	4,790	1.859,57	77,33	7,58
<b>MC-6-COMPE</b>	5,010	5,000	1.544,02	61,64	6,04
<b>MC-8-COMPE</b>	5,020	5,000	1.671,88	66,61	6,53
<b>MC-9-COMPE</b>	5,030	5,030	1.741,53	68,83	6,75
<b>MC-10-COMPE</b>	5,040	5,010	1.142,96	45,27	4,44
<b>MC-11-COMPE</b>	4,990	5,040	1.057,18	42,04	4,12
<b>MC-12-COMPE</b>	5,030	5,040	1.015,77	40,07	3,93
<b>MC-13-COMPE</b>	5,060	5,030	1.538,10	60,43	5,93
<b>Análisis Estadístico</b>					
<b>Media</b>	5,03	4,99	1.446,38	57,78	5,67
<b>Desviación estándar</b>	0,02	0,08	328,55	13,75	1,35
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	0,41	1,67	22,72	23,79	23,79
<b>Máximo valor</b>	5,06	5,04	1.859,57	77,33	7,58
<b>Mínimo valor</b>	4,99	4,79	1.015,77	40,07	3,93

**ANEXO. E.**

**Resultados del Ensayo de Dureza**

**Tabla: 9.**  
**Resultados Obtenidos del Ensayo de Dureza**

Referencia	Extremo 1	Extremo 2	Prom Extremo	Radial 1	Radial 2	Prom. Radial	Tangencial 1	Tangencial 2	Prom. Tangencial
	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
<b>MC-3-DJK</b>	598,97	616,05	607,51	534,98	543,18	539,08	511,18	502,57	506,88
<b>MC-6-DJK</b>	534,44	524,62	529,53	596,02	666,74	631,38	429,03	475,01	452,02
<b>MC-8-DJK</b>	689,05	722,13	705,59	530	549,09	539,55	659,48	464,25	561,87
<b>MC-9-DJK</b>	776,85	760,04	768,45	616,45	626,8	621,63	677,36	635,41	656,39
<b>MC-10-DJK</b>	983,77	1.014,69	999,23	899,33	995,06	947,20	989,15	925,69	957,42
<b>MC-11-DJK</b>	637,16	721,05	679,11	659,21	549,36	604,29	608,25	599,38	603,82
<b>MC-12-DJK</b>	801,59	888,98	845,29	744,85	773,89	759,37	719,98	738,4	729,19
<b>MC-13-DJK</b>	598,97	594,27	596,62	435,48	395,95	415,72	413,84	351,32	382,58
<b>Análisis Estadístico</b>									
<b>Media</b>	702,60	730,23	716,41	627,04	637,51	632,27	626,03	586,50	606,27
<b>Desviación estándar</b>	145,70	160,78	152,10	143,78	181,36	160,54	185,85	181,43	179,93
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	20,74	22,02	21,23	22,93	28,45	25,39	29,69	30,93	29,68
<b>Máximo valor</b>	983,77	1.014,69	999,23	899,33	995,06	947,20	989,15	925,69	957,42
<b>Mínimo valor</b>	534,44	524,62	529,53	435,48	395,95	415,72	413,84	351,32	382,58

## Resultados del Ensayo Corte Paralelo a las Fibras

Tabla: 10.

Resultados Obtenidos del Esfuerzo Máximo de Corte (EMC)

<b>Codificación</b>	<b>Ancho probeta</b>	<b>Espesor probeta</b>	<b>P</b>	<b>E.M.C.</b>	<b>E.M.C.</b>
	(cm)	(cm)	(Kg)	(Kg /cm <sup>2</sup> )	(Mpa)
<b>MC-1-CORPA</b>	5,050	4,900	3.634,71	146,89	14,40
<b>MC-2-CORPA</b>	5,030	5,020	3.809,90	150,88	14,80
<b>MC-3-CORPA</b>	5,060	5,020	2.961,25	116,58	11,43
<b>MC-4-CORPA</b>	5,040	4,990	3.943,00	156,78	15,38
<b>MC.6-CORPA</b>	5,050	5,000	2.825,86	111,92	10,98
<b>MC.8-CORPA</b>	5,130	4,990	3.611,05	141,06	13,83
<b>MC.9-CORPA</b>	5,050	4,980	2.369,94	94,24	9,24
<b>MC.10-CORPA</b>	5,080	5,030	2.617,06	102,42	10,04
<b>MC.11-CORPA</b>	5,060	5,000	3.210,66	126,90	12,44
<b>MC.12-CORPA</b>	5,090	5,040	3.368,90	131,32	12,88
<b>MC.13-CORPA</b>	5,07	5,01	2572,42	101,27	9,93
<b>Interpretación Estadística</b>					
<b>Media</b>	5,06	5,00	3.174,98	125,48	12,31
<b>Desviación estándar</b>	0,03	0,04	540,68	21,72	2,13
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	0,55	0,75	17,03	17,31	17,31
<b>Máximo valor</b>	5,13	5,04	3.943,00	156,78	15,38
<b>Mínimo valor</b>	5,03	4,90	2.369,94	94,24	9,24

**ANEXO. G.**

**Resultados del Ensayo de Clivaje**

**Tabla: 11.**  
**Resultados Obtenidos del Clivaje sobre Cara Radial**

<b>Codificación</b>	<b>Ancho probeta</b>	<b>P</b>	<b>Rc</b>	<b>Rc</b>
	(cm)	(Kg)	(Kg /cm2)	(Mpa)
<b>MC-2-CLVR</b>	5,00	239,70	47,94	4,70
<b>MC-8-CLVR</b>	4,94	219,70	44,47	4,36
<b>MC-9-CLVR</b>	4,97	191,70	38,57	3,78
<b>MC-12-CLVR</b>	4,87	201,60	41,40	4,06
<b>MC-13-CLVR</b>	4,98	182,30	36,61	3,59
<b>Interpretación Estadística</b>				
<b>Media</b>	4,95	207,00	41,80	4,10
<b>Desviación estándar</b>	0,05	22,93	4,54	0,45
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	1,02	11,08	10,86	10,86
<b>Máximo valor</b>	5,00	239,70	47,94	4,70
<b>Mínimo valor</b>	4,87	182,30	36,61	3,59

**Tabla: 12.**

**Resultados Obtenidos del Clivaje sobre Cara Tangencial**

<b>Codificación</b>	<b>Ancho probeta</b>	<b>P</b>	<b>Rc</b>	<b>Rc</b>
	(cm)	(Kg)	(Kg /cm <sup>2</sup> )	(Mpa)
<b>MC-2-CLVT</b>	5,03	169,90	33,78	3,31
<b>MC-8-CLVT</b>	5,00	315,90	63,18	6,20
<b>MC-9-CLVT</b>	4,95	634,80	128,24	12,58
<b>MC-12-CLVT</b>	4,96	526,00	106,05	10,40
<b>MC-13-CLVT</b>	5,02	611,20	121,75	11,94
<b>Interpretación Estadística</b>				
<b>Media</b>	4,99	451,56	90,60	8,88
<b>Desviación estándar</b>	0,04	201,46	40,64	3,99
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	0,71	44,61	44,86	44,86
<b>Máximo valor</b>	5,03	634,80	128,24	12,58
<b>Mínimo valor</b>	4,95	169,90	33,78	3,31

**ANEXO. H.****Resultados del Ensayo Tracción Paralela a las Fibras****Tabla: 13.****Resultados Obtenidos del *Esfuerzo Ultimo a la Tracción (EUT)***

<b>Referencia</b>	<b>Carga Máxima</b>	<b>Área sección mínima</b>	<b>E.U.T</b>
	(Kg)	(cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>MC-1-TRAPA</b>	1.096,30	0,46	2.383,26
<b>MC-2-TRAPA</b>	945,00	0,49	1.928,57
<b>MC-3-TRAPA</b>	833,00	0,49	1.700,00
<b>MC-8-TRAPA</b>	1.129,90	0,51	2.215,49
<b>MC-9-COMPE</b>	653,50	0,50	1.307,00
<b>MC-10-COMPE</b>	618,40	0,54	1.145,19
<b>MC-11-COMPE</b>	1.131,90	0,49	2.310,00
<b>MC-12-COMPE</b>	865,50	0,52	1.664,42
<b>MC-13-COMPE</b>	852,90	0,53	1.609,25
<b>Evaluación Estadística</b>			
<b>Media</b>	902,93	0,50	1.807,02
<b>Desviación estándar</b>	192,05	0,02	436,69
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	21,27	4,87	24,17
<b>Máximo valor</b>	1.131,90	0,54	2.383,26
<b>Mínimo valor</b>	618,40	0,46	1.145,19

**ANEXO. I.****Resultados del Ensayo Tracción Perpendicular a las Fibras**

*Tabla: 14.  
Resultados Obtenidos del Esfuerzo Máximo (EM) Sobre Cara Radial*

<b>Codificación</b>	<b>ÁREA</b> (cm <sup>2</sup> )	<b>Carga Máxima</b> (Kg)	<b>EM</b> (Kg /cm <sup>2</sup> )	<b>EM</b> (Mpa)
<b>MC-2-TPR</b>	12,280	338,70	27,58	2,70
<b>MC-8-TPR</b>	12,100	372,50	30,79	3,02
<b>MC-9-TPR</b>	11,940	227,30	19,04	1,87
<b>MC-12-TPR</b>	12,100	329,30	27,21	2,67
<b>MC-13-TPR</b>	12,060	241,30	20,01	1,96
<b>Análisis Estadístico</b>				
<b>Media</b>	12,10	301,82	24,93	2,44
<b>Desviación estándar</b>	0,12	63,89	5,14	0,50
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	1,01	21,17	20,60	20,60
<b>Máximo valor</b>	12,28	372,50	30,79	3,02
<b>Mínimo valor</b>	11,94	227,30	19,04	1,87

**Tabla: 15.**

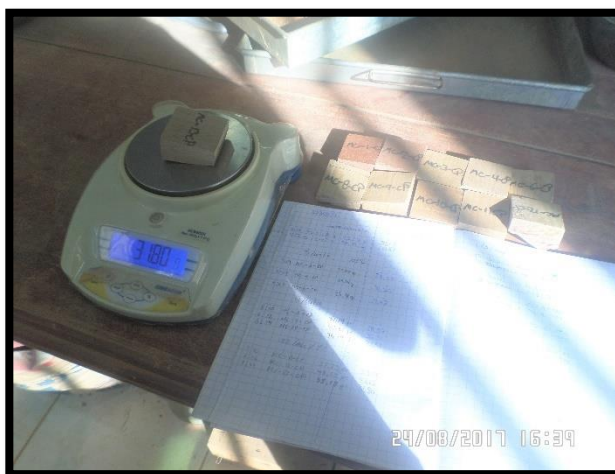
**Resultados Obtenidos del Esfuerzo Máximo (EM) Sobre Cara Tangencial**

<b>Codificación</b>	<b>ÁREA</b> (cm <sup>2</sup> )	<b>Carga Máxima</b> (Kg)	<b>EM</b> (Kg /cm <sup>2</sup> )	<b>EM</b> (Mpa)
<b>MC-2TPT</b>	12,190	623,10	51,12	5,01
<b>MC-8-TPT</b>	11,770	690,10	58,63	5,75
<b>MC-9-TPT</b>	12,280	997,40	81,22	7,97
<b>MC-12-TPT</b>	12,100	880,70	72,79	7,14
<b>MC-13-TPT</b>	12,130	868,20	71,57	7,02
<b>Análisis Estadístico</b>				
<b>Media</b>	12,09	811,90	67,07	6,58
<b>Desviación estándar</b>	0,19	152,31	12,03	1,18
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	1,60	18,76	17,94	17,94
<b>Máximo valor</b>	12,28	997,40	81,22	7,97
<b>Mínimo valor</b>	11,77	623,10	51,12	5,01

## ANEXO. J.

### Fotografías de Ensayos Realizados

Fotografía. 1 Determinación del Contenido de Humedad con Probetas de Tracción Perpendicular



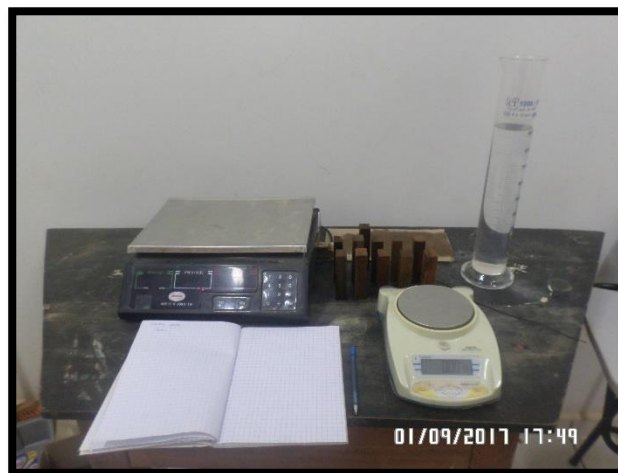
Fotografía. 2 . Secado de Probetas Para Determinar Contenidos de Humedad



Fotografía. 3 Comparación De Humedades Con Ayuda De Un Xilohigrometro



Fotografía. 4 Equipo, Para Determinación De Densidades



Fotografía. 5 Ensayo De Flexión Estática. Se Observa Falla Por Tensión Simple



Fotografía. 6 Ensayo De Flexión Estática. Se Observa Falla Por Tensión Transversal a las Fibras



Fotografía. 8 Ensayo De Compresión Paralela a las Fibras. Disposición de Probeta



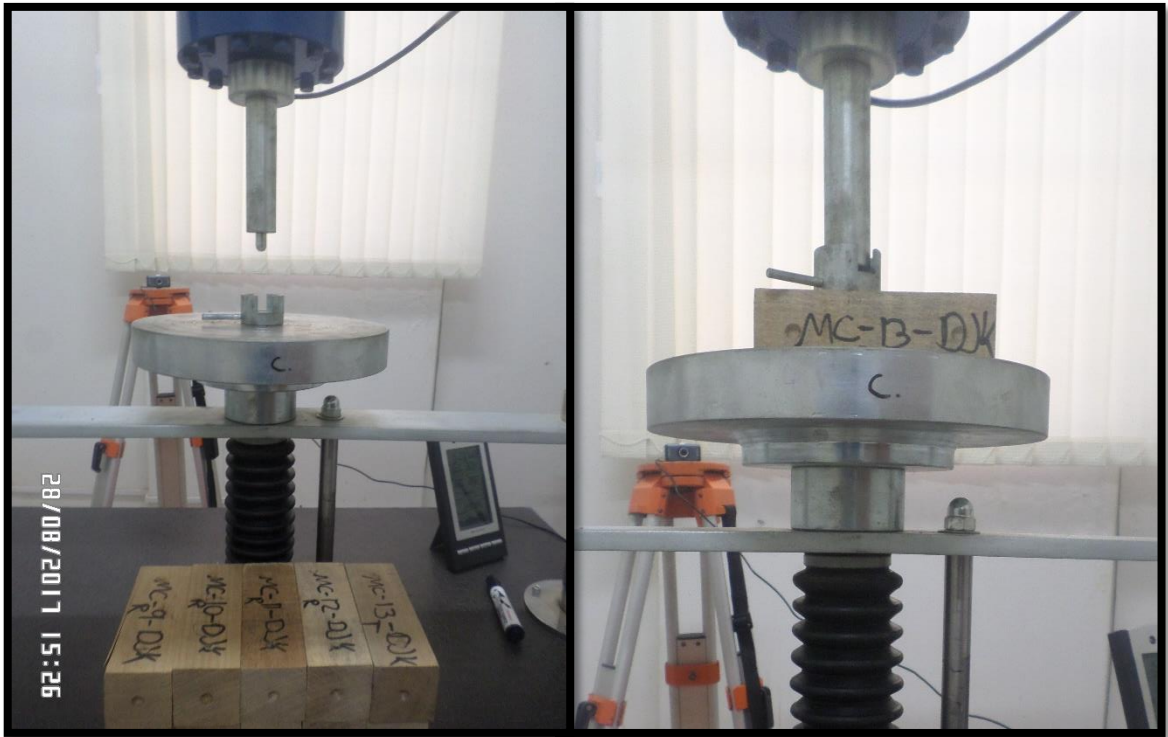
Fotografía. 9 Ensayo De Compresión Paralela a las Fibras. Falla por Cizallamiento



Fotografía. 7 Ensayo de Dureza Método Janka



Fotografía. 10 Ensayo De Compresión Perpendicular a las Fibras. Disposición de Probeta



Fotografía. 11 Ensayo De Corte Paralelo a las Fibras. Desarrollo del Ensayo. Falla por corte



Fotografía. 12 Ensayo De Clivaje. Cara Tangencial



Fotografía. 13 Ensayo De Clivaje. Cara Radial



Fotografía. 14 Ensayo De Tracción Paralela a las Fibras



Fotografía. 15 Desarrollo del Ensayo De Tracción Perpendicular a las Fibras



**ANEXO. K.****Resumen de encuestas realizadas año 2013**

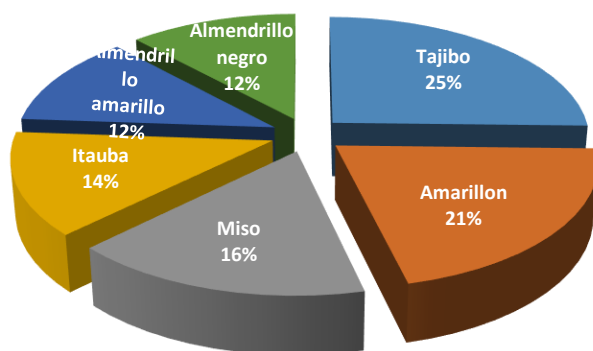
(Fuente: equipo de investigación. Maderas de la amazonia boliviana)

**ENCUESTA APLICADA EMPRESAS CONSTRUCTORAS**

Las empresas constructoras encuestadas fueron: Empresa Constructora Luzio, Empresa Constructora Ficom, Empresa Constructora Alex, Empresa Constructora Andamaz, Empresa Constructora Covas, Empresa Constructora J & M, Empresa Constructora Garbos, Empresa Constructora Cumarú, Empresa Constructora Palmon, Empresa Constructora Rio de Leon, Empresa Constructora San Juan, Empresa Constructora Conepex, Empresa Constructora Econavia, Empresa Constructora Ingemo, Empresa Constructora y G & G.

Las cinco preguntas relacionadas al trabajo de investigación fueron:

1. **¿Qué especie maderable estructural es la que más se usa en la industria de la construcción? Nombre por lo menos cinco especies.**

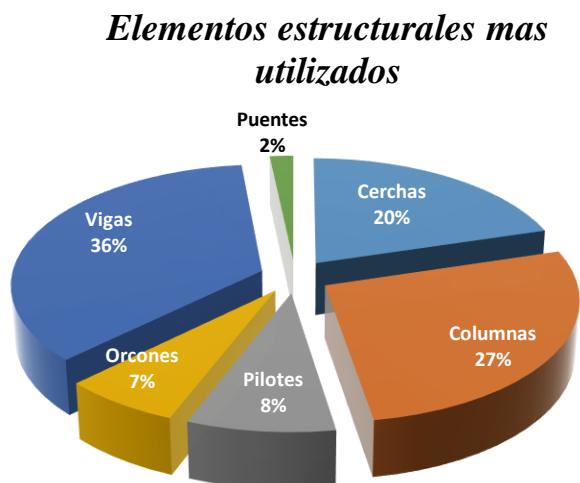
**6 especies mas demandadas**

Tajibo	<b>17</b>
Amarillón	<b>14</b>
Miso	<b>11</b>
Itaúba	<b>9</b>
Almendrillo amarillo	<b>8</b>
Almendrillo negro	<b>8</b>

Fuente: propia

Estos resultados corroboran los resultados de las especies maderables más demandadas en la encuesta/entrevista en empresas madereras, aserraderos y barracas.

2. En qué tipo de elementos estructurales (vigas, columnas, cerchas u otros) se usan las especies maderables indicadas en el inciso 1?



Cerchas	12
Columnas	16
Pilotes	5
Horcones	4
Vigas	21
Puentes	1

Especies Maderables	Veces nombrada
Tajibo	17
Amarillón	11
Marfil	8
Miso	7
Almendrillo amarillo	7
Almendrillo negro	7

Fuente propia

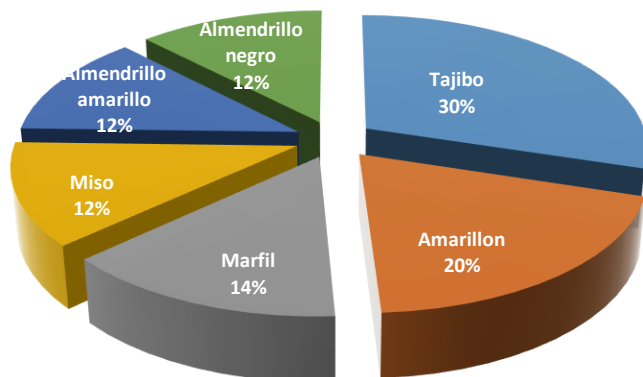
Realizando el análisis estadístico de todas las encuestas para la pregunta número 2, se deduce lo siguiente: En el Departamento Pando la madera, como elemento estructural, tiene bastante uso, no solo en la construcción de viviendas y galpones, sino, incluso en la construcción de puentes.

3. Que volúmenes aproximados usa de cada especie maderable indicada en el inciso 1?

No se obtuvieron respuestas a esta pregunta.

4. A su criterio, cuáles son las especies maderables estructurales de mejores propiedades físicas y mecánicas de las indicadas en la pregunta 1?

*6 especies maderables  
estructurales de mejores  
propiedades físicas y mecánicas*



Fuente: propia

Realizando el análisis estadístico las especies maderables estructurales que tienen mejores propiedades físico-mecánicas se tiene el siguiente orden de prioridad: tajibo, amarillón, marfil, almendrillo negro, almendrillo amarillo y miso, que son casi coincidentes con la demanda de especies maderables.

5. **Proporcione los costos aproximados de cada especie maderable descrita en la pregunta 1.**

Las respuestas a esta pregunta fueron muy dispersas y de poca confiabilidad.

## ENCUESTA APLICADA A PROFESIONALES LIGADOS A LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Se aplicaron las encuestas a ingenieros civiles y arquitectos que cumplen funciones en Instituciones públicas y privadas, así como a profesionales libres, cuyas actividades se encuentran relacionadas con la industria de la construcción.

Cabe mencionar que existe un porcentaje considerable de encuestados que no quisieron o no pudieron colaborar con la encuesta, debido a que no trabajan con madera o que desconocen las especies maderables utilizadas en esta parte de la amazonia, por no ser de la región o el departamento.

La encuesta tiene las siguientes interrogantes:

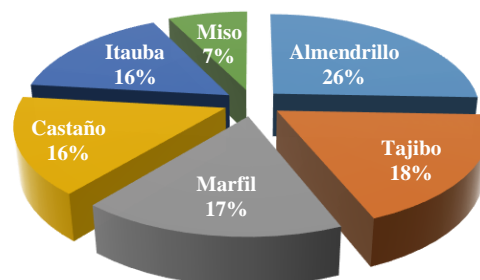
### 1. ¿Qué especie maderable estructural es la que más se usa en la industria de la construcción? Nombre por lo menos cinco especies.

Especie Maderable	Veces Nombrada
Almendrillo	21
Tajibo	15
Cedro	14
Mara	14
Marfil	14
Castaño	13
Itaúba	13
Roble	11
Miso	6
Catuaba	3
Mapajo	3
Mazaranduba	3
Palo Amarillo	3
Tacuara	3
Cedrillo	2
Tumi	2
Pino	2
Otros	12

Especie Maderable	Veces nombrada
Almendrillo	21
Tajibo	15
Marfil	14
Castaño	13
Itaúba	13
Miso	6
Las <b>más</b> usadas	

Fuente: propia

**6 especies maderables mas usadas en la industria de la construccion.**



Como se puede observar, un gran número de respuestas mencionan tipos de maderas que no son de la amazonia boliviana, y otras que se usan en construcción de obras civiles como elementos estructurales.

Para determinar un orden de las especies más empleadas en la construcción se omitió al cedro, tumi, mara y roble, por no ser estas maderas estructurales.

Es interesante observar que, a criterio de los encuestados se sigue usando el castaño, como material de construcción, pese a que su extracción y comercialización se encuentra prohibida por ley.

**2. ¿En qué tipo de elementos estructurales (vigas, columnas, cerchas u otros) se usan las especies maderables indicadas en la pregunta 1?**

Almendrillo	Elementos Estructurales			
	Cerchas	Columnas	Machihembre	Vigas
	3	2	1	2

Cedro	Elementos Estructurales				
	Cerchas	Marcos	Puertas	Ventanas	Vigas
	2	1	1	1	1

Mara	Elementos Estructurales				
	Cerchas	Columnas	Muebles	Puertas	Ventanas
	2	1	2	2	2

Bibose	Cerchas	Cacha	Cerchas
	6		4

Marfil	Elementos Estructurales				
	Cerchas	Machihembre	Marcos	Puertas	Ventanas
	2	1	1	1	1

Mapajo	Encofrado	Mazaranduba	Columna
	1		1

Miso	Elementos Estructurales					
	Cerchas	Encofrados	Marcos	Puertas	Ventanas	Vigas
	1	1	1	1	1	1

Cuchi	Columnas	Itaúba	Columnas
	1		1

Tajibo	Elementos Estructurales			
	Cerchas	Columnas	Machihembre	Vigas
	1	4	1	4

Munuré	Columnas	Ochoa	Cerchas
	1		1

Almendrillo	Elementos Estructurales		
	Mueble	Puertas	Ventanas
	2	1	1

Verdolago	Cerchas	Castaño	Cerchas
	1		3

Urundel	Elementos Estructurales
---------	-------------------------

	Cerco	Postes	Puentes
	1	1	1

Palo Amarillo	Cerchas	Tacuara	Columnas
	1		1

Realizando el análisis estadístico de todas las encuestas para la pregunta número 2, los resultados fueron: El almendrillo y el castaño son más utilizados para la elaboración de cerchas, para columnas el tajibo, para encofrados miso y tajibo y finalmente para vigas la especie más utilizada es el tajibo.

**3. ¿Qué volúmenes aproximados usa de cada especie maderable indicada en la pregunta 1?**

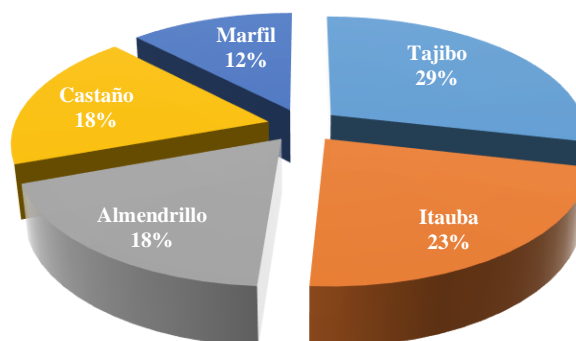
Los encuestados no dieron respuestas a esta pregunta.

**4. ¿A su criterio, cuales son las especies maderables estructurales de mejores propiedades físicas y mecánicas de las indicadas en la pregunta 1?**

Especie Maderable	Veces Nombrada
Tajibo	14
Itaúba	11
Laurel	11
Almendrillo	9
Castaño	9
Mara	8
Marfil	6
Roble	5
Mazaranduba	3
Tacuara	2
Otros	6

Especie Maderable	Veces Nombrada
Tajibo	14
Itaúba	11
Almendrillo	9
Castaño	9
Marfil	6
<b>5 Mejores Especies</b>	

*5 Especies maderables estructurales de mejores propiedades físicas y mecánicas*

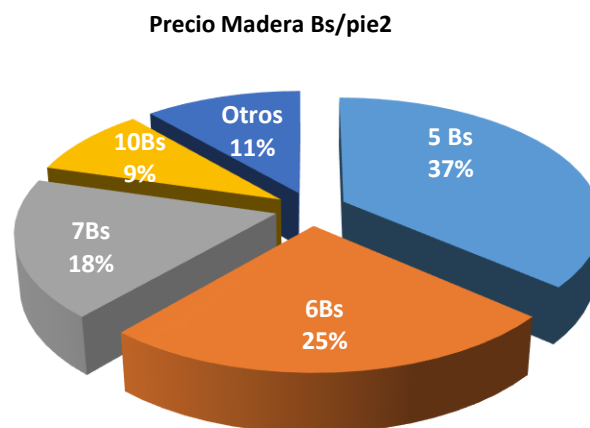


Fuente: propia

Los resultados que nos muestra la gráfica son casi coincidentes con las especies maderables de mayor demanda y corroboran los resultados de las especies más demandadas en las encuestas/entrevista realizadas a empresas madereras, aserraderos y barracas.

5. **Proporcione los costos aproximados de cada especie maderable descrita en la pregunta 1.**

	Precio en Bolivianos por Pie <sup>2</sup>									
	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00
Almendrillo			2	2	2					
Bibose			1							
Castaño			1	1						
Cedro			1							
Itaúba				1	2					
Laurel			1	1	1					
Mara								1		
Marfil				1	2					
Miso		1	1							
Tacuara			1	1						
Tajibo			1	2						

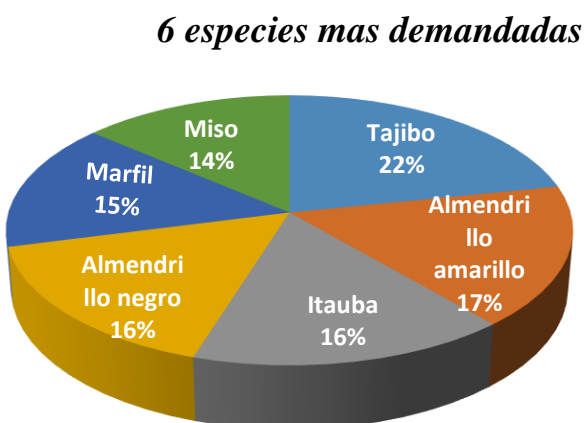


Fuente: propia

Los resultados obtenidos de la pregunta 5 oscilan entre 3 a 12 Bs dependiendo de la especie maderable de que se trate. Las encuestas dieron datos muy dispersos y poco confiables.

En resumen, se evaluó la demanda de las cinco especies maderables estructurales, resultado de las encuestas a empresas madereras, aserraderos, barracas y empresas constructoras, teniendo como resultado lo siguiente, por orden de prioridad: tajibo, almendrillo amarillo, almendrillo negro, itaúba y marfil; siendo estas especies tomadas en cuenta para el trabajo de investigación del Proyecto No. 13 (Capacidades resistentes y propiedades elásticas de cinco especies maderables estructurales de la amazonia boliviana). Estos resultados son corroborados por las encuestas realizadas e profesionales ligados a la industria de la construcción, cuyos resultados fueron de menor confiabilidad.

Tajibo	<b>27</b>
Almendrillo amarillo	<b>21</b>
Itaúba	<b>20</b>
Almendrillo negro	<b>20</b>
Marfil	<b>19</b>



Fuente: propia