



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

Gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

Caracterización físico-mecánica de la madera de *Paulownia elongata* S.Y. Hu de una plantación del Valle del Duero (Valladolid)

Emilio Cáceres Hidalgo

Milagros Casado Sanz, Luis Acuña Rello, Ángel Pozo Velasco

Universidad de Valladolid

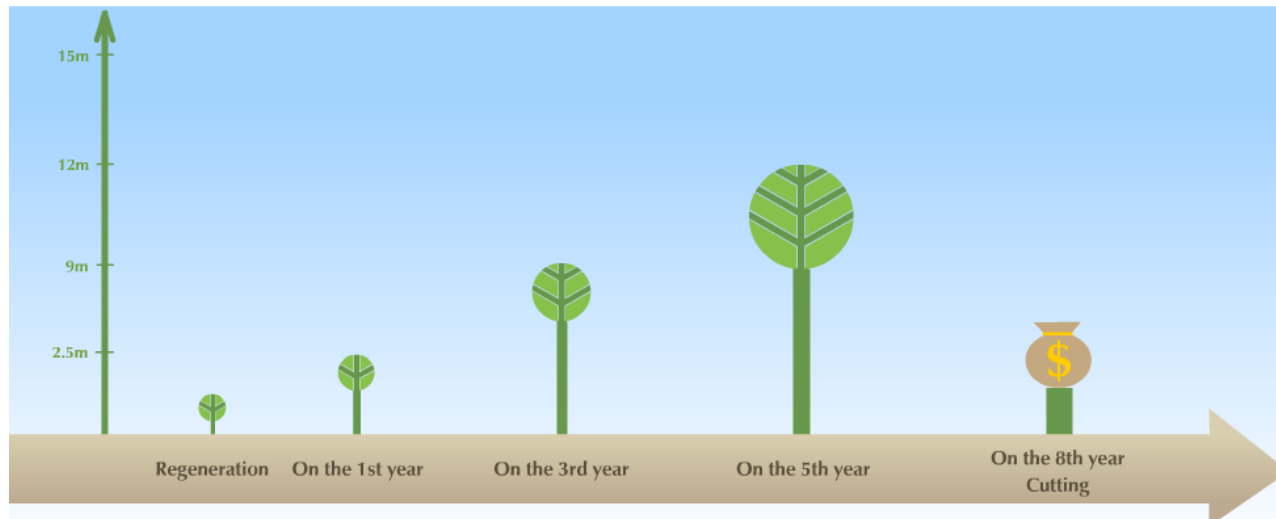


Escuela Técnica Superior
de Ingenierías Agrarias Palencia

29 de junio de 2017. Plasencia

ÍNDICE

1. RESUMEN
2. ANTECEDENTES
3. OBJETIVOS
4. MATERIALES Y MÉTODOS
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN
6. CONCLUSIONES



1. RESUMEN

Paulownia elongata

Castrillo de Duero (Valladolid)
plantación de ACOR (Asociación
Cooperativa General Agropecuaria)

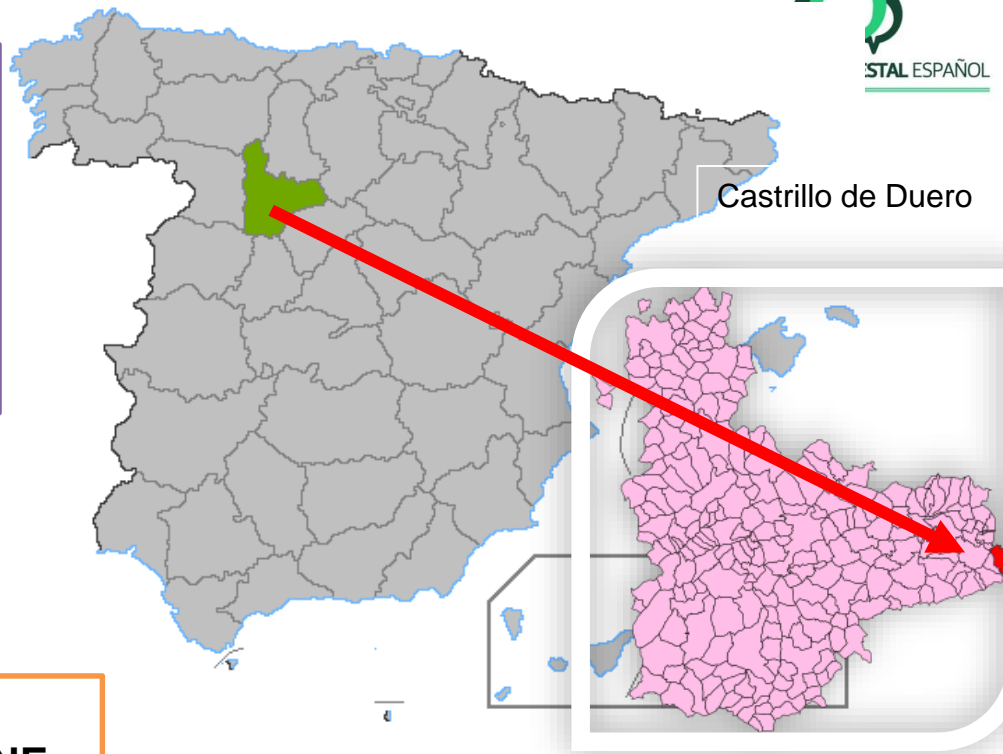
Caracterización físico-mecánica

Propiedades físicas:

25 probetas de 2 x 2 x 6 cm según UNE.

Propiedades elasto-mecánicas:

41 probetas de 6 x 4 x 120 cm



Trozas de *Paulownia elongata* de 7 años de edad

2. ANTECEDENTES

El género *Paulownia*



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

- La *Paulownia* es un género forestal de crecimiento rápido originario de China, compuesto por 17 especies.
- Las más importantes son *elongata*, *fortunei* y *Kawakamii*.
- Las plantaciones más importantes se localizan en Corea y Japón.



Flor, fruto y hoja de *Paulownia* (ROJAS, 2008).

La *Paulownia elongata* se utiliza en otros países como EE.UU, China, Turquía, etc.

Usos principales:

- Ornamental
- Energético
- Chapa y pulpa.

• AKYILDIZ & KOL (2010) *Paulownia tomentosa* cultivada en Turquía.

• KIAEI (2012) *Paulownia fortunei* L. de Iran.

• KAYMAKCI et al. (2013) *Paulownia elongata* en Turquía

• ZHAO-HUA et al. (1986) *Paulownia* en China,

3. OBJETIVOS

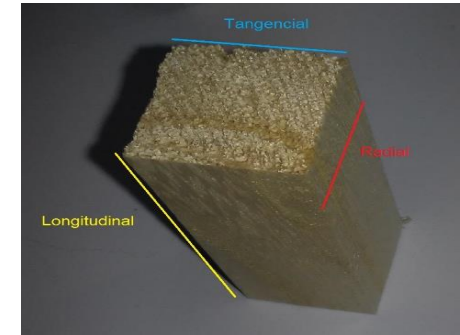
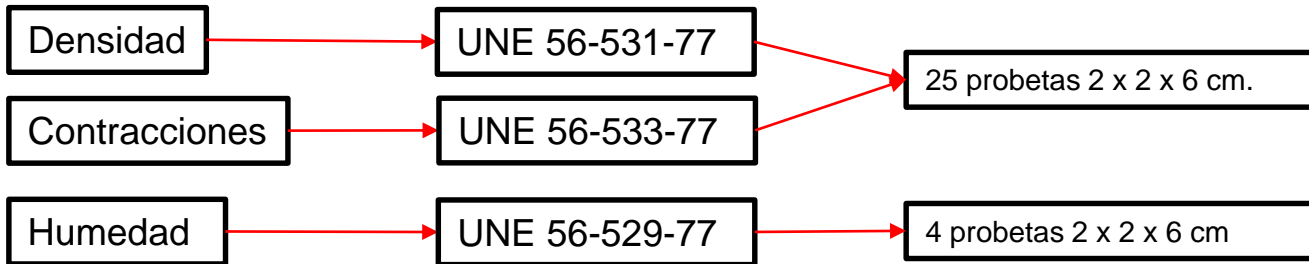
PRINCIPAL: Caracterización físico-mecánica de la madera de *Paulownia elongata*.

SECUNDARIOS:

1. Determinar de las **propiedades elasto-mecánicas de la madera** de *Paulownia elongata* según normas UNE-EN 408:2011.
2. Analizar las **propiedades físicas de la madera** de *Paulownia elongata*.
3. **Fabricar un instrumento musical** (rabel) con madera de *Paulownia elongata* y de *Pinus pinaster* y analizar y comparar su **calidad sonora**.



4. MATERIALES Y MÉTODOS



Direcciones en la medición.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ : densidad (g/cm³)

m: peso de la probeta (g)

V: volumen de la probeta (cm³)

Fórmula de Kollman:

$$\rho_{12} = \frac{\rho_0 * (1 + 0,12)}{1 + (0,84 * \rho_0 * 0,12)}$$

ρ_{12} : densidad al 12% de humedad (g/cm³)

ρ_0 : densidad al 0% de humedad (g/cm³)

$$\rho_b = \frac{m_0}{V_v}$$

ρ_0 : densidad básica (g/cm³)

m_0 : peso en estado anhidro (g)

V_v : volumen en estado saturado (cm³)

$$C_v = \frac{V_s - V_0}{V_0} \times 100$$

C_v : contracción volumétrica total (%)

V_s : volumen saturado (cm³)

V_0 : volumen anhidro (cm³).

$$C_l = \frac{L_s - L_0}{L_0} \times 100$$

C_l : contracción lineal total (%),

L_s : longitud de la probeta en la dirección que se considere para la madera saturada (cm)

L_0 : longitud de la probeta en la dirección que se considere en estado anhidro (cm)

$$H = \left(\frac{P_h - P_0}{P_0} \right) \cdot 100$$

H: contenido de humedad de la probeta (%)

P_h : peso húmedo de la probeta (g),

P_0 : peso anhidro de la probeta (g).

4. MATERIALES Y MÉTODOS



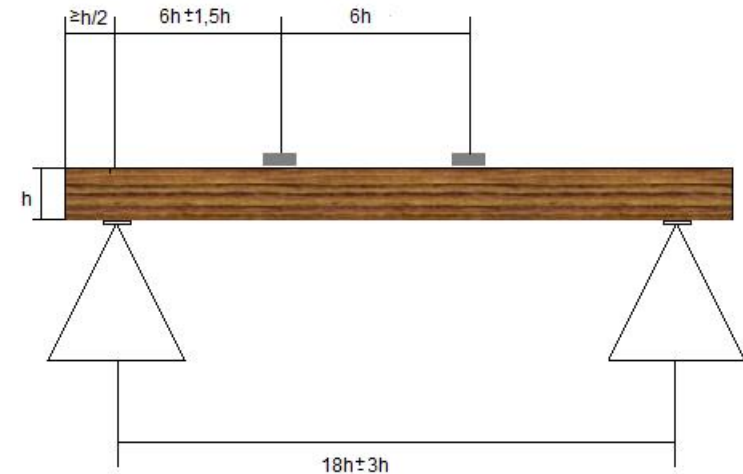
7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

Ensayos de flexión

Flexión UNE-EN 408:2011



Máquina universal "Ibertest", ordenador, extensómetro y travesaño.



Ensayo de flexión en la máquina universal "Ibertest" con dos puntos de carga.

41 Probetas de 6 x 4 x 120 cm

MOEGTO y MOR (UNE-EN 408:2011)

$$\text{MOE} = 1,3 \times \text{MOEGTO} - 2690$$

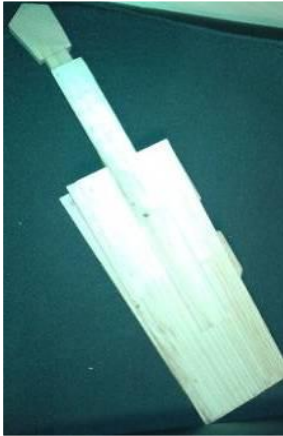
MOE: Módulo de elasticidad (MPa o N/mm²)

MOEGTO: Módulo de Elasticidad Global en el Canto (MPa o N/mm²)

4. MATERIALES Y MÉTODOS



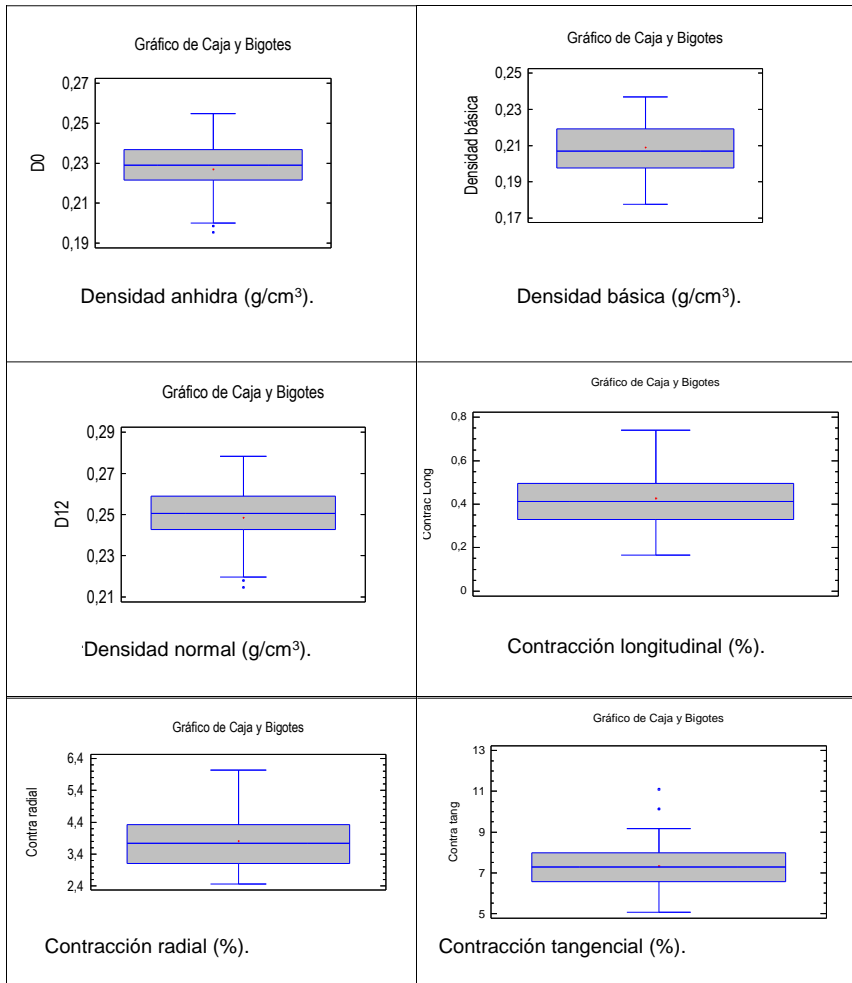
Los artesanos y constructores de instrumentos D. Jesús Cabeza Ibáñez y D. Julio Pozo Novo fabricaron un rabel con la madera de Paulownia y otro con madera de pino pinaster. El análisis del sonido se realizó en los estudios ELDANA (Dueñas).



5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Análisis descriptivo propiedades físicas



Propiedad física	n	media	CV%	máx	mín	Normalidad*
Densidad anhidra (g/cm ³)	25	0,227	6,58	0,255	0,195	SI
Densidad básica (g/cm ³)	25	0,209	7,63	0,237	0,177	SI
Densidad normal (g/cm ³)	25	0,248	6,44	0,278	0,215	SI
Contracciones (%)						
Longitudinal	25	0,428	32,98	0,741	0,165	SI
Radial	25	3,807	22,92	6,039	2,464	SI
Tangencial	25	7,335	20,63	11,090	5,048	SI
Volumétrica	25	8,733	21,05	12,080	5,612	SI

UNE 56.529

“Madera muy ligera” y con “contracciones pequeñas” lo que le hace ideal para ebanistería

Densidad normal (g/cm³)

0,264 y 0,283 g/cm³ Zhao-Hua et al., 1986; 0,281 g/cm³ Kaymakci et al., 2013; 0,266 g/cm³ Kaymakci, 2010 en Kaymakci et al., 2013; 0,271 g/cm³ Kaymakci, 2010 en Kaymakci et al., 2013.

Contracción Volumétrica (%)

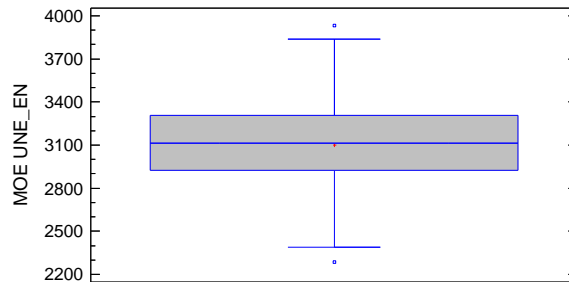
8,76 % y 13,59 % Zhao-Hua et al., 1986.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis descriptivo Módulos de Elasticidad

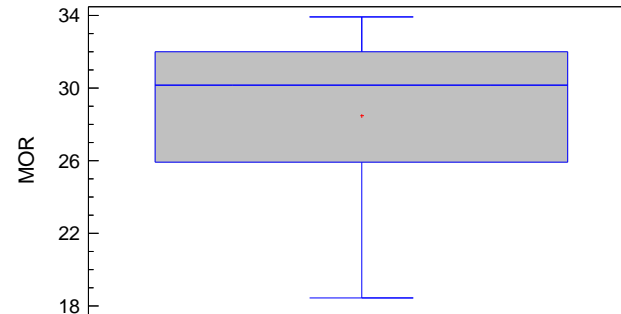
Valores 408:2011 (MPa)	UNE-EN	n	media	CV%	máx	mín	Normalidad*
MOE		41	3100,1	12,356	3934,67	2284,84	SI
MOR		41	28,49	15,708	33,91	18,46	NO

Gráfico de Caja y Bigotes



MOE según UNE-EN 408:2011 en MPa (41).

Gráfico de Caja y Bigotes



MOR según UNE-EN 408:2011 en MPa(41).

Madera con valores muy bajos de elasticidad y rigidez lo que la descarta para usos estructurales

MOE

4118 MPa y 4314 MPa Zhao-Hua et al., 1986; 3883 MPa Kaymakci et al., 2013; 3523 MPa Kaymakci, 2010 en Kaymakci et al., 2013; 2651 MPa Kaymakci, 2010 en Kaymakci et al., 2013.

MOR

28,33 MPa y 34,9 MPa Zhao-Hua et al., 1986; 35,79 MPa Kaymakci et al., 2013; 35,76 MPa Kaymakci, 2010 en Kaymakci et al., 2013; 23,98 MPa Kaymakci, 2010 en Kaymakci et al., 2013.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Propiedades físicas de *Paulownia elongata* vs *Pinus pinaster*.

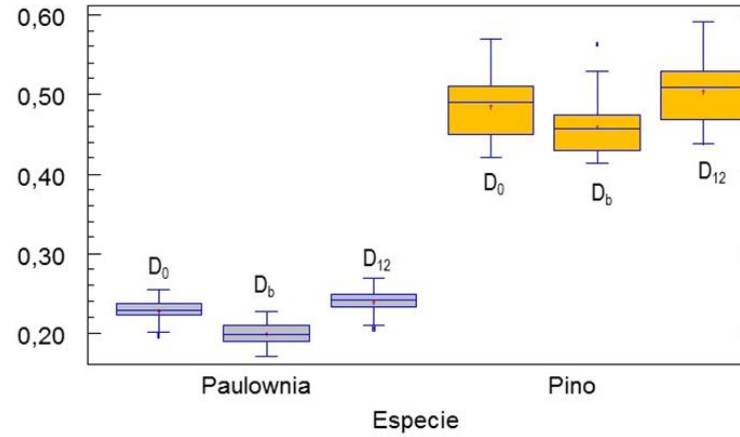


Gráfico Caja y Bigotes

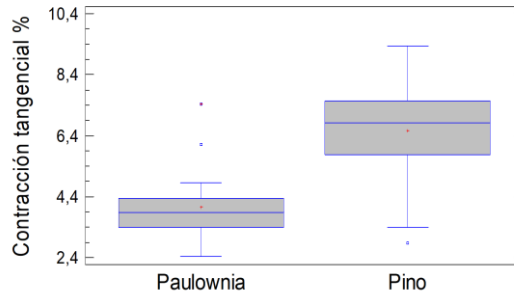
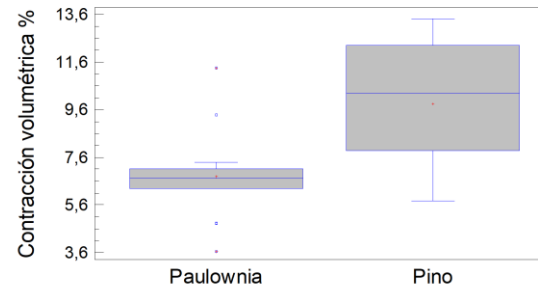


Gráfico Caja y Bigotes



El análisis comparativo de la madera de paulownia y la de pino pinaster frente a propiedades como; la densidad, la contracción tangencial y la volumétrica indican que la paulownia posee una madera más ligera y con menores contracciones que el pinaster

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



**Rabel Paulowinia cuerdas;
G (arriba) A (abajo)**

**Rabel Pino pinaster cuerdas;
G (arriba) A (abajo)**



El rabel de Paulowinia tiene una buena calidad sonora global, por la amplitud de su nota fundamental y por el número de armónicos que presenta.

6. CONCLUSIONES



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

- Densidad normal media $0,248 \text{ g/cm}^3$ se trata de **madera muy ligera**.
- Contracción longitudinal media $0,43 \%$, contracción radial media $3,81 \%$, contracción tangencial media $7,33 \%$ y la contracción volumétrica media $8,73 \%$, valores de contracción pequeños por lo que se considera **madera muy estable dimensionalmente ideal para usos de ebanistería que no requieran dureza**.
- **Buenas cualidades acústicas** lo que le hace **adecuada para instrumentos musicales**.
- Módulo de elasticidad (**MOE**) **$3.100,1 \text{ MPa}$** y resistencia a flexión (**MOR**) **$28,5 \text{ MPa}$** , **madera de baja calidad estructural**, pero **con posibilidades de uso como aislante térmico y acústico en construcción**.



AGRADECIMIENTOS

- ✓ ACOR (Sociedad Cooperativa General Agropecuaria) por la madera de *Paulownia*
- ✓ D. Jesús Cabeza Ibáñez y D. Julio Pozo Novo artesanos y constructores de instrumentos
- ✓ D. Jorge Calderón Muriel ingeniero de sonido (KLD SOUND) estudios ELDANA (Dueñas).

milac@iaf.uva.es



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

Gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía



26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura



www.congresoforestal.es