PROYECTO DE NORMAS PARA LA EVALUACION DE RESULTADOS SOBRE PROPIEDADES FISICAS DE LA MADERA

POR:

*H. Hoheisel** *O. López***

INTRODUCCION

La correcta evaluación de los resultados obtenidos en los ensayos de propiedades físicas de la madera tiene gran importancia en su aplicación. Es necesario adoptar una base que permita comparar los datos obtenidos en los de diferentes laboratorios y que permita también utilizar estos resulados con el objeto de proponer los usos más adecuados, aprovechando al máximo las propiedades de cada especie. En la evaluación de los resultados no basta con dar solamente una idea de los valores promedios de las diferentes propiedades físicas sino que es necesario conocer también la forma como estos valores varían. Este propósito sólo se logra mediante un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

* *Experto FAO. Laboratorio de Productos Forestales. Departamento de Recursos Forestales. Universidad Nacional, Medellín.*

** *Profesor Asistente, Laboratorio de Productos Forestales. Departamento de Recursos Forestales. Universidad Nacional, Medellín.*

1. *Términos estadísticos y análisis correspondiente.*

El análisis estadístico nos proporciona datos válidos solamente cuando la recolección de las probetas se ha realizado siguiendo las normas establecidas para la selección del material en el estudio de las propiedades físicas de la madera. (4). Si se han tenido en cuenta estas normas el análisis estadístico de cada ensayo se podrá hacer en base a los siguientes datos: (1, 3, 5, 6, y 7).

1.1. Datos requeridos para la evaluación estadística.

1.1.1. Número de árboles ensayados (k)

1.1.2. Número de probetas por árbol (*l*)

1.1.3. Número total de probetas por especie (N)

$$N = l_1 + l_2 + l_3 + \cdots\cdots\cdots l_k = \sum_{j=1}^{k} l_j \qquad (1)$$

1.2. Valores promedios.

1.2.1. Valor promedio ($\bar{x}$) de los valores individuales por árbol:

$$\bar{x} = \frac{1}{l}\left(x_1 + x_2 + x_3 + \cdots\cdots\cdots x_l\right) = \frac{1}{l}\sum_{i=l}^{l} x_i \qquad (2)$$

1.2.2. Valor promedio total ($\bar{\bar{x}}$) de todos los valores individuales.

1.2.2.1. Para el caso de que el número de probetas (*l*) por árbol sea igual en todos los árboles a ensayar:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k}\left(\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \cdots\cdots\cdots \bar{x}_k\right) = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k} \bar{x}_j \qquad (3)$$

1.2.2.2. Para el caso de que el número de probetas por árbol (*l*) no sea igual para todos los árboles de una especie a ensayar:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{N}\sum_{l=1}^{l}\sum_{j=1}^{k} x_{ij} \; * \qquad (4)$$

1.3. Variancia y error estandar correspondiente:

---

* *Es decir, se calcula el promedio total ($\bar{\bar{x}}$) directamente de los valores individuales.*

1.3.1. Estimación de la variancia (s^2) de los valores individuales dentro de cada árbol

$$s^2 = \frac{1}{l-1} \sum_{i=1}^{l} (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{l-1} \left[\sum_{i=1}^{l} x_i^2 - \frac{1}{l} \left(\sum_{i=1}^{l} x_i \right)^2 \right] \quad (5)$$

1.3.2. Estimación de la variancia (s_1^2)de los valores individuales entre los (k) árboles para un mismo número (*l*) de probetas, calculada de los valores promedios de cada árbol y del valor promedio total según:

$$s_1^2 = \frac{l}{k-1} \sum_{j=1}^{k} (\bar{x}_j - \bar{\bar{x}})^2$$

$$= \frac{l}{k-1} \left[\sum_{j=1}^{k} \bar{x}_j^2 - \frac{1}{k} \left(\sum_{j=1}^{k} \bar{x} \right)^2 \right] \quad (5a)$$

1.3.3. Estimación de la variancia promedia (s_2^2) de los valores de las variancias de cada árbol según:

$$s_2^2 = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k} s_j^2 \quad 6)$$

1.3.4. Estimación de la variancia (s_T^2) de todos los valores individuales alrededor del promedio total calculada de los valores individuales de cada resultado obtenido y del valor promedio total para un mismo número (*l*) de probetas en cada árbol según:

$$s_T^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{\bar{x}})^2$$

$$= \frac{1}{N-1} \left[\sum_{l=1}^{N} x_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^{N} x_i \right)^2 \right] \quad (5b)$$

1.3.5. En el caso de que el número (*l*) de las probetas por árbol no sea igual para los (k) árboles se determinan las diferentes variancias según esquema siguiente (1, 2 y 7).

(VER APENDICE I)

1.4. Errores estandar correspondientes:

Determinada la raíz cuadrada de las diferentes variancias (s^2, s^2_1, s^2_2 y s^2_T) se obtienen los errores estandar correspondientes

1.5. Coeficientes de variación:

1.5.1. El coeficiente de variación (cv_1) para la variancia de los valores individuales entre los (**k**) árboles según:

$$CV_1 = \frac{s_1 \cdot 100}{\bar{\bar{x}}} \quad [\%] \qquad (7)$$

1.5.2. El coeficiente de variación (cv_2) para la variancia promedia de los valores de las variancias dentro de los (k) árboles según:

$$CV_2 = \frac{s_2 \cdot 100}{\bar{\bar{x}}} \quad [\%] \qquad (8)$$

1.5.3. El coeficiente de variación total (cv_T) para la variancia de los valores individuales (x_i) alrededor del promedio total ($\bar{\bar{x}}$) según:

$$CV_T = \frac{s_T \cdot 100}{\bar{\bar{x}}} \quad [\%] \qquad (9)$$

1.6. Intervalo de confianza para el valor promedio total:

1.6.1. Valor absoluto ($\pm$ q):

Como el valor promedio total ($\bar{\bar{x}}$) de un muestreo es solamente una estimación del promedio (μ) de la población, también se necesita presentar en el análisis estadístico el intervalo de confianza ($\pm$ q) del valor promedio total ($\bar{\bar{x}}$) para una seguridad estadística postulada (generalmente 95%). El valor del promedio total ($\bar{\bar{x}}$) del muestreo más o menos el intervalo de confianza ($\pm$ q) incluye el "verdadero" valor promedio de la población (μ), con una probabilidad dada. Los límites correspondientes se calculan del valor promedio total del muestreo ($\bar{\bar{x}}$) y del error estandar de los (N) valores individuales entre los (k) árboles según:

$$\bar{\bar{x}} \pm q = \bar{\bar{x}} \pm t\ (k-1) \cdot \frac{s_1}{\sqrt{N}} \qquad (10)$$

En esta fórmula [t] es un factor que depende de k — 1 y que tiene los siguientes valores para una seguridad estadística de 95% como demuestra la tabla siguiente:

k—1	2	3	4	5	7	9	14	19
t (k—1)	4.30	3.18	2.78	2.57	2.37	2.26	2.09	1.96

1.6.2. Valor relativo del intervalo de confianza ($\pm q$):

Los límites del valor promedio total, calculados según la fórmula [10] se pueden expresar también en forma relativa en porcentaje según:

$$\pm p = 100 \pm \frac{q \cdot 100}{\bar{\bar{x}}} \quad [\%]$$

$$= \left(1 \pm \frac{q}{\bar{\bar{x}}}\right) \cdot 100 \qquad (11)$$

$$= \left(1 \pm t_{(k-1)} \cdot \frac{s_1}{\bar{\bar{x}} \cdot \sqrt{N}}\right) \cdot 100$$

$$= 100 \pm t_{(k-1)} \cdot \frac{CV_1}{\sqrt{N}} \quad [\%]$$

A P E N D I C E I

DETERMINACION DE LAS VARIACIONES

	Número de grados de libertad	*Suma de cuadrados de la desviación*	*Variación*
Entre los grupos	$n_1 = k - 1$	$A_1 = II - I$	$s_1^2 = \frac{A_1}{n_1}$
Dentro de los grupos	$n_2 = N - k$	$A_2 = III - II$	$s_2^2 = \frac{A_2}{n_2}$
Total	$n_1 + n_2 = N - I$	$A_1 + A_2 = III - I$	$s_T^2 = \frac{A_1 + A_2}{n_1 + n_2}$

$$I = N \bar{\bar{x}}^2 = \frac{1}{N} \left(\sum_{i-1}^{N} x_i\right)^2 \qquad (12)$$

$$II = l \cdot \sum_{j=1}^{k} j\bar{x}^2 = \sum_{j=1}^{k} \frac{1}{l} \left(\sum_{i=1}^{l} x_i\right)^2 \qquad (13)$$

$$III = \sum_{i=1}^{N} x_i^2 \qquad (14)$$

EJEMPLO PARA EL ANALISIS ESTADISTICO

MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXION 1000 kg · cm^{-2}

Erisma uncinatum (MUREILLO)

Probetas	Arboles Ensayados										$\sum$ de la línea
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	124	174	113	104	153	151	95	114	130	109	
2	128	170	116	117	134	130	128	156	119	100	
3	96	175		122	142	144	139	133	139	92	
4	113			113	148		124	120	124		
5	96							147			
6	132										
7	119										
8	106										
9	130										
10	108										
l_j	10	3	2	4	4	3	4	5	4	3	$N = \sum_{j=1}^{k} l_j = 42$
$\sum_{i=1}^{l} x_i$	1152	519	229	456	577	425	496	670	512	301	$\sum_{i=1}^{l} \sum_{j=1}^{k} x_{ij}$ 5327
$_j\bar{x}$	115	173	114	114	144	142	121	134	128	100	$\sum_{j=1}^{k} {_j\bar{x}} = 1285$
$\sum_{i=1}^{l} x_i^2$	134346	898010	26225	52158	83433	60437	60106	91030	65758	30345	$\sum_{i=1}^{l} \sum_{j=1}^{k} x_i^2 = 693639$
$\frac{1}{l}\left(\sum_{i=1}^{l} x_i\right)^2$	132710,4	89787,0	26220,5	51984,0	83232,2	60208,3	59049,0	89780,0	65536,0	30200,3	$\sum_{j=1}^{k} \frac{1}{l} \left(\sum_{i=1}^{l} x_i\right)^2 = 688707,7$
$\sum_{i=1}^{l} x_i^2 - \frac{1}{l}\left(\sum_{i=1}^{l} x_i\right)^2$	1635,6	14,0	4,5	174,0	200,8	228,7	1057,0	1250,0	222,0	144,7	$\sum_{j=1}^{k} \left[\sum_{i=1}^{l} x_i^2 - \frac{1}{l}\left(\sum_{i=1}^{l} x_i\right)^2\right] = 4931,3$
$_jS^2$	163,60	4,67	2,25	43,50	50,20	76,23	264,20	250,00	55,50	48,23	$\sum_{j=1}^{k} {_jS^2} = 958,38$
$_jS$	12,79	2,16	1,50	6,60	7,09	8,73	16,25	15,81	7,45	6,94	$\sum_{j=1}^{k} {_jS} = 85,32$

(Continuación)

k = 10 (número de árboles ensayados);

l = (número de probetas dentro de un árbol);

$$N = \sum_{j=1}^{k} l_j = 42$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{l} \sum_{j=1}^{k} x_{ij} = \frac{5327}{42} = 126{,}8$$

$$I = \frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2 = \frac{28376929}{42} = 675641{,}1$$

$$II = \sum_{j=1}^{k} \frac{1}{l}\left(\sum_{i=1}^{l} x_i\right)^2 = 688707{,}7$$

$$III = \sum_{i=1}^{N} x_i^2 = 693639$$

$$s_1^2 = \frac{II - I}{k - 1} = \frac{13066{,}6}{9} = 1451{,}84$$

$$s_2^2 = \frac{III - II}{N - k} = \frac{4931{,}3}{32} = 154{,}1$$

$$s_T^2 = \frac{III - I}{N - 1} = \frac{17997{,}9}{41} = 438{,}97$$

$$n_1 = k - 1 = 9$$

$$n_2 = N - k = 32$$

$$n_1 + n_2 = N - 1 = 41$$

$$A_1 = II - I = 688707{,}7 - 675641{,}1 = 13066{,}8$$

$$A_2 = III - II = 693639{,}0 - 688707{,}7 = 4931{,}3$$

$$A_1 + A_2 = III - I = 693639{,}0 - 675641{,}1 = 17997{,}9$$

$$s_1 = \pm\ 38{,}10$$

$$s_2 = \pm\ 12{,}41$$

$$s_T = \pm\ 20{,}95$$

BIBLIOGRAFIA

1. GRAF, U.y H. J. HENNING, 1960. Statistisch Methoden bei textilen Untersuchungen, Springer-Verlag, Berlín, Göttingen, Heidelberg. 108-151.

2. GOTTWALD, H. y D. NOACK 1966. Anatomische und Physikalische. Technologische Untersechungen an Holzarten der Republik Sudan - Mitleilungen der Bundesfors-chungsanstalt für Forst und Holzwirtschaft Reinbek bei Hamburg.

3. HOHEISEL, H. 1968. Estipulaciones para los Ensayos de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera. Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación. Mérida-Venezuela.

4. HOHEISEL, H. y O. LOPEZ 1971. Proyecto de Normas. Selección del material para el estudio de las propiedades físicas de la madera. Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín 26 Nº (68): 29:35.

5. KOLLMANN, F. 1966. Holzspanwerkstaffe. Springer-Verlag. Berlín, Heidelberg. New York. 579-604.

6. PLATH, E. 1963. Die Betricbskontralle. in der Spanplattenindustrie. Springer-Verlag. Berlín, Göttingen, Heidelberg. 51-58.

7. STEEL, R. G. D. and J. H. TORRIE, 1960. Principles and Procedures of Statistics. Mc-Grak Hill. Book Company.