



SUBPROYECTO:

“OPCIONES PARA LA PROMOCIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DE MADERAS PROCEDENTES DE PLANTACIONES FORESTALES CON ESPECIES NATIVAS DE LA REGIÓN AMAZÓNICA”

ESTUDIO

**PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL PUMAQUIRO
(*Aspidosperma macrocarpon* Mart.) PROVENIENTE DE PLANTACIONES
DEL BOSQUE NACIONAL ALEXANDER VON HUMBOLDT -
UCAYALI**

ING. JOSÉ ARMANDO PANTIGOSO GARCÍA

LIMA – PERÚ
2009

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE	II
LISTA DE CUADROS	III
LISTA DE FIGURAS	IV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	2
2.2 SILVICULTURA	3
2.3 HÁBITAT Y DISTRIBUCIÓN	3
2.4 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO	4
2.5 DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	4
2.5.1 <i>Características Generales</i>	4
2.5.2 <i>Características Anatómicas</i>	5
2.5.3 <i>Durabilidad Natural</i>	5
2.5.4 <i>Secado y Trabajabilidad</i>	6
2.5.5 <i>Uso de la Madera</i>	6
2.6 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA.....	6
2.6.1 <i>Propiedades Físicas de <i>Aspidosperma macrocarpon</i></i>	6
2.6.2 <i>Propiedades Mecánicas de <i>Aspidosperma macrocarpon</i></i>	7
2.6.3 <i>Clasificación de la Madera según sus propiedades Físicas y Mecánicas</i>	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO	11
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS	11
3.2.1 <i>Especie</i>	11
3.2.2 <i>Equipos de Laboratorio</i>	11
3.2.3 <i>Otros</i>	12
3.3 METODOLOGÍA	12
3.3.1 <i>Colección y selección de muestras</i>	12
3.3.2 <i>Procesamiento de Trozas y preparación de probetas</i>	12
3.3.3 <i>Codificación de probetas</i>	13
3.3.4 <i>Métodos para determinar las Propiedades Físico – Mecánicas</i>	15
3.3.5 <i>Procesamiento de datos y evaluación de resultados</i>	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1 PROPIEDADES FÍSICAS	17
4.1.1 <i>Densidad peso específico y contracción</i>	17
4.1.2 <i>Análisis de regresión y correlación densidad básica – contracción</i>	20
4.1.3 <i>Análisis comparativo de la especie en estudio</i>	20
4.1.4 <i>Clasificación de las propiedades físicas</i>	22
4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS.....	22
4.2.1 <i>Resistencia y rigidez</i>	22
4.2.2 <i>Análisis de regresión y correlación densidad básica – resistencia mecánica</i>	28
4.2.3 <i>Características en el comportamiento de la madera estudiada</i>	29
4.2.4 <i>Análisis comparativo de la especie en estudio</i>	31
4.2.5 <i>Clasificación de las propiedades Mecánicas</i>	31
4.3 APTITUD DE USO.....	32
5. CONCLUSIONES	34
6. RECOMENDACIONES	35

Lista de cuadros

	Página
CUADRO 1 : PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE <i>ASPIDOSPERMA MACROCARPON</i> SEGÚN DIFERENTES AUTORES.....	7
CUADRO 2 : PROPIEDADES MECÁNICAS DE <i>ASPIDOSPERMA MACROCARPON</i> SEÑALADAS POR DIFERENTES AUTORES.....	8
CUADRO 3 : CLASIFICACIÓN DE LAS MADERAS PERUANAS SEGÚN SUS PROPIEDADES FÍSICAS.....	9
CUADRO 4 : CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MADERAS MEXICANAS EN CONDICIÓN SECA AL AIRE (CH = 12%).....	10
CUADRO 5 NÚMERO DE PROBETAS PARA ENSAYOS FÍSICO - MECÁNICOS PARA LA ESPECIE ESTUDIADA.....	14
CUADRO 6 : VALORES PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE ACUERDO AL NIVEL DE CORTE.....	17
CUADRO 7 : VARIABILIDAD DE LA DENSIDAD Y CONTRACCIÓN DE LA MADERA DE PUMAQUIRO....	18
CUADRO 8 : ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS TRES NIVELES ESTUDIADOS.....	18
CUADRO 9 : VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE PUMAQUIRO..	19
CUADRO 10 : COMPARICIÓN DE LOS COEFICIENTES DE VARIACIÓN TOTALES OBTENIDOS CON LOS PRESENTADOS POR EL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS...	19
CUADRO 11 : COEFICIENTES DE CORRELACIÓN, DETERMINACIÓN Y ECUACIONES RESULTANTES DE LAS REGRESIONES LINEALES.....	20
CUADRO 12 : VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACUERDO AL NIVEL DE CORTE.....	23
CUADRO 13 : VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE PUMAQUIRO....	25
CUADRO 14 : ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS TRES NIVELES ESTUDIADOS.....	26
CUADRO 15 : VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE PUMAQUIRO.....	27
CUADRO 16 : COMPARICIÓN DE LOS COEFICIENTES DE VARIACIÓN TOTALES OBTENIDOS CON LOS PRESENTADOS POR EL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS...	28
CUADRO 17 : COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN Y ECUACIONES DE REGRESIÓN LINEAL PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PUMAQUIRO.....	29
CUADRO 18 : CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE <i>ASPIDOSPERMA MACROCARPON</i>	32

Lista de figuras

Página

FIGURA 1	: COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA Y ANHIDRA DE <i>ASPIDOSPERMA MACROCARPON</i>	21
FIGURA 2	: COMPARACIÓN DE LA CONTRACCIÓN TOTAL DE <i>ASPIDOSPERMA MACROCARPON</i>	21
FIGURA 3	: FALLAS TIPO ASTILLADURA EN PROBETAS DE FLEXIÓN ESTÁTICA (VISTA FONDO)....	30
FIGURA 4	: FALLAS ENCONTRADAS EN TENACIDAD.....	30
FIGURA 5	: RESISTENCIA PROMEDIO DE LA MADERA DE PLANTACIÓN DE PUMAQUIRO Y BOSQUE NATURAL AL 12 % DE CONTENIDO DE HUMEDAD.....	31
FIGURA 6	: COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE HUAYRURO, MANCHINGAY COPAIBA PROVENIENTES DE BOSQUE NATURAL CON PUMAQUIRO DE PLANTACIÓN.....	33
FIGURA 7	: COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS (CONDICIÓN 12%) DE COPAIBA, HUAYRURO Y MANCHINGA PROVENIENTES DE BOSQUE NATURAL CON PUMAQUIRO DE PLANTACIÓN.....	33

1. INTRODUCCIÓN

La estación experimental Alexander von Humboldt es una fuente valiosa de información silvicultural de especies forestales nativas la misma que es necesaria para el establecimiento de plantaciones forestales en la región amazónica; asimismo para el desarrollo de estas es necesario que el conocimiento silvicultural este continuado por estudios tecnológicos de la madera; esto para conocer el efecto del manejo silvicultural sobre las características que va a presentar la madera procedente de plantaciones.

Mencionado lo anterior en el marco del proyecto “Opciones para la promoción e innovación tecnológica de maderas procedentes de plantaciones forestales con especies nativas de la región amazónica” el cual tiene por objetivo incrementar el valor económico de las plantaciones de especies forestales nativas en la Amazonía peruana, se encuentra la especie *Aspidosperma macrocarpon* de la cual se tiene conocimiento de su madera procedente de bosque natural la misma que presenta un alto valor comercial y es ampliamente utilizada .

El presente estudio tiene la finalidad de evaluar las propiedades físicas y mecánicas para la especie *Aspidosperma macrocarpon* procedente de plantación de la estación experimental Alexander von Humboldt para proponer los posibles usos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Reynel et al (2003) describe que el árbol tiene un diámetro entre 40 – 100 cm y entre 20 – 40 m de alto, con fuste cilíndrico, la ramificación desde el segundo tercio, la base del fuste recta. La corteza externa agrietada profunda, color marrón; mientras que la corteza interna es homogénea, amarillenta; al cortarla fluye látex blanco muy escaso.

Presenta hojas simples, alternas y dispuestas en espiral, de unos 11 – 18 cm de longitud y 6 – 9 cm de ancho; las inflorescencias en panículas cortas subcapitadas, de unos 5 x 5 cm, usualmente en las ramas desprovistas de hojas, las flores son de mediano tamaño, unos 1,5 – 1,8 cm de longitud, hermafroditas, con cáliz y corola presentes, el pedicelo, presenta frutos del tipo folículos discoides de unos 8 – 15 cm de longitud, dispuestos en pares y erguidos; tienen numerosas semillas membranosas, aladas, circulares, de unos 5,5 – 7 cm de diámetro. Fenología

Según Flores (2004) cita que la floración ocurre entre julio y octubre, durante la época seca. Los frutos tardan en madurar 8 – 10 meses. La diseminación de las semillas ocurre entre agosto y octubre, alcanzando su máxima probabilidad de ocurrencia en setiembre, a principio de la época lluviosa. Las semillas son grandes, carnosas y aladas en forma de escudo

Reynel et al (2003) mencionan registros de floración a fines de la estación seca, entre Agosto – Setiembre, y fructificación a inicios de la estación de lluvias, entre Noviembre – Diciembre. La polinización en el género *Aspidosperma* es posiblemente efectuada por mariposas y algunas veces abejas; además las semillas aladas de esta especie son dispersadas por el viento.

2.2 SILVICULTURA

Reynel et al (2003), indica que la propagación por semillas en esta especie es exitosa, en cuanto al crecimiento menciona una especie de este género, *Aspidosperma schultesii*, ensayada en Jenaro Herrera donde se estableció una plantación con espaciamiento de 2,5 x 4 m, en esta se obtuvo un crecimiento promedio de 8 – 10 cm de diámetro a los 10 – 14 años respectivamente, y alcanzó una altura promedio de 10 m a los 14 años, por otro lado en cuanto a la supervivencia esta fue baja, del 20 % y se sugiere que la plantación debe tener un mantenimiento para obtener óptimos resultado.

Carrera citado por Angulo et al (2004) menciona que *Aspidosperma macrocarpon* presenta un IMA (Incremento medio anual) del Dap de 0,54 cm/ árbol, establecida en fajas de enriquecimientos de 5 m de ancho en bosques residuales evaluadas a una edad de 11,7 años en el Bosque Nacional Alexander Von Humboldt con supervivencia de 53%; el autor concluye que el crecimiento fue menor de lo esperado debido a la falta de mantenimiento en la plantación, sin embargo destaca el crecimiento aceptable para esta especie. Este mismo autor en otro estudio en el mismo Bosque Nacional Alexander Von Humboldt presenta un IMA del Dap de 0,61 cm/ año en fajas de 5 m de ancho y de 1,31 cm/ año en fajas de 10 m a la edad de 9 años, mencionando que se caracteriza por conformar un buen tipo de fuste, pues presenta poda natural.

Wightman et al (2006) cita para Pumaquiro una edad aproximada de corte de 40 años de edad señalando que prefiere sitios con suelos ácidos, con buen drenaje, planos o con poca pendiente señala además que la especie presenta un incremento en diámetro de 1,1 cm por año en promedio en experiencias realizadas en Von Humboldt.

2.3 HÁBITAT Y DISTRIBUCIÓN

Según Reynel et al (2003) *Aspidosperma macrocarpon* se encuentra en bosques húmedos amazónicos de tierras bajas, mayormente por debajo de los 700 msnm; se le observa en zonas con pluviosidad elevada y constante. Es una especie esciófita, característica de bosques primarios, en suelos arcillosos a limosos, fértiles, bien drenados con pedregosidad elevada.

Aróstegui (1974), menciona que esta especie se presenta en las formaciones de Bosque Seco Tropical y Húmedo Tropical en donde es abundante, encontrándose asociada con *Tabebuia capitata*, *Cayocar sp.*, *Inga sp.*, *Jacaranda copaia*, *Schizolobium sp.*, Lauráceas y Burseráceas, en suelos bien drenados no inundables de bosques primarios y secundarios, generalmente hasta los 700 msnm. En el Perú se le ha encontrado en Pucallpa, Iquitos Yurimaguas y Tarapoto.

2.4 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO

La plantación se encuentra ubicada en la estación experimental Alexander von Humboldt dentro del Bosque Nacional Alexander von Humboldt a 225 msnm y 86 km de la ciudad de Pucallpa; entre 8°31'00 – 8°50'30 Sur y 74°14'27 – 74°55'10 O; en el Departamento de Ucayali.

Según Holdrige (1987) el área de estudio incluye las zonas de vida bosque húmedo tropical y bosque muy húmedo tropical.

Flores (2002) indica que la temperatura promedio es de 26°C; la temperatura máxima promedio es de 29°C y la temperatura mínima promedio es de 24°C. La humedad relativa promedio es de 78%. La precipitación anual promedio es de 3600 mm con una estación muy lluviosa de Noviembre a Marzo y otra de menor precipitación de Abril a Octubre.

2.5 DESCRIPCIÓN DE LA MADERA

2.5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Aróstegui (1974), describe a *Aspidosperma macrocarpon* con albura de color crema parduzco y duramen pardo amarillento con bandas longitudinales de un color más intenso y brillantes en la sección radial, esto en condición seca al aire, adiciona que la albura es angosta de 3 cm de espesor y ocupa el 90% de la sección transversal. El grano es entrecruzado, textura media a

fina, brillo medio, con vetado con reflejos dorados producido por bandas angostas longitudinales brillantes de color mas intenso y arcos superpuestos en la sección tangencial formado por los anillos de crecimiento, no presenta olor ni sabor.

2.5.2 CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS

A) *CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS*

Chavesta (2005) señala que la madera presenta porosidad difusa, poros visibles con lupa de 10x, predominantemente solitarios de forma oval y redonda; parénquima no visible aún con lupa de 10x; radios visibles con lupa de 10x, no estratificados.

B) *CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS*

Acevedo y Kikata (1994) describen que los vasos presentan diámetro tangencial de 43 a 129 μm y longitud entre 384 y 729 μm ; platina de perforación horizontal a muy inclinada con perforación simple, punteado intervascular alterno con puntuaciones pequeñas, redondas y abertura inclusa de forma oval. Presencia escasa de gomas. El parénquima es del tipo apotraqueal difuso. Presenta radios homogéneos uniseriados, no estratificados, altura entre 310 y 390 μm , presencia de gomas. Presenta fibras libriformes, punteadura simple, no estratificada el diametro total 19 μm , el grosor de la pared celular es de 4 μm , la longitud varia entre 1459 y 2611 μm .

2.5.3 DURABILIDAD NATURAL

La Cámara Nacional Forestal (1996) menciona que la especie no requiere preservación debido a que no es susceptible al ataque biológico, tiene muy buena durabilidad natural al ataque de hongos, mediana al ataque de termitas y buena al ataque de insectos de maderas secas.

2.5.4 SECADO Y TRABAJABILIDAD

Chavesta (2005) señala que la madera es una madera de secado natural rápido y de buen comportamiento al secado artificial con programa moderado, en cuanto a su trabajabilidad es de fácil aserrío y de regular a buen comportamiento a la trabajabilidad. Aróstegui (1982) indica que Pumaquiro es de fácil aserrío, buen comportamiento al cepillado y torneado y de regular comportamiento en el taladrado y moldurado.

2.5.5 USO DE LA MADERA

La Cámara Nacional Forestal (1996) señala que *Aspidosperma macrocarpon* puede ser utilizada en construcción pesada, muebles, machihembrados, durmientes, mobiliario, pisos y carpintería de interior y exterior, Chavesta (2005) adiciona pasos de escaleras y balaustres. Aróstegui (1982) considera la madera para mangos de herramienta y ebanistería.

2.6 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA

2.6.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE *ASPIDOSPERMA MACROCARPON*

Las Propiedades Físicas de *Aspidosperma macrocarpon* de bosque natural que se presenta en el Cuadro 1 son referidas a tres fuentes estas son; JUNAC (1981), esta presenta las propiedades físicas de 20 especies de Perú donde incluye al Pumaquiro, otra fuente es la presentada por Aróstegui (1971) esta corresponde al bosque de Iparía; Aróstegui (1978) presenta resultados de la madera de diez árboles procedentes del Bosque Nacional Alexander von Humboldt.

Herrera (1987) determinó la densidad básica y anhidra para Pumaquiro las cuales fueron de $0,70 \text{ g/cm}^3$ y $0,81 \text{ g/cm}^3$ respectivamente esto para cuatro árboles colectados del Bosque Nacional Alexander von Humboldt. .

Por otro lado Aróstegui (1982) clasifica a las maderas del Perú en cinco grupos, según esto y lo citado por este mismo autor en 1978 en donde la Pumaquiro presenta una densidad básica de

0,67 g/cm³, correspondería la clasificación de alta caracterizándose por tener resistencia mecánica alta, especialmente flexión estática, compresión, cizallamiento y dureza, además durabilidad natural de regular a buena.

Cuadro 1 : Propiedades Físicas de la madera de *Aspidosperma macrocarpon* según diferentes autores.

<i>Propiedad</i>		<i>Unidades</i>	<i>Fuente</i>		
			<i>Aróstegui (1971)</i>	<i>Aróstegui (1978)</i>	<i>JUNAC (1981)</i>
Densidad	Anhidra	g/cm ³	0,68	0,77	0,76
	Básica		0,61	0,67	0,67
Contracción Total	Radial	%	3,60	4,10	4,10
	Tangencial		7,10	8,08	8
	Volumétrica		.....	12,38	11,80
	Relación T/R	...	1,90	.....	2,10

2.6.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE *ASPIDOSPERMA MACROCARPON*

Las Propiedades Mecánicas de *Aspidosperma macrocarpon* procedente de bosque natural son mostradas en el cuadro 2, en este se presenta el estudio de JUNAC (1981) donde presenta valores al 12 % de contenido de humedad a diferencia de las otras dos fuentes donde sólo se determinaron las propiedades a una condición verde.

Cuadro 2 : Propiedades Mecánicas de *Aspidospema macrocarpon* señaladas por diferentes autores

<i>Propiedad</i>	<i>Unidades</i>	<i>Fuente</i>			
		<i>Aróstegui (1971)</i>	<i>Aróstegui (1978)</i>	<i>JUNAC (1981)</i>	
Contenido de Humedad	%	59	Verde	12	Verde
Flexión Estática					
1. ELP	kg/cm ²	544	626	744	638
2. MOR		907	950	1142	955
3. MOE	t/cm ²	129	146	145	148
Compresión Paralela					
1. ELP	kg/cm ²	360	434	.....	.....
2. RM		484	522	678	522
3. MOE	t/cm ²	140	165	.....	.....
Compresión Perpendicular					
1. ELP	kg/cm ²	79	95	119	96
Cizallamiento					
1. Radial	kg/cm ²	114	117	134	113
2. Tangencial				141	122
Dureza					
1. Lados	kg/cm ²	623	738	886	739
2. Extremos		627	736	931	737
Tenacidad					
1. Radial	kg-m	3,6	4	3,62	3,9
2. Tangencial				2,91	4,12
Tensión Perpendicular	kg/cm ²	47	.....	.....	.....
Clivaje	kg/cm	60	.....	.....	.....

2.6.3 CLASIFICACIÓN DE LA MADERA SEGÚN SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

Aróstegui (1982) menciona los rangos para clasificar las maderas según sus propiedades físicas (cuadro 3)

En el cuadro 4 se muestra la clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en las condiciones seca al aire (12%).

Cuadro 3 : Clasificación de las maderas peruanas según sus propiedades físicas

Grupo	Propiedades Físicas		Clasificación
	Densidad Básica (g/cm³)	Contracción Volumétrica (%)	
I	< 0,30	< 7	Muy Mala
II	0,30 – 0,40	7 – 10	Baja
III	0,41 – 0,60	10,1 – 13	Media
IV	0,61 – 0,75	13,1 – 15	Alta
V	> 0,75	> 15	Muy Alta

Fuente: Aróstegui (1982)

Cuadro 4 : Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición seca al aire (CH = 12%)

<i>Flexión Estática</i>		<i>Compresión Paralela RM (kg/cm²)</i>	<i>Compresión Perpendicular ELP (kg/cm²)</i>	<i>Cizallamiento (kg/cm²)</i>	<i>Dureza</i>		<i>Clasificación</i>
<i>MOR (kg/cm²)</i>	<i>MOE (t/cm²)</i>				<i>Lateral (kg/cm²)</i>	<i>Extremos (kg/cm²)</i>	
< 550	< 75	< 325	< 35	< 50	< 150	< 160	Muy Bajo
551-800	76 – 105	326-450	36-65	51-90	151-350	161-400	Bajo
801-1000	106-125	451-530	66-85	91-120	351-550	401-625	Medio
1001-1300	126-150	531-650	86-125	121-165	551-900	626-1050	Alto
> 1300	> 150	> 650	> 125	> 165	> 900	> 1050	Muy Alto

Fuente: Dávalos y Bárcenas (1999)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO

El estudio tuvo lugar en el Laboratorio de Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera del Departamento Académico de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 ESPECIE

La especie que se estudió es *Aspidosperma macrocarpon* (“Pumaquiroy”) proveniente de una plantación experimental de la estación experimental Alexander von Humboldt ubicada en el distrito de Irazola, provincia de Padre Abad en la región Ucayali.

3.2.2 EQUIPOS DE LABORATORIO

- Prensa Universal “Tinius olsen” de ensayos mecánicos y accesorios.
- Probadora de Tenacidad “Baldwin”.
- Balanza de precisión 0.01g.
- Estufa Eléctrica.
- Taladro.
- Sierra circular portátil.
- Vernier Digital con precisión de 0,01 mm.

- Desecador de humedad provistos de silicagel.
- Micrómetros con precisión de 0.01mm.
- Vaso de precipitación de 500 ml.
- Pinzas.
- Cámara Digital de 5 megapíxeles.

3.2.3 OTROS

- Wincha, Escuadra, Lupa 10x, cuchilla.
- Lápiz de cera, artículos de escritorios.
- Formatos.
- Computadora.

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 COLECCIÓN Y SELECCIÓN DE MUESTRAS

Esta fase fue realizada por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Para el estudio de coleccionaron 6 árboles.

3.3.2 PROCESAMIENTO DE TROZAS Y PREPARACIÓN DE PROBETAS

Estas dos etapas al igual que las anteriores fueron realizadas por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Se tomaron tres trozas cada una de ocho pies esto para el análisis de la variación de las propiedades físicas y mecánicas por altura.

De estas trozas se obtuvieron listones para luego tener las probetas de madera con las dimensiones estipuladas por la Norma Técnica Peruana para ensayos físicos, en cuanto a las dimensiones de las probetas para los ensayos Mecánicos estas cumplen con lo estipulado por la norma ASTM (2000), Designation: D 143 – 94 (Reapproved 2000) Métodos Primario.

El número de probetas utilizadas por tipo de ensayos y niveles se muestra en el cuadro 5.

3.3.3 CODIFICACIÓN DE PROBETAS

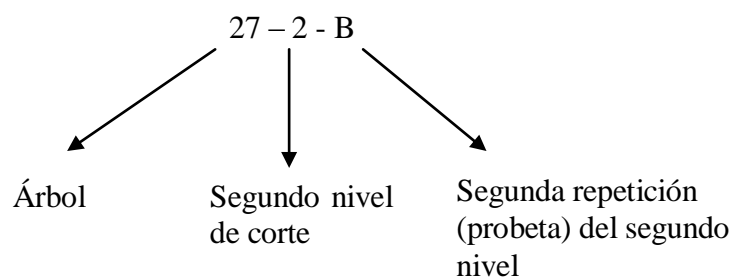
- El primer dígito es un número que hace referencia al árbol.

- El segundo dígito indica el nivel de corte.

Respecto a los niveles de corte se tuvieron los niveles 1,2 y 3 cada uno hace referencia a ocho pies de altura siendo el primer nivel el 1 seguido por 2 y así sucesivamente.

- El tercer dígito es una letra o número que indica la repetición para ese nivel de corte.

A manera de ejemplo se presenta el siguiente código de un listón:



Cuadro 5 Número de probetas para ensayos físico - mecánicos para la especie estudiada

Ensayo	Niveles	Árbol						Total
		4	9	16	19	22	24	
Propiedades Físicas	A	5	5	5	5	5	5	30
	B	5	5	5	5	5	5	30
	C	5	5	5	5	5	5	30
	Total	15	15	15	15	15	15	90
Flexión Estática	A	5	5	5	5	5	4	29
	B	5	5	4	4	5	4	27
	C	1	4	3	2	1	3	14
	Total	11	14	12	11	11	11	70
Compresión Paralela	A	5	5	5	4	5	5	29
	B	5	3	4	5	4	0	21
	C	3	5	4	2	4	2	20
	Total	13	13	13	11	13	7	70
Compresión Perpendicular	A	5	5	5	4	5	5	29
	B	5	5	5	5	5	5	30
	C	0	5	5	5	0	0	15
	Total	10	15	15	14	10	10	74
Dureza	A	5	5	4	5	4	4	27
	B	5	5	4	4	4	4	26
	C	0	5	4	4	0	0	13
	Total	10	15	12	13	8	8	66
Extracción de clavos	A	3	5	3	5	3	4	23
	B	4	5	4	4	4	4	25
	C	0	5	4	5	0	0	14
	Total	7	15	11	14	7	8	62
Tensión Perpendicular	A	5	5	4	5	4	4	27
	B	5	5	3	4	4	4	25
	C	0	4	4	5	0	3	16
	Total	10	14	11	14	8	11	68
Clivaje	A	5	5	5	5	5	5	30
	B	5	5	5	5	5	5	30
	C	0	5	5	5	5	5	25
	Total	10	15	15	15	15	15	85
Cizallamiento	A	5	5	5	5	5	5	30
	B	5	5	5	5	5	5	30
	C	0	5	5	5	5	5	25
	Total	10	15	15	15	15	15	85
Tenacidad	A	10	10	10	10	10	10	60
	B	10	10	8	10	12	10	60
	C	8	10	11	10	9	10	58
	Total	28	30	29	30	31	30	178

3.3.4 MÉTODOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS

Los ensayos para determinar las propiedades físicas se realizaron de acuerdo a las NTP (Norma técnica peruana) las cuales se muestran a continuación:

- NTP 251.010:2004. “Método para determinar el contenido de humedad”.
- NTP 251.011:2004. “Método de determinación de la densidad”.
- NTP 251.012:2004. “Método de determinación de la contracción”.

Los ensayos mecánicos se realizaron según lo estipulado en la norma ASTM (2000), Designation: D 143 – 94 (Reapproved 2000)- Parte I. Métodos Primarios. En condición seca al aire.

3.3.5 PROCESAMIENTO DE DATOS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Para el procesamiento de datos se ingresaron y ordenaron los datos mediante el uso de los programas Microsoft Excel para Windows y Minitab 15 para Windows.

El análisis estadístico primero comprende un análisis básico este incluyó determinar promedios, rangos, intervalo de confianza (al 95%) y también los coeficientes de variación entre y dentro de árboles para cada una de las propiedades.

Para realizar las pruebas estadísticas correspondientes se realizó un análisis de varianza (ANVA) utilizando el diseño completo al azar (DCA) para determinar si existen diferencias significativas ($P < 0,05$) entre alturas para las propiedades mecánicas y físicas de Densidad Básica y Contracción Total (Saturada a Seca al horno). Este análisis tuvo lugar en los 3 niveles de corte 1, 2 y 3 siendo el nivel inferior 1.

Para la validación de este análisis se debió cumplir los supuestos de homogeneidad de variancia y normalidad de los errores, habiéndose cumplido lo anterior y haberse encontrado diferencias significativas ($P < 0,05$) entre alturas se prosiguió a utilizar la prueba de Tukey para encontrar entre que pares de medias correspondiente a cada nivel de corte son diferentes.

Por otro lado en el caso que los supuestos mencionados no fueran cumplidos se utilizó la prueba de Kruskal – Wallis correspondiente a las pruebas no paramétricas.

Para determinar la influencia del peso específico tanto en la contracción como en la resistencia mecánica se realizó el análisis de regresión teniendo como variable independiente el peso específico mientras que las variables dependientes son las que corresponden a la propiedad mecánica. Para esto se ajustó la resistencia y el peso específico al 12% de contenido de humedad.

La clasificación de las propiedades físicas y mecánicas del estudio, se realizó según los criterios de Aróstegui (1982), Dávalos y Bárcenas (1999), presentados en los cuadros 3 y 4 para esto fue necesario ajustar los valores al 12% de contenido de humedad, estos ajustes también fueron realizados para la comparación con otras fuentes de investigación.

La propuesta de los posibles usos se realizó teniendo en cuenta; similitud de las propiedades con otras especies de similar densidad básica, requisitos por tipo de uso para ser comparados con los valores de resistencia obtenidos para la madera ensayada.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PROPIEDADES FÍSICAS

4.1.1 DENSIDAD PESO ESPECÍFICO Y CONTRACCIÓN

Los resultados de las propiedades físicas evaluadas según niveles de corte se presentan en el cuadro 6, el coeficiente de variación entre y dentro de árboles y totales en el cuadro 7 y los resultados del análisis de varianza en el cuadro 8.

La contracción radial y longitudinal muestran diferencias significativas entre los niveles de corte, identificándose con la prueba de Kruskal – Wallis que el nivel A es diferente a los niveles superiores B y C siendo estos últimos similares; este comportamiento se dio para las dos propiedades mencionadas.

Cuadro 6 : Valores promedio de las propiedades físicas de acuerdo al nivel de corte

PROPIEDAD		Nivel	Promedio	Coefficiente de Variación (%)	Rango	
					Valor Mín.	Valor Máx.
Densidad Básica		A	0,66	4,20	0,60	0,71
		B	0,64	4,13	0,58	0,70
		C	0,64	5,67	0,60	0,76
Contracción Total	Tangencial	A	7,79	9,88	4,44	8,97
		B	7,71	9,49	4,12	8,64
		C	7,80	8,38	6,78	9,41
	Radial	A	3,93	11,94	2,27	4,84
		B	4,16	7,83	3,16	4,70
		C	4,27	13,98	3,22	6,09
	Longitudinal	A	0,13	71,31	0,05	0,45
		B	0,18	45,53	0,05	0,45
		C	0,16	45,52	0,06	0,36
	Volumétrica	A	11,78	4,99	10,28	12,91
		B	12,00	4,62	11,34	13,82
		C	12,01	7,98	10,54	14,45

Cuadro 7 : Variabilidad de la densidad y contracción de la madera de Pumaquiro

Propiedad		Coefficiente de Variación (%)		
		Entre árboles	Dentro de árboles	Totales
Densidad	Saturada*	6,72	3,35	3,62
	Anhida	12,23	4,40	5,17
	Básica	11,85	4,01	4,80
Contracción Total	Tangencial	20,67	7,99	9,18
	Radial	13,88	11,79	11,93
	Longitudinal	60,15	251,88	53,87
	Volumétrica	15,37	4,99	6,06
	Relación T/R	20,63	16,34	16,61

* 49,23 % de humedad

Cuadro 8 : Análisis de varianza para los tres niveles estudiados.

Propiedad		Significancia
Densidad Básica		N.S
Contracción Total	Tangencial	N.S
	Radial (np)	*
	Longitudinal (np)	*
	Volumétrica (np)	N.S

Donde:

*: *Significativo*

N.S: *No Significativo*

np: *Prueba no paramétrica*

En el cuadro 9 se incluyen los valores promedios para las propiedades físicas, observando los coeficientes de variación totales, comparándolos con los recomendados por el U.S. Department

of Agriculture (1974) ninguna de las propiedades físicas determinadas presentan valores superiores a los permisibles.

Según Arroyo (1983) la contracción longitudinal es generalmente bastante pequeña mencionando que las especies presentan valores promedios de de 0,1 y 0,2% de verde a anhidro comparándolo con 0,16% de la madera ensayada este se encuentra dentro de lo normal el intervalo de confianza también coincide con esta comparación.

Cuadro 9 : Valores promedios de las propiedades físicas de la madera de Pumaquiuro

<i>Propiedad</i>		<i>Unidades</i>	<i>Promedio</i>	<i>Coficiente de Variación (%)</i>	<i>Intervalo de Confianza</i>	
					<i>Lim. Inf.</i>	<i>Lim. Sup.</i>
Densidad	Saturada*	g/cm ³	0,96	3,62	0,96	0,97
	Anhidra		0,73	5,17	0,73	0,74
	Básica		0,65	4,80	0,64	0,65
Contracción Total	Tangencial	%	7,77	9,18	7,62	7,91
	Radial		4,12	11,93	4,02	4,22
	Longitudinal		0,16	53,87	0,14	0,18
	Volumétrica		11,93	6,06	11,78	12,08
	Relación T/R	.....	1,91	16,61	1,85	1,98

Donde:

* 49,23 % de humedad

Cuadro 10 : Comparación de los coeficientes de variación totales obtenidos con los presentados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

<i>Propiedades</i>		<i>Coficiente de Variación (%)</i>	<i>Coficiente de Variación U.S. Department of Agriculture (1974) (%)</i>
Densidad	Saturada	3,62	.....
	Anhidra	5,17	.....
	Básica	4,80	Peso específico 10
Contracción Total	Tangencial	9,18	14
	Radial	11,93	15
	Volumétrica	6,06	16

4.1.2 ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN DENSIDAD BÁSICA – CONTRACCIÓN

Los resultados del análisis de correlación lineal muestran que la densidad básica no es un buen estimador de la contracción pues los coeficientes de determinación son muy bajos (cuadro 11). Según lo descrito en el párrafo anterior la densidad básica no es un factor determinante en la variación de la contracción sino consecuencia de un conjunto de factores no estudiados estos serían básicamente anatómicos.

Cuadro 11 : Coeficientes de correlación, determinación y ecuaciones resultantes de las regresiones lineales

<i>Propiedad (Variable Dependiente)</i>	<i>Coeficiente de Correlación (r)</i>	<i>Coeficiente de Determinación (r²)</i>	<i>Ecuación Lineal</i>
Contracción Tangencial Total	0,28	0,08	$y = 3,58 + 6,48 \text{ DB}$
Contracción Radial Total	0,33	0,11	$y = 0,71 + 5,27 \text{ DB}$
Contracción Longitudinal Total	0,01	0,00	$y = 0,136 + 0,034 \text{ DB}$
Contracción Volumétrica Total	0,33	0,11	$y = 6,89 + 7,79 \text{ DB}$

Donde:

y: Propiedad (Variable Dependiente)

DB: Densidad Básica (Variable Independiente)

4.1.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

Los resultados del estudio en relación a otros trabajos de investigación de la especie *Aspidosperma macrocarpon* muestran que la densidad básica para la plantación estudiada es superior a la fuente Aróstegui (1971) y similar con Aróstegui (1978) esto último si se hubiera considerado el primer nivel (basal); sin embargo es inferior a los resultados de Herrera (1987) proveniente de bosque natural con madera suficientemente madura.

Respecto a los valores de contracción presentan contracciones similares a los de bosque natural esto también se da para la estabilidad dimensional (relación T/R).

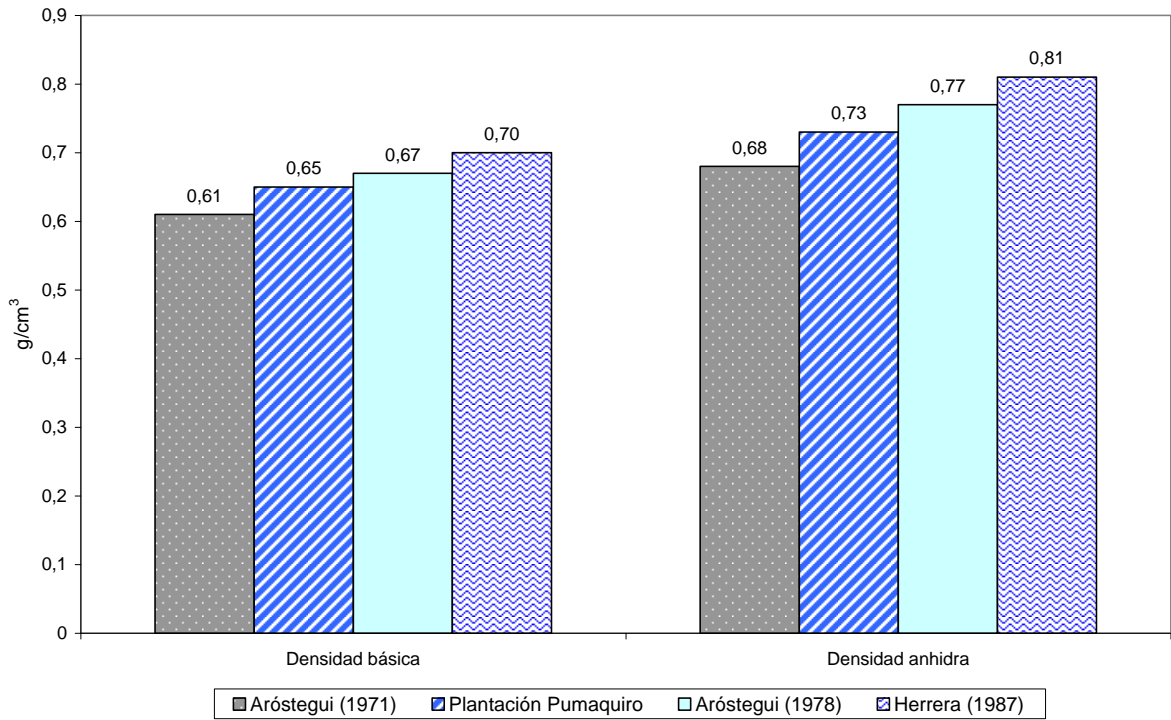


Figura 1 : Comparación de la densidad básica y anhidra de *Aspidosperma macrocarpon*.

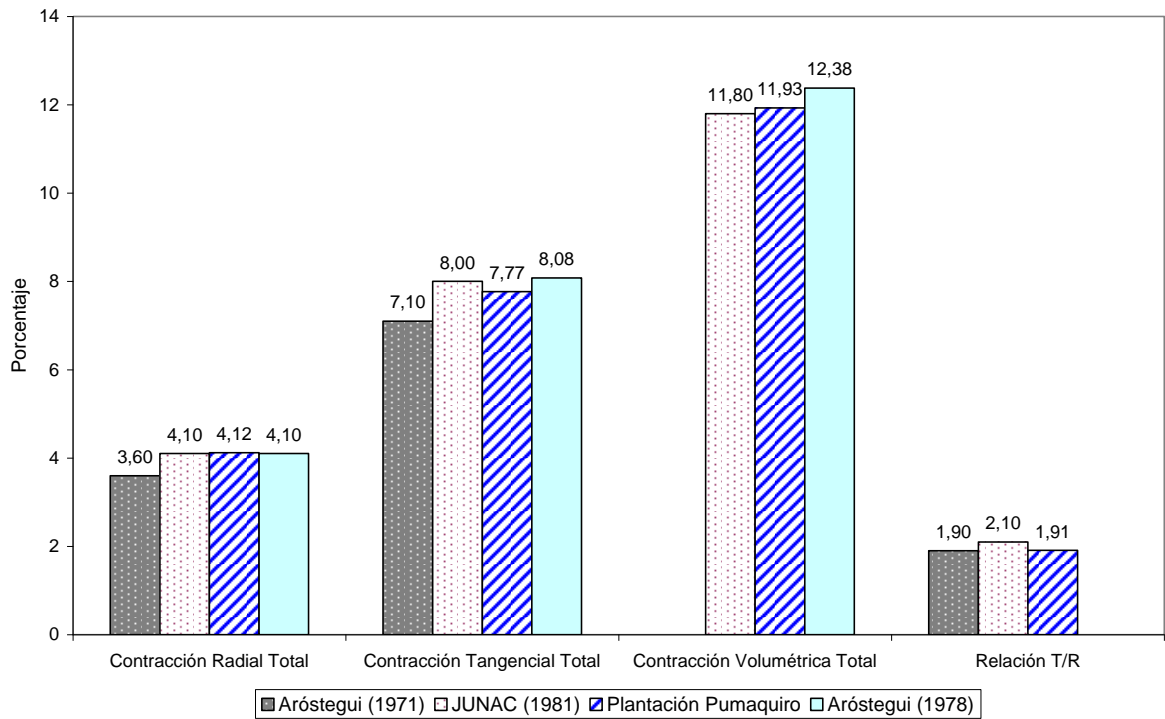


Figura 2 : Comparación de la contracción total de *Aspidosperma macrocarpon*.

4.1.4 CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

De acuerdo a la clasificación descrita por Aróstegui (1982) y según los resultados obtenidos, la madera estudiada, con densidad básica promedio de $0,65 \text{ g/cm}^3$ se clasifica como Alta, mientras que su contracción volumétrica promedio de 11,93 % esta catalogada como Media.

La relación T/R (Estabilidad dimensional), con un valor promedio de 1,91; según la clasificación descrita por Aróstegui (1970), esta considerada como una madera estable.

4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

4.2.1 RESISTENCIA Y RIGIDEZ

Los resultados de las propiedades mecánicas evaluadas según niveles de corte se presentan en el cuadro 12, el coeficiente de variación entre y dentro de árboles y totales en el cuadro 13 y los resultados del análisis de varianza en el cuadro 14.

Las pruebas de significancia para las propiedades mecánicas indican que sólo muestran diferencias significativas entre niveles de corte el esfuerzo al límite proporcional (ELP) en Flexión estática, resistencia máxima en Compresión paralela, esfuerzo al límite proporcional (ELP) en Compresión perpendicular y Tenacidad. La prueba de comparación de medias precisa que en Flexión estática (ELP) y Compresión perpendicular los niveles A y B son similares, lo mismo sucede entre los niveles B y C, las diferencias se encontraron entre los niveles A y C. Para Compresión paralela (resistencia máxima) se encontró las diferencias A con C y B con C siendo los niveles A y B similares, por último en tenacidad se observó que A es diferente a B y C siendo estos dos últimos similares.

El patrón que se observa en todas las diferencias encontradas es que el nivel basal "A" es menor y diferente al nivel de mayor altura "C" producto de la mayor proporción de madera adulta en la base; esto coincide con Jozsa y Middleton (1994) los cuales señalan que la madera madura se encontraría en la parte baja del fuste a diferencia de la parte alta la cual estaría formado todo por madera juvenil la misma que tiene menor resistencia Haygreen y Bowyer

(1982). Observando la densidad básica para los tres niveles (cuadro 6) el nivel basal presenta menor densidad sin embargo estas diferencias no son significativas.

Cuadro 12 : Valores promedios de las propiedades mecánicas de acuerdo al nivel de corte

<i>Propiedad</i>		<i>Unidades</i>	<i>Nivel</i>	<i>Promedio</i>	<i>Coficiente de Variación (%)</i>	<i>Rango</i>		<i>CH (%)</i>
						<i>Valor Min.</i>	<i>Valor Max.</i>	
Flexión Estática	ELP	kg/cm ²	A	734,90	9,75	588,80	849,80	14,05
			B	715,90	9,01	530,40	840,90	14,08
			C	669,20	11,63	534,90	815,90	13,89
	MOR		A	1181,50	11,97	853,80	1400,20	14,05
			B	1130,30	8,49	911,90	1337,90	14,08
			C	1109,90	12,71	796,40	1415,10	13,89
	MOE	t/cm ²	A	140,67	9,21	114,24	174,78	14,05
			B	143,76	6,69	129,68	162,97	14,08
			C	138,67	6,89	121,56	159,72	13,89
Compresión Paralela	ELP	kg/cm ²	A	412,10	13,75	276,00	529,40	14,19
			B	410,20	19,02	240,20	570,50	14,07
			C	403,40	18,69	222,10	546,50	13,97
	RM		A	602,67	5,97	501,41	674,72	14,19
			B	594,30	10,47	455,40	702,60	14,07
			C	563,30	9,04	423,90	635,00	13,97
	MOE	t/cm ²	A	166,34	11,57	107,00	196,09	14,19
			B	172,11	15,15	113,56	216,26	14,07
			C	173,80	11,94	124,47	213,13	13,97
Compresión Perpendicular	ELP	kg/cm ²	A	114,71	19,28	74,12	158,99	13,55
			B	104,76	17,35	73,16	148,69	13,65
			C	96,84	14,55	75,08	126,30	13,69
Dureza	Extremos	kg/cm ²	A	918,50	9,68	771,10	1111,30	13,69
			B	861,80	8,26	748,40	1088,60	13,62
			C	871,40	9,40	748,40	1009,20	13,64
	Lados		A	838,00	13,59	646,40	1151,00	13,69
			B	771,50	9,78	606,70	912,90	13,62
			C	795,50	16,00	640,70	1094,30	13,64

Cuadro 15: Valores promedios de las propiedades mecánicas (Continuación)

<i>Propiedad</i>		<i>Unidades</i>	<i>Nivel</i>	<i>Promedio</i>	<i>Coefficiente de Variación (%)</i>	<i>Rango</i>		<i>CH (%)</i>
						<i>Valor Min.</i>	<i>Valor Max.</i>	
Extracción de Clavos	Extremos	Kg	A	119,29	15,98	85,73	160,57	12,97
			B	111,82	17,12	76,66	152,41	12,99
			C	113,30	14,06	88,00	147,87	12,87
	Lados		A	189,20	10,36	144,24	223,39	12,97
			B	177,53	8,29	147,42	206,61	12,99
			C	176,80	7,88	156,94	201,17	12,87
Tensión Perpendicular		kg/cm ²	A	56,69	27,97	19,52	85,28	14,61
			B	50,85	30,47	24,93	88,77	14,77
			C	52,43	28,89	25,73	79,54	14,44
Clivaje		Kg/cm	A	80,64	22,74	55,49	129,49	14,52
			B	76,54	23,81	49,42	109,76	14,66
			C	78,29	24,15	39,53	116,38	14,65
Cizallamiento		kg/cm ²	A	159,82	9,20	122,70	182,21	13,79
			B	160,07	12,22	127,58	200,10	13,94
			C	155,98	14,29	76,72	189,21	14,01
Tenacidad		kg-m	A	2,46	31,66	0,42	4,08	13,85
			B	2,01	30,53	0,30	3,43	13,87
			C	1,95	28,32	0,55	3,17	13,79

En el cuadro 15 se presentan los valores promedios de las propiedades mecánicas para la madera de Pumaquiro.

La variabilidad de las propiedades mecánicas es baja así se observa al realizar la comparación de los coeficientes de variación experimentales con los permisibles propuestos por el U.S. Department of Agriculture (1974) cuadro 16, en este sólo tensión perpendicular es superior.

Cuadro 13: Variabilidad de las propiedades mecánicas de la madera de Pumaqui.

<i>Propiedad</i>		<i>Coefficiente de Variación (%)</i>		
		<i>Entre árboles</i>	<i>Dentro de árboles</i>	<i>Totales</i>
Flexión Estática	ELP	17,17	9,53	10,27
	MOR	23,51	9,48	11,10
	MOE	16,41	6,77	7,87
Compresión Paralela	ELP	14,73	16,80	16,66
	RM	16,29	7,83	8,73
	MOE	16,31	12,52	12,84
Compresión Perpendicular	ELP	28,10	17,89	18,77
Clivaje		34,25	22,47	23,35
Tensión Perpendicular		15,40	29,88	29,05
Cizallamiento		11,16	11,85	11,82
Dureza	Extremos	13,12	9,11	9,48
	Lados	12,58	12,58	13,22
Extracción de Clavos	Extremos	27,42	14,64	16,07
	Lados	10,90	9,39	9,51
Tenacidad		42,11	31,89	32,23

Cuadro 14 : Análisis de varianza para los tres niveles estudiados.

Propiedad		Significancia
Flexión Estática	ELP	*
	MOR	N.S
	MOE	N.S
Compresión Paralela	ELP	N.S
	RM (np)	*
	MOE	N.S
Compresión Perpendicular	ELP	*
Clivaje		N.S
Tensión Perpendicular		N.S
Cizallamiento		N.S
Dureza	Extremos	N.S
	Lados	N.S
Extracción de Clavos	Extremos	N.S
	Lados	N.S
Tenacidad (np)		*

Donde:

**: Significativo*

N.S: No Significativo

np: Prueba no paramétrica

Cuadro 15: Valores promedios de las propiedades mecánicas de la madera de Pumaqui

<i>Ensayo</i>		<i>Unidades</i>	<i>Promedio</i>		<i>Coefficiente de variación (%)</i>	<i>Intervalo de Confianza</i>	
			<i>CH (%)</i>	<i>Resistencia</i>		<i>Lim. Inf.</i>	<i>Lim. Sup.</i>
Flexión Estática	ELP	kg/cm ²	14,03	714,46	10,27	696,96	731,96
	MOR		14,03	1147,40				11,10	1117,10	1177,80
	MOE	t/cm ²	14,03	141,46	7,87	138,81	144,12
Compresión Paralela	ELP	kg/cm ²	14,09	409,05	16,66	392,80	425,30
	RM		14,09	588,93				8,73	576,67	601,18
	MOE	t/cm ²	14,09	170,20	12,84	164,99	175,41
Compresión Perpendicular	ELP	kg/cm ²	13,62	107,06	3,02	102,40	111,71
Clivaje		kg/cm	14,60	78,50	23,35	74,55	82,45
Tensión Perpendicular		kg/cm ²	14,63	53,54	29,05	49,77	57,30
Cizallamiento			13,91	158,78	4,75	154,73	162,83
Dureza	Extremos		13,65	886,90	9,48	866,20	907,60
	Lados	13,65	803,40	13,22	777,30	829,60	
Extracción de Clavos	Extremos	kg	12,96	114,93	16,07	110,24	119,62
	Lados		12,96	181,69	9,51	177,30	186,09
Tenacidad		kg-m	13,84	2,15	32,23	2,04	2,25

Cuadro 16: Comparación de los coeficientes de variación totales obtenidos con los presentados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

<i>Propiedad</i>		<i>Coeficiente de Variación (%)</i>	<i>Coeficiente de Variación U.S. Department of Agriculture (1974) (%)</i>
Flexión Estática	ELP	10,27	22
	MOR	11,10	16
	MOE	7,87	22
Compresión Paralela	ELP	16,66	24
	RM	8,73	18
	MOE	12,84	29
Compresión Perpendicular	ELP	18,77	28
Tensión Perpendicular		29,05	25
Cizallamiento		11,82	14
Dureza	Extremos	9,48	17
	Lados	13,22	20
Tenacidad		32,23	34

4.2.2 ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN DENSIDAD BÁSICA – RESISTENCIA MECÁNICA

Los coeficientes de correlación y determinación entre las propiedades mecánicas y el peso específico son altos sólo en dureza (cuadro 17).

Cuadro 17 : Coeficientes de determinación y ecuaciones de regresión lineal para las propiedades mecánicas de Pumaquiro

<i>Propiedad (Variable Dependiente)</i>		<i>Coficiente de Correlación (r)</i>	<i>Coficiente de Determinación (r²)</i>	<i>Ecuación Lineal</i>
Flexión Estática	ELP	0,43	0,18	$y = - 82 + 1261 G_{12}$
	MOR	0,60	0,36	$y = - 757 + 2890 G_{12}$
	MOE	0,40	0,16	$y = 37,7 + 159 G_{12}$
Compresión Paralela	ELP	0,13	0,02	$y = 270 + 264 G_{12}$
	RM	0,36	0,13	$y = 256 + 593 G_{12}$
Compresión Perpendicular	ELP	0,59	0,35	$y = - 159 + 396 G_{12}$
Dureza	Extremos	0,71	0,51	$y = - 370 + 1887 G_{12}$
	Lados	0,74	0,54	$y = - 865 + 2441 G_{12}$

Donde:

Y: Propiedad (Variable Dependiente)

G₁₂: Peso específico al 12 % de contenido de humedad

4.2.3 CARACTERÍSTICAS EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MADERA ESTUDIADA

La madera ensayada presenta en flexión estática la falla tipo astilladura según se observa en la figura 3.

Para tenacidad existen tres formas generales de fallas siendo la figura 3 A y 3 B las fallas más recurrentes estas difieren al observar la falla en sentido transversal, así en la probeta 3 B se aprecia que la mitad de la sección tiende a la quebradura y la otra mitad a la astilladura; no sucede lo mismo en la probeta de la figura 3 A; el otro tipo de falla pero de menor ocurrencia fue del tipo desviación del grano (figura 3 C).

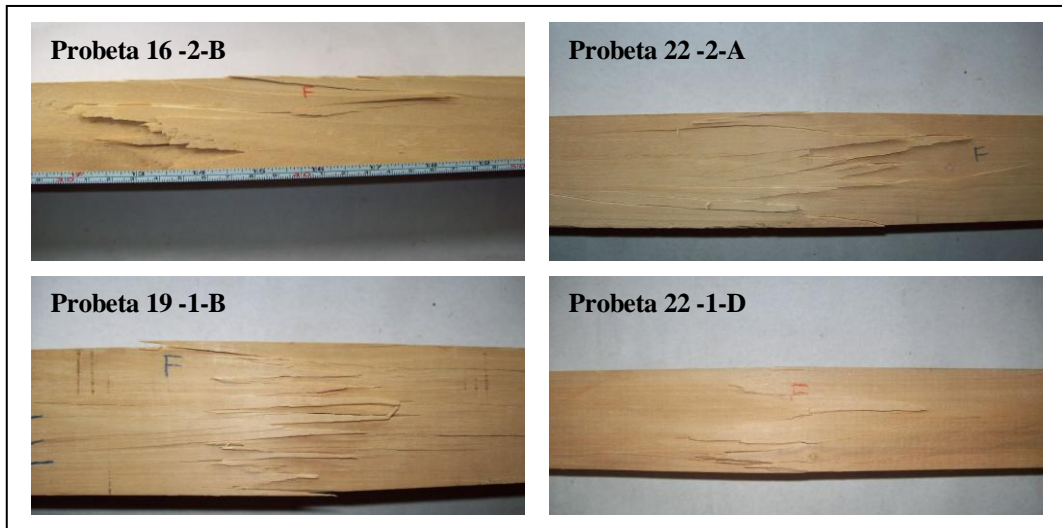


Figura 3 : Fallas tipo astilladura en probetas de Flexión estática (Vista Fondo)

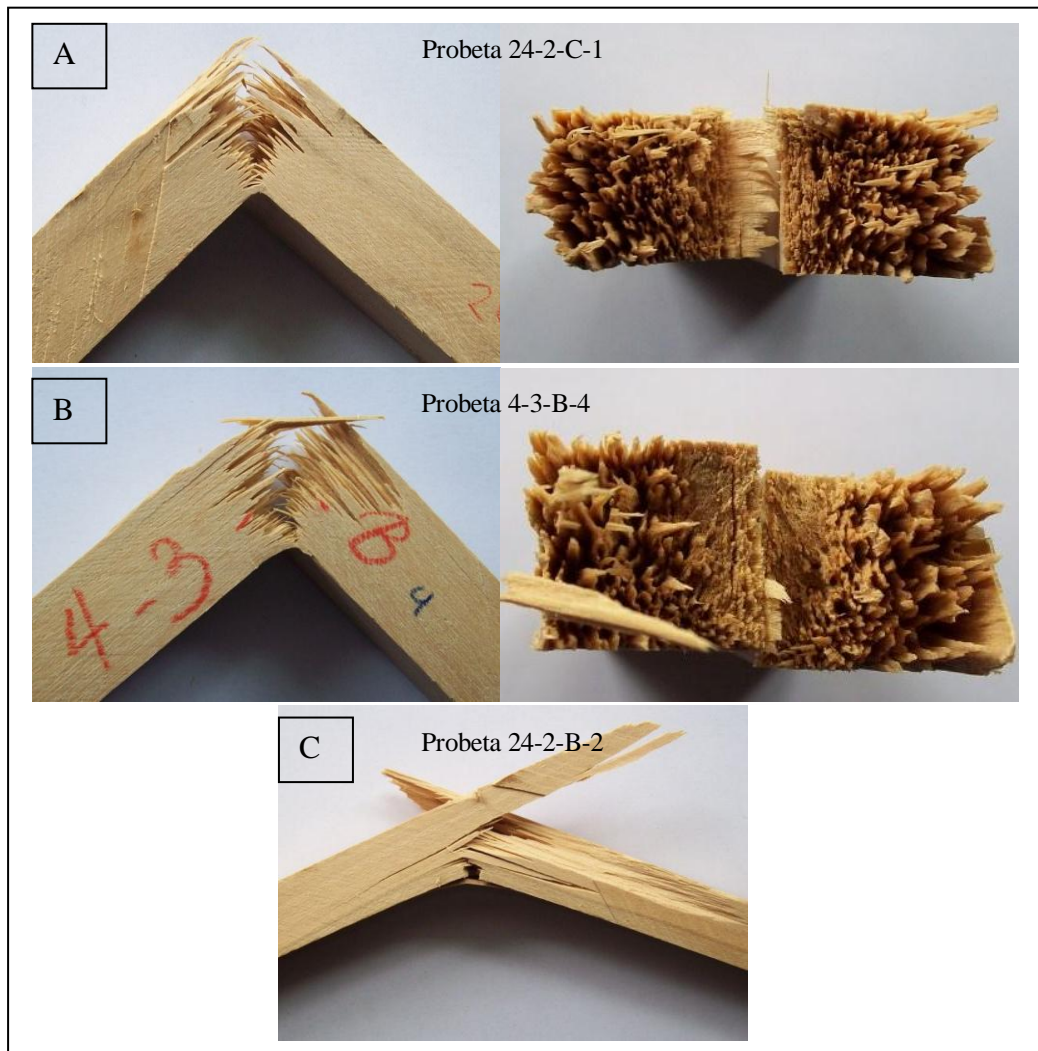


Figura 4 : Fallas encontradas en tenacidad

4.2.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

Comparando la plantación de Pumaquiroy con los valores de bosque natural presentados por JUNAC (1981) (figura 5); se observa una clara similitud entre las resistencias para las propiedades mencionadas.

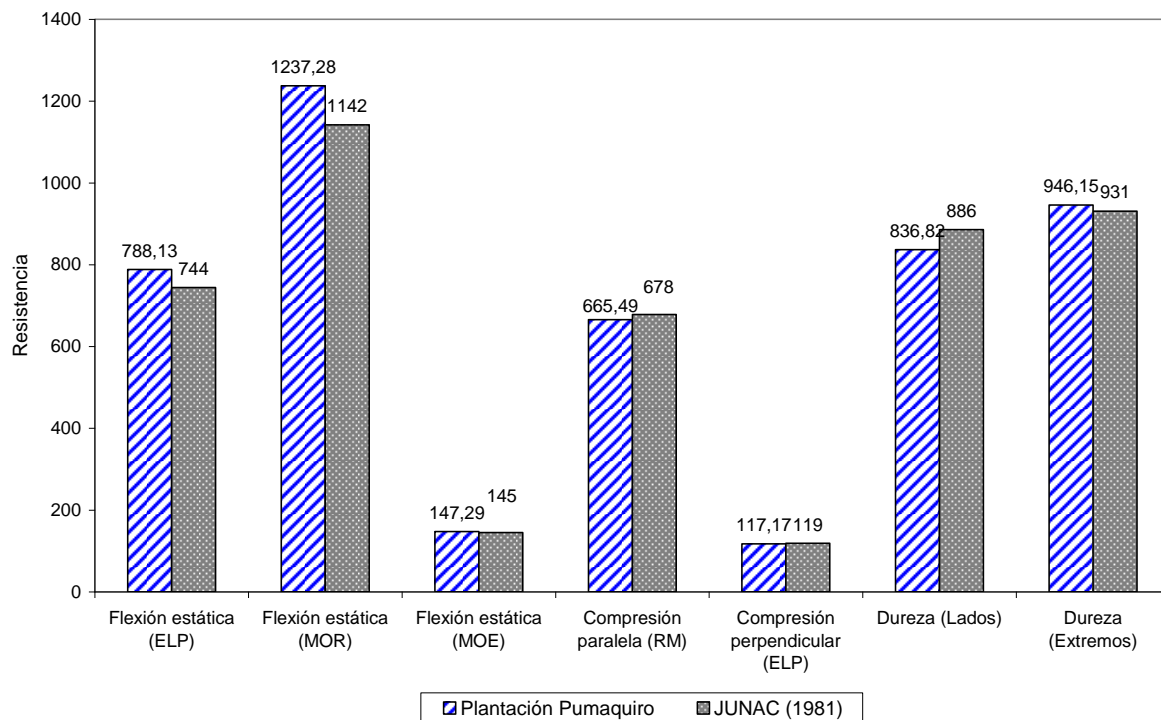


Figura 5 : Resistencia promedio de la madera de plantación de Pumaquiroy y bosque natural al 12 % de contenido de humedad.

4.2.5 CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

En el cuadro 18 los resultados de las propiedades mecánicas para la madera de *Aspidosperma macrocarpon* la clasifican como una madera de resistencia mecánica Alta.

Cuadro 18: Clasificación de las Propiedades Mecánicas de *Aspidosperma macrocarpon*

Propiedad		Valor Promedio Ajustado al 12 %	Criterio de clasificación - Dávalos y Bárcenas (1999) Condición 12%
Flexión Estática	MOR	1237,28	Alto
	MOE	147,29	Alto
Compresión Paralela	RM	665,49	Muy alto
Compresión Perpendicular	ELP	117	Alto
Cizallamiento		167,94	Muy alto
Dureza Lados		836	Alto
Dureza Extremos		946	Alto

Fuente: Elaboración Propia

4.3 APTITUD DE USO

Según las propiedades físicas y mecánicas de la madera estudiada comparadas con las de especies de uso conocido y requisitos de uso propuestos por Aróstegui (1970), la madera de Pumaquiro tendría aptitud para estructuras y carpintería de obras (viviendas), construcciones pesadas, mueblería, ebanistería.

En relación a su uso estructural la especie muestra valores de resistencia y rigidez apropiados; sin embargo es conveniente señalar que la madera presenta nudos por lo que es necesario observar el efecto de estos a escala natural; por otro lado a que considerar los diámetros de las trozas alcanzados para esta plantación. En cuanto a carpintería de obra, mueblería, ebanistería también cumple con los requisitos físicos y mecánicos sin embargo es recomendable conocer su comportamiento a las maquinas (taladrado, moldurado, etc.), La comparación con especies de uso conocido se observa en la figura 6 y 7

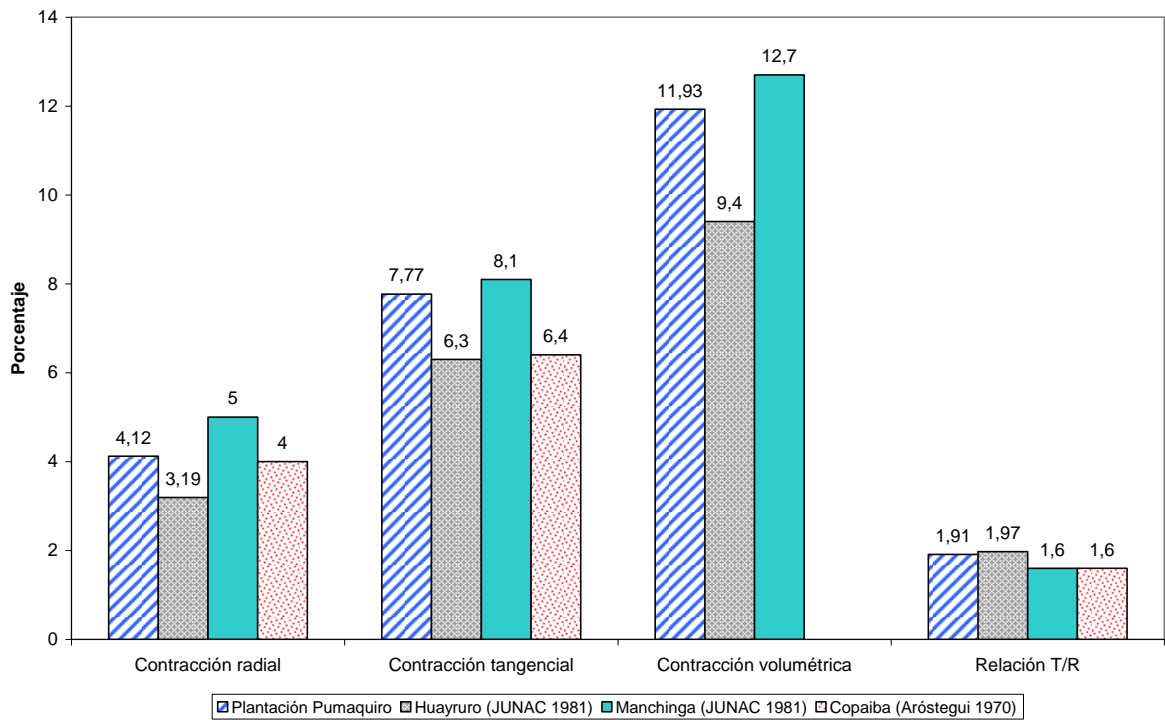


Figura 6 : Comparación de las propiedades físicas de Huayruro (*Ormosia coccinea*), Manchinga (*Brosimum uleanum*) y Copaiba (*Copaifera Officinalis*) provenientes de bosque natural con Pumaquiro de plantación.

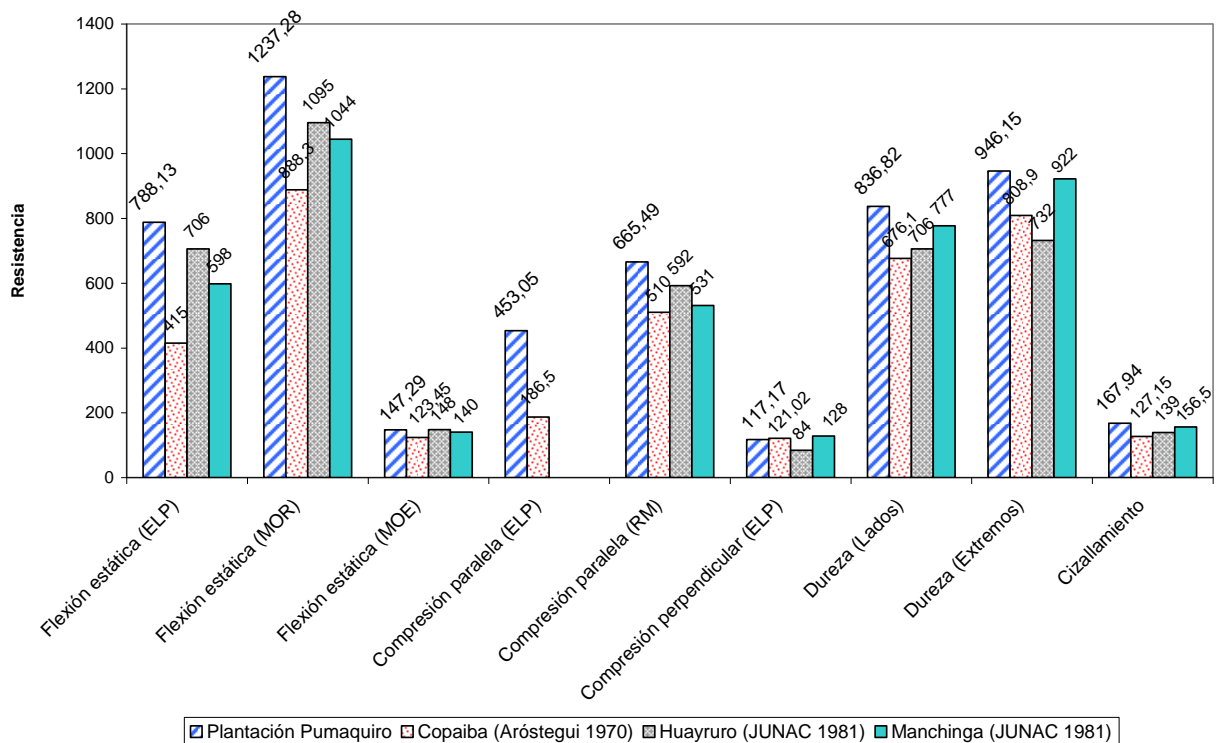


Figura 7 : Comparación de las propiedades mecánicas (condición 12%) de Copaiba (*Copaifera Officinalis*), Huayruro (*Ormosia coccinea*) y Manchinga (*Brosimum uleanum*) provenientes de bosque natural con Pumaquiro de plantación.

5. *CONCLUSIONES*

- La madera de Pumaquio varía longitudinalmente en las propiedades de contracción radial y longitudinal, flexión estática (ELP), compresión perpendicular, compresión paralela (RM) y tenacidad encontrándose que el nivel basal presenta mayor resistencia que el último nivel.
- La madera de Pumaquio presenta valores similares a los reportados para bosque natural, la clasificación que se ha obtenido para esta madera es: densidad básica alta, contracción volumétrica media y resistencia mecánica alta. Estas propiedades presentan baja variabilidad.
- Las propiedades físicas y mecánicas de la madera evaluada permiten asignarle los siguientes usos: estructuras y carpintería de obras (viviendas), mueblería, ebanistería.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios para conocer el comportamiento de la madera al encolado, así también a las maquinas (taladrado, moldurado) para confirmar su uso en carpintería de obra, mueblería, ebanistería. De la misma forma determinar el efecto de los nudos en la resistencia de la madera a escala natural, esto para su uso en estructuras se menciona debido a que se ha observado este defecto.
- Determinar las propiedades mecánicas de madera procedente de bosque natural en estado seco al aire (12%) para así ser una fuente adicional de comparación con los valores obtenidos en el presente estudio.
- Si bien la resistencia para esta madera (probetas libre de defectos) se ha encontrado que es alta, se recomienda realizar un estudio de productividad para determinar el porcentaje de madera libre de defectos que se pueda obtener y contraponer con el mantenimiento efectuado a esta plantación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aróstegui, A. 1970. Estudio de las propiedades físico- mecánicas de 16 especies maderables del país. Lima, PE, Centro de investigaciones forestales. v.2, 76 p.
2. Aróstegui, A. 1974. Estudio tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa): características tecnológicas y usos de la madera de 145 especies del país. Lima, PE, UNALM. v.1, 483 p.
3. Aróstegui, A. 1978. Estudio integral de la madera para construcción. Lima, PE, UNALM. 184 p.
4. Aróstegui, A. 1982. Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Lima, PE, PNUD/FAO/PER/71/511. 57 p. (Documento de trabajo N°2)
5. Angulo W.; Colán V.; Córdova N.; Galván O.; Marmillod D.; Nalvarte W.; Sabogal C. 2004. Silvicultura en la amazonía peruana: diagnóstico de experiencias en la Región Ucayali y la Provincia de Puerto Inca. Pucallpa, PE. 105 p.
6. Acevedo, M.; Kikata, Y. 1994. Atlas de maderas del Perú. Lima, PE, UNALM - Universidad de Nagoya Japón. 202 p.
7. Arroyo, J. 1983. Propiedades físico-mecánicas de la madera. Mérida, VE, Universidad de los Andes. 186 p.

8. ASTM (American Society for Testing and Materials). 2000. Standard test methods for small clear specimens of timber, designation: D 143 – 94 (Reapproved 2000) - Primary methods. Philadelphia, US. 31 p.
9. Cámara Nacional Forestal 1996. Utilización industrial de nuevas especies forestales en el Perú. Lima, PE. 240 p.
10. Chavesta, M. 2005. Maderas para pisos. Lima, PE, UNALM. 176 p.
11. Dávalos, R.; Bárcenas, G. 1999. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición “seca” (en línea). Madera y Bosques 5 (1): 61-60. Consultado 10 Marzo 2009. Disponible en <http://www.inecol.edu.mx/myb/resumeness/5.1/pdf/Davalos%20y%20Barcenas%201999.PDF>.
12. Flores, Y. 2002. Crecimiento y productividad de plantaciones de seis especies forestales nativas de 20 años de edad en el bosque Alexander von Humboldt, amazonía peruana. Tesis (Mag. Sc.). Turrialba, CR, CATIE. 87 p.
13. Flores, Y. 2004. Guía para el reconocimiento de regeneración natural de especies forestales de la Región Ucayali. Pucallpa, PE. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria. 80 p.
14. Haygreen, J., Bowyer, J. 1982. Forest products and wood science. An introduction. Iowa, US, The Iowa State University. 495 p.
15. Herrera, Z. 1987. Interrelación entre densidad básica y las características anatómicas del Tornillo (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke) y Pumaquiro (*Aspidosperma macrocarpon* Mart). Tesis (Mag. Sc.). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 217 p.

16. Holdridge, L. 1987 Ecología basada en zonas de vida. San José, CR, IICA. 216p.
17. JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena). 1981. Tablas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de 20 especies de Perú. Lima, PE. 40p.
18. Jozsa, L.A.; Middleton G.R. 1994. A discussion of wood quality attributes and their practical implications. Special publication no. SP-34. Vancouver, CA, Forintek Canada Corporation. 42 p.
19. NTP (Norma Técnica Peruana). Método para determinar el contenido de humedad. NTP 251.010.
20. NTP (Norma Técnica Peruana). Método para determinar la densidad. NTP 251.011.
21. NTP (Norma Técnica Peruana). Método para determinar la contracción. NTP 251.012.
22. Reynel C.; Pennington R. T.; Pennington T. D.; Flores C.; Daza A.; 2003. Árboles útiles de la amazonía peruana y sus usos. Lima, PE, Darwin initiative - ICRAF. 509 p.
23. U.S. Department of Agriculture. 1974. Wood handbook: wood as an engineering material. US. 454 p.
24. Wightman, K.; Cornelius, J.; Ugarte, J. 2006. Plantemos madera. Lima, PE, World Agroforestry Centre (ICRAF). 199 p.