

INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS XILEMATICOS EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE 45 MADERAS DEL PERU

Antonio Chambergo A. ¹
Antonio Aróstegui V. ²

RESUMEN

El presente trabajo analiza las relaciones entre las dimensiones de los elementos xilemáticos y las propiedades físico-mecánicas de 45 especies forestales tropicales; así mismo las relaciones entre densidad básica y las propiedades mecánicas.

Las ecuaciones calculadas para el primer caso, por tener un bajo coeficiente de determinación no son válidas para efectuar predicciones, pero sí lo son para describir la relación entre las variables. Las ecuaciones encontradas para determinar las propiedades mecánicas en función de la densidad básica dentro de los límites de confianza, al 95% de probabilidad son válidas para efectuar predicciones. Las ecuaciones más precisas se encontraron para Módulo de ruptura en flexión estática y cizallamiento.

SUMMARY

This paper analyzes the relationship between the size of xylematic elements and physical mechanical properties of 45 tropical wood species; the relationship between specific gravity and mechanical properties is also analyzed. In the first case, calculated equations are not valid to make predictions due to their low determination coefficient, but they can describe the relationship between variables.

Equations used to determine mechanical properties as a function of specific gravity are valid for predictions within confidence intervals of 95 o/o probability. The most precise equations were found for shear and modulus of rupture in static bending.

INTRODUCCION

Los bosques naturales, que cubren la superficie del Perú, tienen una extensión de 72'793,000 Has., la que representa el 53 por ciento del total del país (14); presentando una composición florística heterogénea calculada en por lo menos 2500 especies, de las cuales a la fecha se han identificado científicamente alrededor de 600 especies (13).

El aprovechamiento integral de los bosques heterogéneos del país requiere un conocimiento de las diferentes especies arbóreas, tanto de su estructura anatómica como de sus propiedades físico-mecánicas, para darles un uso adecuado.

En 18 años de investigación tecnológica de maderas nacionales, en los laboratorios del Departamento de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria "La Molina", se han estudiado alrededor de 120 especies. Sin embargo, aún existe gran número de especies no estudiadas y que requieren información tecnológica, mediante una investigación con el menor costo y tiempo posible.

¹ Ing. Forestal, UNA, La Molina.

² Profesor visitante. Dpto. de Industrias Forestales, UNA, La Molina.

En el presente trabajo se estudia la correlación entre las propiedades físico-mecánicas y las dimensiones de los elementos xilemáticos; asimismo, la correlación existente entre las propiedades mecánicas y la densidad básica de 45 maderas peruanas.

REVISION DE LITERATURA

Según Kollman (12) el porcentaje de la proporción de vasos en una madera varía del 2% al 65%, así como su distribución influye en la resistencia del leño. Así mismo ESAU (9), indica que el número de poros y su distribución influye en la resistencia del leño.

Gutiérrez (11), encontró una relación lineal directa de la resistencia con el número de poros por mm^2 , además indica que a mayor diámetro tangencial de poros (DTP) se obtiene una menor resistencia lineal simple de: -0.82, -0.81 y -0.81, para módulo de ruptura en flexión estática, máxima resistencia en compresión paralela al grano y dureza de lados, respectivamente.

Según ESAU (9), al parecer la distribución del parénquima es tan importante como su volumen total, siendo previsible que la resistencia quede reducida hasta un cierto límite, si se presenta formando bandas recurrentes. La madera con mayor porcentaje de parénquima tiene menor resistencia mecánica.

Además Kollman (12), agrega que la proporción de las fibras en el volumen total influye directamente en el peso específico y por consiguiente indirectamente en las características de resistencia e hinchazón.

Por otra parte Gutiérrez (11) determinó una relación inversa entre el diámetro de fibra (DF) y la resistencia mecánica; encontrando coeficientes de correlación lineal simple de -0.79, -0.81 y -0.81, para módulo de ruptura en flexión estática, máxima resistencia en compresión paralela al grano y dureza de lados respectivamente.

Fahn (10) indica sobre la influencia de la estructura anatómica en las propiedades de resistencia lo siguiente:

- Las características histológicas, que afectan la calidad de la madera son: la presencia o ausencia de fibras y su número relativo, el diámetro y grosor de sus paredes celulares, su longitud y la proporción en que se entrecrucen así como su forma recta o curvada, la anchura y el número de radios, la presencia o ausencia de tílides.
- El peso específico de la sustancia que forma las paredes celulares del xilema en todas las plantas es aproximadamente igual en todas (1) (10); por lo tanto la diferencia de densidad en las maderas depende de la proporción entre la cantidad de membranas y de lúmenes. Plantas con membranas gruesas, lumen estrecho y con alto porcentaje de fibras, tienen madera densa. Plantas con membranas de paredes finas y el lumen de la fibra y de las células de parénquima es amplio, tienen madera ligera.
- Madera con muchas fibras leñosas son fuertes y de allí que las maderas pesadas sean resistentes. La longitud de las fibras y el grado en que se entrecrucen, son, al parecer, de menor importancia para la resistencia de la madera.

Aróstegui (3) presenta las características tecnológicas de la madera de 40 especies del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt, determinadas con muestras de 5 árboles por especie. Describe las propiedades físico-mecánicas, características anatómicas de 40 especies. El mismo autor (2)

menciona las características anatómicas y propiedades físico-mecánicas de 20 especies, con aptitud para la industria de la construcción, determinadas con muestras de 10 árboles por especie.

PADT - REFORT (15, 16), presenta las siguientes ecuaciones de regresión:

$$Y \text{ Lin } 222.64 + 1651.71 X$$

$$Y \text{ Log } = \text{Ant. Log. } 3.1621 X^{1.28}$$

Con un coeficiente de correlación y determinación de:

0.93 y 0.86 para la ecuación lineal (Y lin)

0.94 y 0.89 para la ecuación logarítmica (Y Log).

Estas ecuaciones permiten calcular el módulo de ruptura en flexión estática, para maderas peruanas y maderas del Grupo Andino respectivamente.

Wood Handbook (18) presenta ecuaciones para determinar las propiedades mecánicas en función de la densidad básica (DB) las que se resumen en el Cuadro 1.

CUADRO1
ECUACIONES PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECANICAS EN
FUNCION DE LA DENSIDAD

	Madera verde	Madera seca al aire(CH = 12 %)
Flexión estática (lbs/pulg2)		
Módulo de ruptura	17600 G ^{1.25}	25700 G ^{1.25}
Módulo de elasticidad	2,36 G	2,80 G
Compresión paralela al grano (lbs/pulg2)Máxima resistencia	6730 G	12200 G
Dureza (lbs)Lados	3420 G ^{2.25}	3770 G ^{2.25}
Extremos	3740 G ^{2.25}	4800 G ^{2.25}

Para cada ecuación "G " representa la densidad en la condición indicada (verde o seca al aire).

MATERIALES Y PROCEDIMIENTO

5.1 Lugar de ejecución:

La toma de datos se efectuó en los Laboratorios de Anatomía y Tecnología de la Madera del Departamento de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria "La Molina".

El procesamiento estadístico se realizó en el Centro de Estadística y Procesamiento de Datos (CEPDA) de la Universidad Nacional Agraria "La Molina".

5.2 Selección de especies:

De las 55 maderas investigadas en los Laboratorios del Departamento de Industrias Forestales (U.N.A. La Molina), se han seleccionado 45 maderas, teniendo en cuenta los siguientes criterios: la

identificación botánica y precisión de resultados de los estudios anatómicos y físico-mecánicos que correspondan a ± 1 5% del promedio y con 95 % de probabilidad.

Las especies seleccionadas se presentan en el Cuadro 2.

5.3 Equipo y Herramientas:

- Proyector de láminas
- Microscopio
- Calculadoras
- Computadora IBM 4331 del Centro de Estadística y Procesamiento de Datos (CEPDA) Universidad Nacional Agraria La Molina.

5.4 Variables independientes y dependientes de las 45 maderas:

Los valores anatómicos (Variables Independientes) y físico-mecánicas (Variables Dependientes) de las 45 maderas estudiadas, se obtuvieron de los formatos originales correspondientes a los Estudios Tecnológicos de las Maderas del Perú (2,3).

Las variables independientes y dependientes corresponden a observaciones de 5 árboles por especie, a excepción de la especie 41, que sólo tiene 4 árboles.

De los estudios anatómicos, se han obtenido los siguientes valores, considerados como Variables Independientes (X):

- Diámetro Tangencial de Poros (u) : DTP
- Número de Poros por mm^2 : NP
- Longitud de Vasos (u) : LV
- Diámetro de Fibras (u) : DF
- Longitud de Fibras (u) : LF
- Altura de Radios (u) : AR

De los estudios de propiedades físico-mecánicas, se han obtenido los siguientes valores, considerados como variables dependientes (Y):

- | | |
|--|-----|
| - Densidad Básica (g/cm^3) | DB |
| - Relación Contracción Tangencial/Radial | T/R |
| - Contracción Volumétrica | CV |
| - Flexión Estática. Módulo de Ruptura (Kg/cm^2) | MOR |
| - Compresión paralela. Máxima Resistencia (Kg/cm^2) | MR |
| - Dureza Lados. Carga Máxima (Kg/cm^2) | DL |
| - Dureza Extremos. Carga Máxima (Kg/cm^2) | DE |
| - Cizallamiento Paralelo al Grano radial y tangencial promedio (Kg/cm^2) | CZ |

La evaluación de la información sobre los valores de los elementos anatómicos y propiedades físico-mecánicas, se realizó de la siguiente forma:

- Elementos anatómicos:
 - Verificación de los registros de los libros correspondientes, con la numeración de las láminas.

- Proyección de las láminas, de los 5 árboles para verificar las descripciones de los distintos árboles que correspondan a la misma especie.
- Eliminación de árboles, que no correspondan a la especie.
- Comprobación de los valores dimensionales de cada árbol; aquellos valores que se apartaron de la variación normal fueron descartados y se realizó una nueva descripción y medición.

- Propiedades físico-mecánicas:

- Verificación que los números de registro de los formatos de ensayos físico-mecánicos correspondieran al mismo número de árbol, del cual se obtuvieron los valores anatómicos.
- Verificación de la correcta determinación de la carga máxima, en el gráfico carga-deformación, para flexión y compresión.

5.5 Análisis Estadísticos:

Se calcularon los siguientes parámetros: Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación entre árboles. Las variables en estudio se digitaron, para poder efectuar regresiones haciendo uso de la computadora IBM 4331.

Se determinó el coeficiente de regresión lineal simple. Se elaboraron diagramas de dispersión. Se efectuó una regresión lineal múltiple, usando un proceso de selección de variables "STEPWISE" para cada variable dependiente en función de las variables independientes, con la ecuación encontrada, y a un nivel de 95% de probabilidad, se determinaron los valores predichos para cada observación; los valores predichos (Y_c) y los observados (Y_o), ambos comparados determinaron un error " $e_i = Y_c - Y_o$ ". Con los errores obtenidos se efectuó un examen de residuos por un proceso gráfico, con el fin de determinar la influencia de otros factores que pueden afectar el modelo, o si es necesario, transformar las variables a fin de obtener mayores coeficientes de determinación.

Las variables se transformaron formándose los modelos No. II al XI (Cuadro 3), con los cuales también se efectuó una regresión lineal múltiple.

5.6 Determinación de la regresión lineal simple entre las propiedades mecánicas y densidad básica:

Para este caso las propiedades mecánicas se consideraron como variables dependientes (Y) y la densidad básica, como variable independiente (X).

La tendencia de los valores observados de las variables, se graficaron en un eje de coordenadas cartesianas. La regresión determina una ecuación para cada variable dependiente, en función de la densidad básica y con un nivel de 0.95 de probabilidad, se calcularon los valores predichos para cada observación.

Los valores observados (Y_o) y calculados (Y_c), se graficaron en un eje de coordenadas cartesianas.

CUADRO 2
RELACION DE ESPECIES ESTUDIADAS

Nº.	Nombre Comun	Nombre Científico	Familia
1	Almendro	Caryocar coccineum Pilger.	Caryo caraceae
2	Cachimbo	Cariniana domesticata Mart.	Lecythydiaceae
3	Caimito	Pouteria sp.	Sapotaceae
4	Caoba	SwieteniamacrophyllaG. King.	Meliaceae
5	Carahuasca	Guatieria decurrens R.E. Fries	Annonaceae
6	Cásho moena	Ocotea sp.	Lauraceae
7	Catahua amarilla	Hura crepitans L.	Euphorbiaceae
8	Cacho masha	Sapium marmieri Huber	Euphorbiaceae
9	Copaiba	Copaifera officinalis L.	Caesalpinaceae
10	Cumala blanca	Virola sp.	Myristicaceae
11	Charichuelo	Rheedia sp.	Guttiferae
12	Chimicua	Pseudolmedia laevis (R. y P.) Macbr.	Moraceae
13	Estoraque	Myroxylon peruiferum L.	Papilionaceae
14	Huacamayo caspi	SicKingia tinctoria	Rubiaceae
15	Hualaja	Zanthoxylum sp.	Rutaceae
16	Huayruro	Ormosía shunkei Ludd.	Papilionaceae
17	Huayruro	Ormosia coccinea Pers.	Papilionaceae
18	Huimba	Ceiba samauma (Mart.) Schum.	Bombacaceae
19	Machimango blanco	Eschweilera timbuchensisKnuth.	Lecythydiaceae-
20	Machin zapote	Guararibea bicolor (Ducke) Cuatr.	Bombacaceae
21	Manchinga	Brosimum uleanum Mildbr.	Moraceae
22	Marupa	Simarouba amara Aubl.	Simaroubaceae
23	Mashonaste	Clarisia racerosa R.y P	Moraceae
24	Moena negra	Nectandra sp.	Lauraceae
25	Palisangre	Pterocarpus sp.	Papilionaceae
26	Palisangre negro	Pterocarpus sp.	Papilionaceae
27	Panguana	Brosimum utile (H.13. k«) Pitt.	Moraceae
28	Paujil ruro	Pterygota sp.	Sterculiaceae
29	Pumaquiro	Aspidosperma macrocarpon Mart.	Apocynaceae
30	Punga	Bombax paraense Ducke	Bombacaceae
31	Quina quina	Lucuma sp.	Sapotaceae
32	Quinilla colorada	Manilkara bidentata A.D C.	Sapotaceae
33	Requia	Guarea kunthiana A., Juss.	Meliaceae
34	Sachavaca micuna	Trophis sp.	Moraceae
35	Shiringa	Hevea sp.	Euphorbiaceae
36	Tahuari	Tabebuia serratifolia (Vahi), Nicholson	Bignoniaceae
37	Tamamuri	09cocisia sp.	Moraceae
38	Tornillo	Cedrelinga catenaeformis Ducke	Mimosaceae
39	Ubos	Spondias mombin L.	Anacardiaceae
40	Uchumullaca	Trichilia sp.	Meliaceae
41	Ucshaquíro blanco	Sclerolobium sp.	Caesalpinaceae
42	Yacushapana	Terminalia oblonga R V P. Eichier	Combretaceae
43	Yanchama	Poulsenia armata (Miq) Standl.	Moraceae
44	Yutubanco	Heisteria sp.	Olacaceae
45	Zapote	Quararibea cordata (H. y B.) Vischer.	Bombacaceae

RESULTADOS

6.1 Análisis de regresión entre los valores anatómicos versus propiedades físico-mecánicas:

El coeficiente de correlación y determinación lineal simple (r y $100 r^2$) se presenta en el Cuadro 4. Los diagramas de dispersión no presentan una tendencia lineal acentuada lo que se puede notar en las Figuras 1 y 2 que sirven como ejemplo. La regresión lineal múltiple del Modelo 1, así como la de los modelos No. II al XI, presentan bajos coeficientes de determinación, como se puede observar en el Cuadro 5, donde además se presenta la variable que por no ser significativa para el modelo durante el proceso de regresión múltiple, se eliminó

Los gráficos de los residuos muestran la presencia de factores no incluidos en los modelos I al X I.

6.2 Análisis de regresión lineal simple, entre las propiedades mecánicas versus densidad básica (DB):

El Cuadro 6 presenta la ecuación encontrada para cada variable así como su coeficiente de determinación. Las Figuras 3, 4, 5, 6, 7, presentan los valores observados y los calculados con las ecuaciones determinadas.

**CUADRO 3
MODELOS PARA REGRESION LINEAL MULTIPLE**

Modelo	Variables Independientes					
	X1	X2	X3	X4	X5	X6
I	DTP	NP	LV	DF	LF	AR
II	rr/4 DTp2 NP LV	LF/DF	AR	-	-	-
III	rr/4 DTp2 LV NP	LF	DF	AR	-	-
IV	rr/4 DTp2 LV NP	LV	LF/DF	AR	-	-
V	rr/4 DTp2 NP	LV	DF	LF	AR	-
VI	rr/4 DTp2 NP	NP	LF/DF	AR	-	-
VII	rr/4 DTp2 LV	NP	DF	LF	AR	-
VIII	rr/4 DTp2	NP	LV	LF/DF	AR	-
IX	rr/4 DTp2	NP	LV	DF	LF	AR
X	rr/4 DTp2 NP	DF	AR	-	-	-
XI	rr/4 DTp2	NP	DF	AR	-	-

Los intervalos de confianza al nivel de 0.05 de probabilidad, de las ecuaciones calculadas en función de la densidad básica son las siguientes:

- Módulo de ruptura en Flexión estática (Kg/cm^2): 737.1428 ± 36.18
- Máxima resistencia en Compresión paralela (Kg/cm^2): 373.3080 ± 19.11 .
- Máxima resistencia en Dureza de lados (Kg/cm^2): 549.3528 ± 38.99
- Máxima resistencia en Dureza de extremos (Kg/cm^2): $522:4062 \pm 34.40$
- Máxima resistencia en Cizallamiento (Kg/cm^2): $93.9821 \pm 4,82$

Los intervalos de confianza se calcularon con la fórmula descrita en el estudio tecnológico de las maderas del Perú. Normas y Métodos Vol. II (1).

DISCUSION

En el Cuadro 4 se observa que entre las dimensiones de los elementos anatómicos y las propiedades físico-mecánicas existe asociación lineal, ya sea directa o inversa; pero el grado en que influyen las dimensiones de los elementos anatómicos sobre las propiedades físico-mecánicas es muy bajo, el coeficiente de determinación encontrado varía desde 0.81 a 41.33.

Los valores de los coeficientes de correlación calculados (r_c) concuerdan con los diagramas de dispersión para las variables, puesto que sólo para la correlación de las dimensiones de los elementos xilemáticos y diámetro de fibras (DF), la asociación lineal es más acentuada que con las otras variables y con el fin de aumentar los valores del coeficiente de correlación, efectuamos regresiones múltiples.

Los valores calculados por las ecuaciones determinadas con el modelo I, sirvieron para encontrar los residuos.

El examen de residuos determinó la presencia de variables no incluidas en la ecuación hallada. La transformación de variables no dio el resultado esperado, el cual era conseguir elevar el coeficiente de correlación (ver Cuadro 5) salvo el caso del modelo VIII donde el coeficiente de correlación aumenta de 0.3462 a 0.3559. Para las demás variables los coeficientes de correlación de los modelos los II al XI son menores a los encontrados con el modelo I.

La eliminación de variables para un modelo dado indica que la transformación no es la apropiada o que una transformación es más significativa que la otra y por consiguiente una de ellas es eliminada; o en su defecto ellas contribuyen a explicar la variable dependiente, entonces se consideran significativas para el modelo.

El Cuadro 6 presenta las ecuaciones determinadas para las propiedades mecánicas en función de la densidad básica. Los análisis de variancia de la regresión son muy significativos ($F_c > F_t$), a un nivel de 95 por ciento de probabilidad, las ecuaciones dadas por la regresión, tienen coeficientes de determinación de 0.8172 a 0.5205 para máxima resistencia en dureza de lados (DL) y cizallamiento (CZ) respectivamente.

El valor del coeficiente de determinación para la variable módulo de ruptura (MOR) en flexión es de 0.7470, el cual es menor al determinado por PADT - REPORT (25), que es de 0.83 a 0.86, para maderas peruanas y del Grupo Andino, respectivamente.

Las ecuaciones calculadas para evaluar las propiedades mecánicas en función de la densidad básica, al ser significativas al nivel de 5 por ciento de probabilidad y con un alto coeficiente de determinación, dentro de los límites de confianza, son válidas para efectuar predicciones pero debemos de tener en cuenta, que la ecuación dada para la variable dependiente máxima resistencia (MR) en compresión paralela evalúa con exceso la variable; para dureza de lados y extremos, también se evalúa en exceso, pero es más precisa que el anterior. Lo que se puede observar en las Figuras 3, 4, 5, 6, 7.

Las variables módulo de ruptura (MOR) en flexión estática y cizallamiento son evaluadas muy bien por sus respectivas ecuaciones.

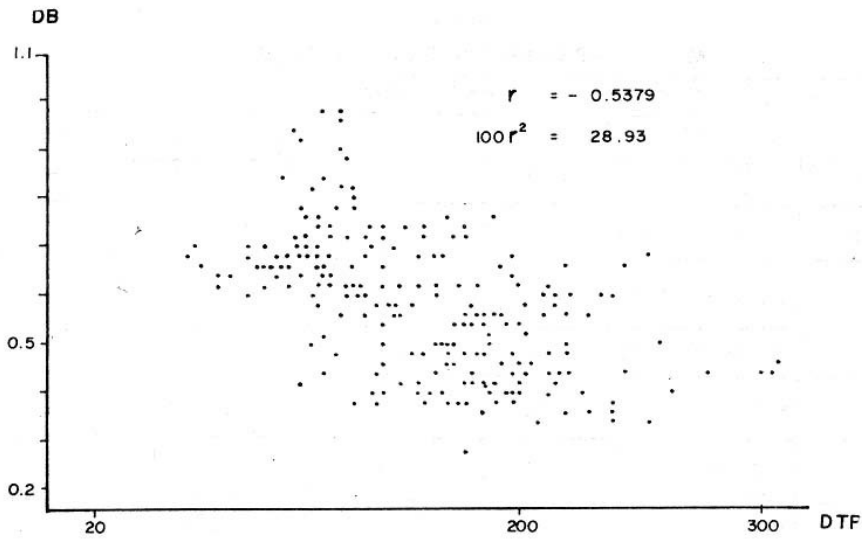


Fig. 1 CORRELACION ENTRE DIAMETRO TANGENCIAL DE PORO (DTP) Y DENSIDAD BASICA (DB).

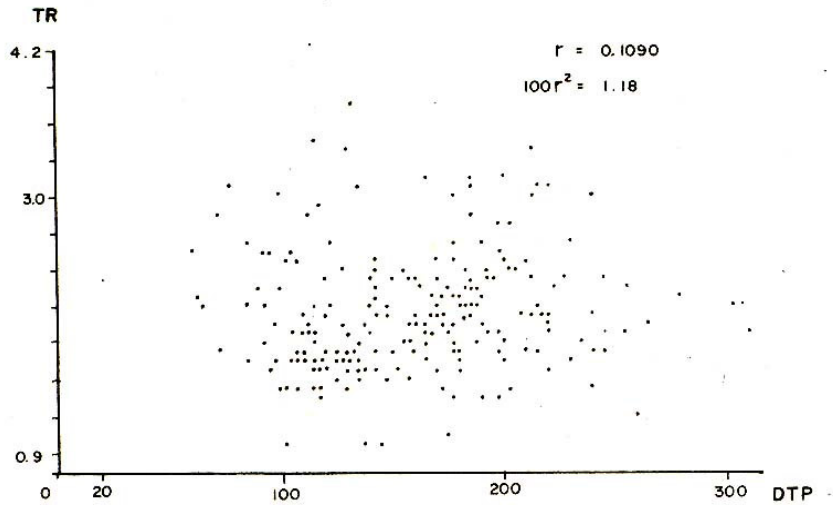


Fig. 2 CORRELACION ENTRE DIAMETRO TANGENCIAL DE PORO (DTP) Y CONTRACCION TANGENCIAL / RADIAL (T/R)

CUADRO 4
COEFICIENTES DE CORRELACION Y DETERMINACION EN REGRESION LINEAL SIMPLE

Variables Independientes		VARIABLES DEPENDIENTES							
		D13	T/R	CV	MOR	MR	DI.	DE	Cz
DTP	r	-0,5379	0,1090	-0,3145	-0,4816	-0,4408	-0,5101	-0,5454	-0,3729
	100r ²	28,93	1,1800	9,89	23,19	19,43	26,02	29,74	13,90
NP	r	0,3967	0,0900	0,1337	0,3450	0,3211	0,3603	0,4009	0,2775
	100 r ²	15,73	0,81	9,84	11,90	10,31	12,98	16,07	7,70
LV	r	-0,2119	0,1706	0,2719	-0,322	-0,3746	-0,3259	-0,3178	-0,3268
	100 r ²	4,49	2,91	7,39	10,36	14,03	10,62	10,09	10,67
DF	r	-0,6411	0,2694	-0,2341	-0,5814	-0,5468	-0,6218	-0,6429	-0,4538
	100 r ²	41,10	7,25	5,48	33,80	29,89	38,66	41,33	20,59
LF	r	-0,1505	0,2870	0,3294	-0,2511	-0,2571	-0,2559	-0,2688	-0,2151
	100 r ²	2,26	8,23	10,85	6,30	6,61	6,54	7,22	4,62
AR	r	-0,2705	0,3253	0,2134	-0,3231	-0,3427	-0,3498	-0,3513	-0,3774
	100 r ²	7,31	10,58	4,55	10,43	11,74	12,23	12,34	14,24

S

Significado de los coeficientes de correlación

Grados de libertad
N - 2
222

Probabilidad
0,05 0,01
0,1325 0,1737

Publisor

CUADRO 5
COEFICIENTE DE DETERMINACION Y VARIABLE NO SIGNIFICATIVA

Modelo	DB	T/R	CV	MOR	MR	DL	DE	CZ
I	0,5463	0,1659	0,3462	0,476	0,4623	0,5126	0,575	0,3668
	--	LV - LF	--	--	--	--	--	--
II	0,3293	--	0,3275	0,2429	0,2229	0,2861	0,3003	0,2226
	rr/4 DTP2 NP LV	--	--	rr/4 DTP2NPLV	rr/4DTp2NPLV	rr/4DTP2NPLV	rr/4DTp2NPLV	rr/4DTP2NPLV
III	0,4376	--	0,3243	--	--	--	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--
IV	0,3591	--	0,3247	0,3074	0,3225	0,3487	0,3591	0,2728
	rr/4 DTP2NP	--	--	rr/4DTp2NP	rr/4DTp2NP	rr/4DTp2NP	rr/4DTp2NP	rr/4DTp2NP
V	--	--	--	0,3641	0,3526	0,4225	0,4368	0,2878
	--	--	--	LF-AR	LF-AR	-	LV-LF	rr/4 DTp2NP
VI	0,4967	--	0,3366	0,4098	0,4014	0,4635	0,5087	0,3241
	-	--	rr/4DTP2NP	NP	NP	-	-	NP
VII	0,5261	--	0,3322	0,4411	0,4188	0,4916	0,5412	0,3305
	AR	--	--	LF-AR	LF	LF-AR	LF-AR	NP
VIII	0,5237	--	0,3559	0,4588	0,4605	0,507	0,5507	0,3588
	--	--	--	--	--	--	--	--
IX	0,5418	--	0,3432	0,4597	0,462	0,5238	0,5563	0,3635
	--	--	--	LF-AR	--	--	LF-AR	--
X	--	0,1306	--	--	--	--	--	--
	--	rr/4 DTP2NP	--	--	--	--	--	--
XI	--	0,0962	--	--	--	--	--	--
	--	rr/4 QTP2AR	--	--	--	--	--	--

En cada cuadrícula el número representa el coeficiente de determinación y la parte inferior la variable independiente no significativa para el modelo.

CUADRO 6

ECUACION CALCULADA PARA LAS PROPIEDADES MECANICAS(Y) EN FUNCION DE LA DENSIDAD BASICA (X)
 $Y = a + b, x$

Variable Independiente (DB)		Variables Dependientes (Y)				
		MOR	MR	DL	DE	CZ
X1	a	-227,247	-119,705	-537,56	-423,09	-13,2566
	b,	1678,894	858,28	1892,14	1646,004	186,691
Coeficiente de determinación para la ecuación calculada		74,70	69,99	81,72	79,42	52,05

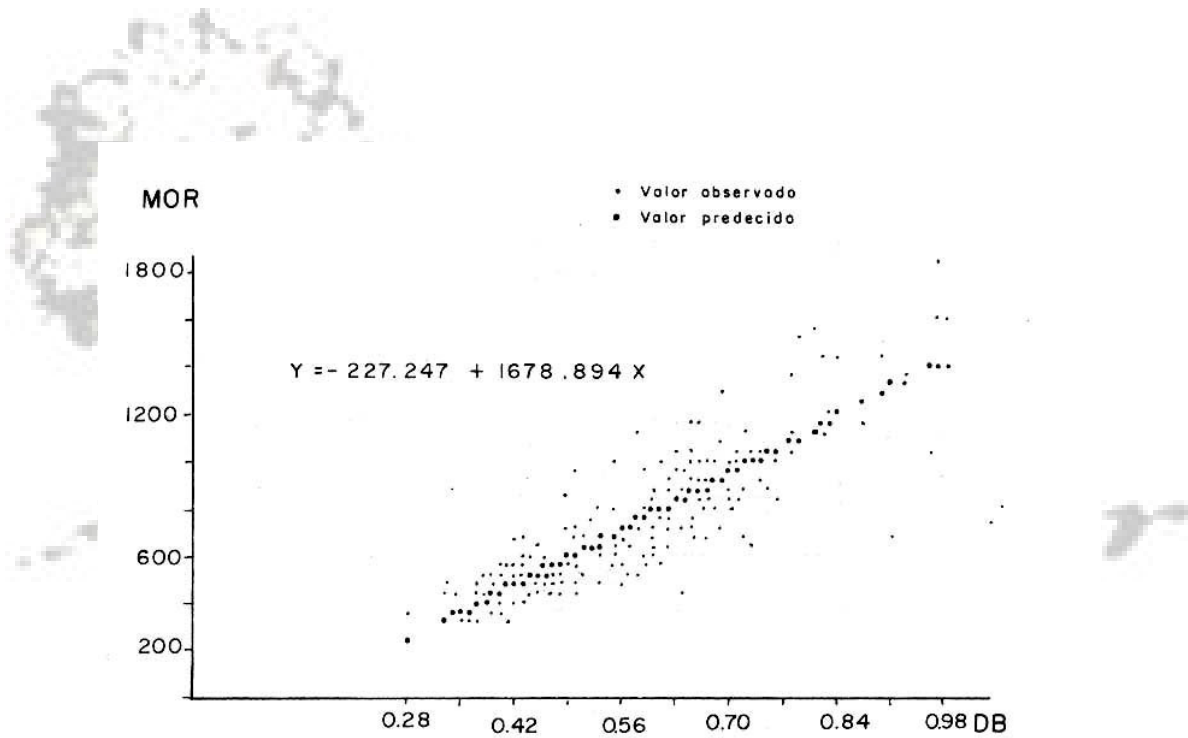


Fig. 3 VALORES OBSERVADOS Y VALORES PREDECIDOS PARA MODULO DE RUPTURA (MOR) EN FLEXION ESTATICA.

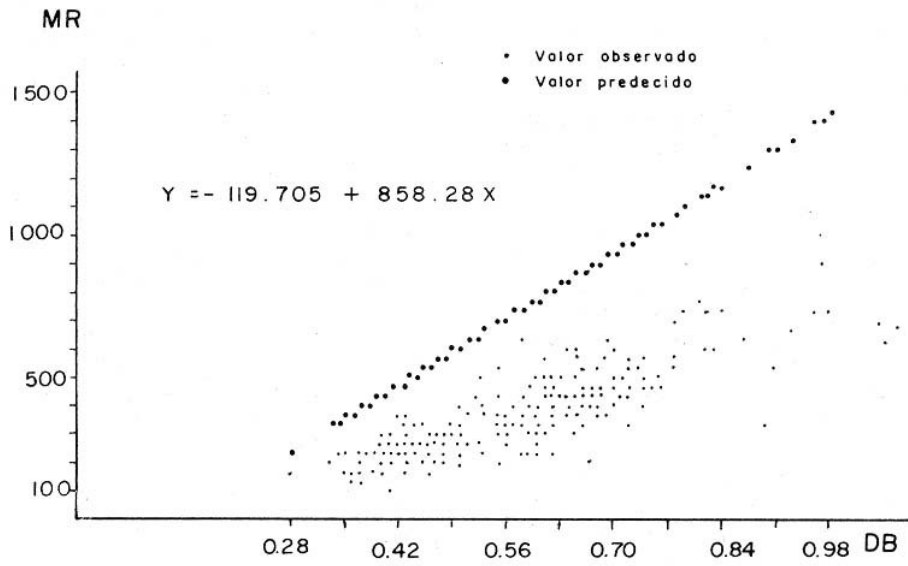


Fig. 4 VALORES OBSERVADOS Y VALORES PREDECIDOS PARA MAXIMA RESISTENCIA (MR) EN COMPRESION PARALELA.

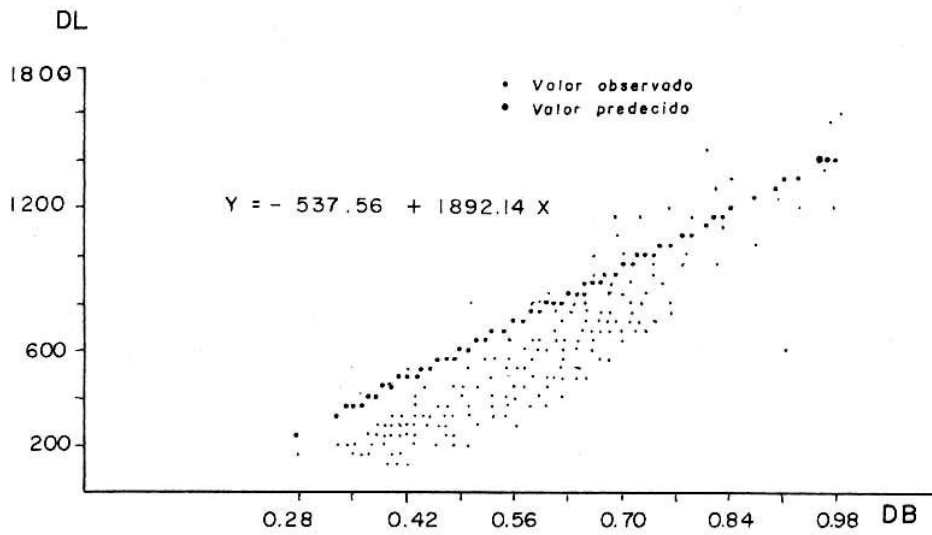


Fig. 5 VALORES OBSERVADOS Y VALORES PREDECIDOS PARA MAXIMA RESISTENCIA EN DUREZA DE LADOS (DL).

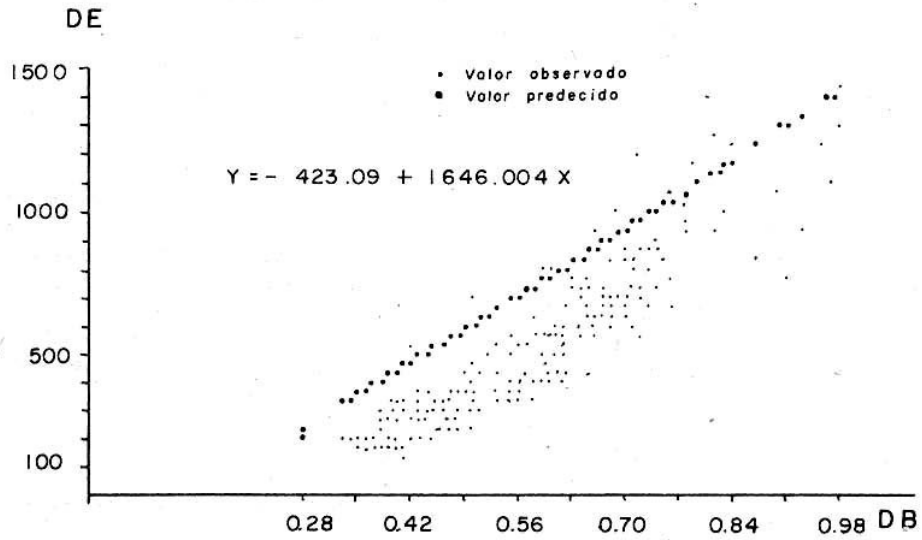


Fig. 6 VALORES OBSERVADOS Y VALORES PREDECIDOS PARA MAXIMA RESISTENCIA EN DUREZA DE EXTREMOS (DE).

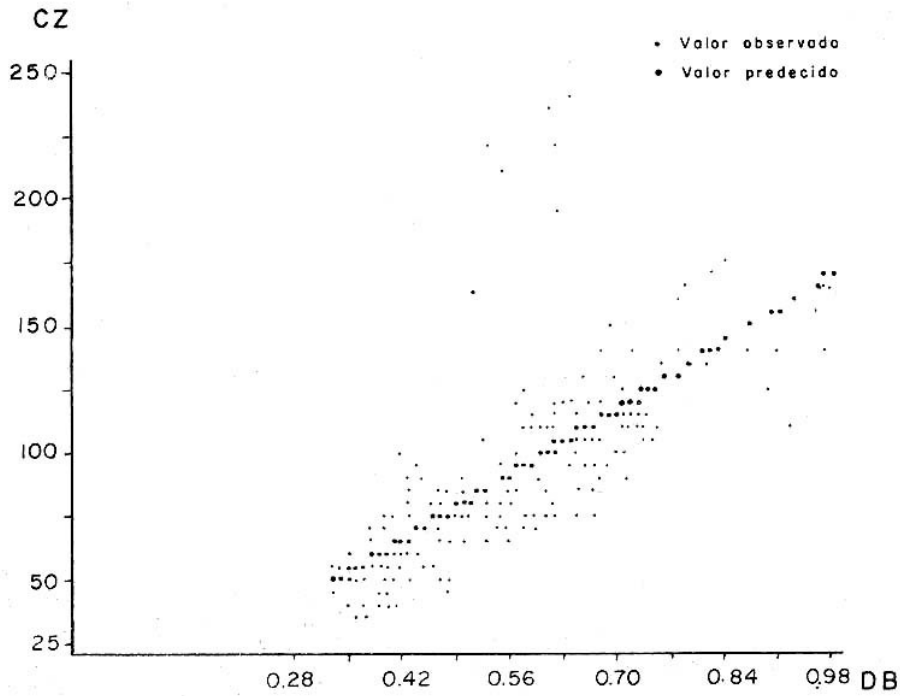


Fig. 7 VALORES OBSERVADOS Y VALORES PREDECIDOS PARA CIZALLAMIENTO (CZ).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 De acuerdo a los coeficientes de correlación y determinación obtenidos, se deduce que el grado de asociación entre los valores dimensionales de los elementos xilemáticos y las propiedades físico-mecánicas es muy bajo.

8.2 Con el fin de aumentar el grado de asociación, se determinaron las ecuaciones de regresión lineal múltiple. Del análisis de estas ecuaciones se llegó a la conclusión que, debido al bajo coeficiente de determinación, las ecuaciones halladas no son válidas para efectuar predicciones, pero si lo son para describir la relación entre las variables en estudio.

8.3 En base a los coeficientes de correlación y determinación, se concluye que el grado de asociación entre las propiedades mecánicas y la densidad básica es alta. Las ecuaciones obtenidas, dentro de los límites de confianza al 95% de probabilidad, son válidas para efectuar predicciones.

8.4 Para estudios posteriores se debe de tener especial cuidado en la toma de datos, recomendando las siguientes pautas:

- Las mediciones de los elementos xilemáticos, deben efectuarse de la misma probeta ensayada en propiedades físico-mecánicas, con la finalidad de eliminar la variabilidad que existe dentro del árbol.
- Se debe incluir un factor por el tipo de grano que presente la especie, siendo aún más preciso si éste factor se subdivide con la finalidad de relacionar la intensidad del tipo de grano.
- Debemos considerar un factor por la clase de parénquima que presenta la especie, así como su distribución y abundancia.
- Realizar nuevos estudios, con la finalidad de completar otros valores de la estructura anatómica relacionada directamente con las propiedades físico-mecánicas.

BIBLIOGRAFIA

1. AROSTEGUI V.A. Estudio Tecnológico de las Maderas del Perú. Normas y Métodos. Vol. II Universidad Nacional Agraria. Lima 1975, 104 pág.
2. ---- Estudio Integral de la Madera para Construcción. Universidad Nacional Agraria. Lima 1975. 171 pág.
3. ---- 1980-1981. Propiedades Tecnológicas y Uso de la Madera de 40 Especies del Bosque Nacional - Alexander Von Humboldt. Revista Forestal del Perú. Universidad Nacional Agraria. Ministerio de Agricultura. Vol. X No. 1 (3-82).
4. ---- Recopilación y Análisis de Estudios Tecnológicos de Maderas Peruanas. Proyecto PNUD /FAO/81/ 002. Lima. Abril 1982. 57 pág. (Doc. de Trabajo 2).
5. CALZADA, B.J. Métodos Estadísticos para la Investigación. Editorial Jurídica. Lima 1970. 643 pág.

6. COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS. Método para realizar el Análisis Estadístico de las Propiedades de las Maderas. Anteproyecto de Normas COPANT 30:1-112. Junio 1972. 99 pág.
7. CHATTERJEE, S.y PICE,B. Regression Analysis by, Example. John Wiley & Sons. New York. Marzo 1982. 228 pág.
8. DRAPER, N. & SMITH H. Applied Regression Analysis. John Wiley & Sons. New York, Marzo 1966.173 pág.
9. ESAU, K. Anatomía Vegetal. Ediciones Omega S.A. Barcelona España 1959. 729 pág.
10. FAH, A. Anatomía Vegetal. Ediciones H. Blume-Madrid España. 2da. Edición. 1978. 643 pág.
11. GUTIERREZ, E. Clave de Identificación e Influencia de la Estructura Anatómica en las Propiedades Mecánicas de 14 especies forestales comerciales del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt. Tesis Ing. Forestal. Lima Universidad Nacional Agraria La Molina. 1983 136 pág.
12. KOLLMAN, F. Tecnología de la Madera y sus aplicaciones. Tomo 1 Traducción de la 2da, Edición. Ministerio de Agricultura - Instituto Forestal de Investigaciones. Experiencias y Servicio de la Madera - Madrid 1959. 647 pág.
13. LAO, M.R. 1969 Catálogo preliminar de Especies Forestales del Perú. Revista Forestal del Perú. Vol. 3. 64 pág.
14. MALLEUX, O.J. Mapa Forestal del Perú. Memoria explicativa. Universidad Nacional Agraria. Lima 1975. 161 pág.
15. PADT-REFORT. Estudio de las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de 104 especies de los bosques tropicales de la sub-región. Junac. Lima. 1979. 197 p.
16. - - - Tablas de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de 20 especies del Perú. Grupo no Junac. 1ra. Edición. Lima. 1981. 53 pág.
17. SOTO N, ESCOLASTICO. El análisis de la varianza. Boletín Técnico No. 16. Ministerio de Agricultura y Cría. Centro de Investigación Agronómicas Maracay. Venezuela. Marzo 1963. 47 pág.
18. WOOD HANDBOOK U.S. Department of agriculture Forest Service. Agriculture Handbook- No. 72. Agosto 1974. 389 pág.