

Densidad aparente normal de la madera de pino híbrido F1 INTA-PINDO de 11 años de edad

Rosa Angela Winck¹, María Cristina Area², Ector Cesar Belaber³,
Diego Rolando Aquino⁴, Hugo Enrique Fassola⁵, María Elena Gauchat⁶

Palabras clave: Materiales genéticos, grados de calidad, sitios.

Introducción

Dentro de las principales especies forestales cultivadas en Argentina se encuentra el género *Pinus* (62 %) (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2019), siendo las especies *Pinus taeda* (PT) y *Pinus elliottii* (PE) las de mayor importancia económica en la región. Asimismo, existe un fuerte interés por los híbridos entre *Pinus elliottii* var. *elliottii* y *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PEE×PCH), por su buen crecimiento, rectitud de fuste, diámetro de ramas y estructura de la copa (Cappa et al. 2013), los cuales alcanzan una superficie implantada de 21000 hectáreas en Argentina (Belaber et al. 2018). Sobre la F1 del híbrido PEE×PCH se están realizando estudios de calidad de madera para distintos usos industriales (Rotundo 2021, Winck et al. 2019, 2021, 2022). Para productos de madera con fines estructurales, el módulo de elasticidad y de rotura (MOE y MOR) y la densidad son los parámetros considerados más importantes (Zobel & Van Buijtenen 1989, Decoux et al. 2007, IRAM 9662-3 2015). La densidad es utilizada también como indicador de la contracción volumétrica (Schulgasser & Witztum 2015), y su valor depende de la especie, individuo y ubicación dentro del árbol, con mayores variaciones en el sentido radial respecto al longitudinal (Coronel 1994). Este último autor indica que un incremento en la densidad, produce un aumento en los valores de la resistencia a la flexión estática. En este sentido, la norma IRAM 9662-3 (2015) establece para las especies PT y PE, **valores característicos** (a) de las propiedades mecánicas y de la densidad para dos clases de resistencia, indicando para densidad característica (ρ_k), valores de 420 kg/m³ en la clase 1 y 390 kg/m³ en la clase 2. A mayores valores de densidad aparente normal (al 12 % de contenido de humedad (CH)) ($\rho_{12\%}$), mayor valor de la ρ_k .

El objetivo de este estudio fue determinar la $\rho_{12\%}$ de la madera de 15 familias de pino híbrido F1 INTA-PINDO de 11 años de edad provenientes de 2 sitios para evaluar posibilidad de uso de la madera.

Materiales y Métodos

Los materiales estudiados fueron seleccionados en dos ensayos de progenies con un espaciamiento inicial de 3x3 m, sin raleo y con una poda a los 4 años hasta los 4 m de altura. El primer ensayo fue implantado en el campo de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Montecarlo (26° 33' latitud S y 54° 40' longitud O, sitio 1), y el segundo, establecido en propiedad de la empresa PINDO SA (26° 09' latitud S y 54° 26' longitud O, sitio 2). Se evaluaron 15 familias F1 que fueron seleccionadas de 3 posiciones (superior, medio e inferior) del ranking genético de crecimiento del 7mo año de edad. A los 11 años de edad se apearon 90 árboles. Los valores de diámetro a la altura de pecho (dap) y altura total (h) de los árboles apeados oscilaron entre 17 y 40 cm y 13,2 y 26,8 m, respectivamente, con un valor medio de dap de 27,8 cm para el sitio 1 y 27 cm para el sitio 2.

De cada uno de los 90 árboles se extrajeron rodajas a las alturas de 0,10 m; 1,30 m y 4,45 m del fuste. A partir de un radio de las rodajas (270) se obtuvieron 1035 probetas estandarizadas de 2x2x2 cm y se determinó la densidad aparente estacionada (IRAM 9544 1973) y el CH (IRAM 9532, 1973), y se ajustaron los valores de densidad al 12 % de CH ($\rho_{12\%}$) (IRAM 9664, 2013). Esta norma indica que, cuando el CH supere el 12 %, la densidad debe disminuirse un 0,5 % por cada 1% de variación del CH, y viceversa. Las probetas obtenidas en la dirección radial fueron agrupadas en 4 clases de distancia radial relativa (DR) respecto a la médula, A: 0 y 25 %, B: 25,1 y 50 %, C: 50,1 y 75 % y D: 75,1 y 100 %.

El análisis estadístico se realizó mediante modelos

1 Investigadora EEA Montecarlo. Docente FCF UNAM. Contacto: winck.rosa@inta.gob.ar.

2 IMAM. UNAM. CONICET. FCEQYN. PROCYP. Contacto: cristinaarea@gmail.com.

3 Investigador EEA Montecarlo. Contacto: belaber.ector@inta.gob.ar.

4 Investigadores EEA Montecarlo. Contacto: aquino.diego@inta.gob.ar.

5 Profesional asociado INTA EEA Montecarlo. Contacto: fassola.hugo@inta.gob.ar.

6 Investigadora EEA Montecarlo. Docente FCF UNAM. Contacto: gauchat.maria@inta.gob.ar.

lineales mixtos (MLM), utilizando el software Infostat® (Di Rienzo et al. 2017, 2020). Se empleó un nivel de significancia de 5 %. El modelo contempló como efecto aleatorio al árbol, y como efectos fijos al sitio, a la familia, la distancia radial relativa y la altura en el fuste (HF). Para evaluar la variación axial y radial de la $\rho_{12\%}$ dentro de cada sitio se agruparon a todas las familias como único material de pino híbrido F1 INTA-PINDO, considerándose la DR y HF como efectos fijos y el árbol como variable aleatoria.

Resultados y Discusión

El CH promedio de las probetas fue de 14 %, con un coeficiente de variación de 5 %.

Los resultados obtenidos no indicaron diferencias estadísticamente significativas en $\rho_{12\%}$ entre familias ($p > 0,05$), los valores de $\rho_{12\%}$ entre las familias variaron entre 399 y 472 kg/m³. Se detectaron diferencias estadísticas entre sitios ($p \leq 0,05$). El valor medio de la $\rho_{12\%}$ para la totalidad de las probetas fue de 417 kg/m³ ($\rho_k = 327$ kg/m³) para el sitio 1 y 442 kg/m³ ($\rho_k = 340$ kg/m³) para el sitio 2. El error de estimación fue de 2,9 para ambos sitios. Dentro de cada sitio, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) para la DR y HF. La Tabla 1 presenta un resumen con la variación de la $\rho_{12\%}$ y la ρ_k según DR y HF dentro de cada sitio.

Tabla 1: Variación de la $\rho_{12\%}$ y la ρ_k según DR y HF dentro de cada sitio.

Variables de efectos fijos		Sitio 1 (n=516)				Sitio 2 (n=519)				Media Gral. $\rho_{12\%}$
		n	$\rho_{12\%}$	EE	ρ_k	n	$\rho_{12\%}$	EE	ρ_k	
Clase de distancia relativa (DR, %)	A	28	377 a	10,0	311	23	415 a	10,9	306	396
	B	138	374 a	6,1	304	153	391 b	6,1	326	
	C	163	418 b	5,9	347	160	440 c	6,0	348	
	D	187	504 c	5,7	400*	183	536 d	5,9	429*	
Altura de fuste (HF, m)	0,10	194	432 a	5,9	333	190	463 a	6,2	354	448
	1,30	181	418 b	6,1	317	175	446 b	6,3	333	
	4,45	141	405 c	6,4	326	154	427 c	6,5	333	

n: cantidad de probetas, $\rho_{12\%}$: densidad normal, ρ_k : densidad característica, A (0-25%), B (25,1-50%), C (50,1%-75%), D (75,1-100%): distancias relativas desde la médula a la corteza. EE: error estándar de estimación del modelo. Medias con letras distintas son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) para el test de DGC (Di Rienzo et al. 2017). Clase 1. *Clase 2.

En ambos sitios la $\rho_{12\%}$ aumentó de forma pronunciada con la DR desde la médula a la corteza y disminuyó gradualmente con la HF desde los 0,10 m a los 4,45 m, coincidiendo con lo expresado por Schulgasser & Witztum (2015) y Coronel (1994). En ambos sitios la $\rho_{12\%}$ para la posición A:0-25 % de la distancia radial fue mayor que en la posición B, eso fue debido a la presencia de resinas visualizada a través de la co-

loración de la madera en región central de la rodaja, que altera los valores reales de la $\rho_{12\%}$. También en la posición A el error de estimación fue mayor respecto a las demás posiciones radiales B, C y D, debido a la cantidad de probetas.

Considerando la totalidad de las muestras (interna y externa), la ρ_k no alcanzó el valor estipulado en la norma Argentina. No obstante, al considerar solo la madera lateral, el valor de la ρ_k (400 kg/m³) supera los requerimientos de la norma IRAM para la clase de 2 de resistencia (390 kg/m³). Resultados similares para madera PT y PE clasificado por resistencia fue reportado por Fank (2018), quien determinó para la clase 1, valores de $\rho_{12\%}$ y ρ_k de 543 kg/m³ y 456 kg/m³, respectivamente, y para la clase 2, valores de 466 kg/m³ de $\rho_{12\%}$ y 390 kg/m³ ρ_k , respectivamente.

La ρ_k de las muestras de la posición radial D: 75,1-100 % (representa el 35 % del total de las probetas), obtenida de ambos sitios, satisfacen los requerimientos de la norma IRAM para la clase de 2 de resistencia y clase 1 en el sitio 2. Toda la madera que no pertenezca a ninguna de estas clases es considerada como rechazo y, por lo tanto, no apta para usos estructurales. No obstante, para que la madera clasifique es indispensable alcanzar también los valores característicos para las propiedades mecánicas.

El valor medio de la $\rho_{12\%}$ del pino híbrido F1 INTA-PINDO de 11 años de edad para ambos sitios fue inferior a lo expresado por otros autores. Guillaumet et al. (2011) y Álvarez y Lerda (2011) obtuvieron un valor medio de densidad aparente estacionada de 472 kg/m³ (al 12 % de CH) y 508 kg/m³ (al 9,4 % de CH), respectivamente. Para ambos, la muestra de pino híbrido F2 (PEE×PCH) de 10 años fue obtenida en operaciones del segundo raleo de forestaciones podadas hasta los 6 m de altura, implantada en la localidad de Puerto Esperanza, Misiones, Argentina. También fue inferior, respecto a lo determinado por Pereyra et al. (2007) para madera de pino híbrido F2 (PEE×PCH) entre 8 y 14 años de edad (514 kg/m³ de densidad media estacionada, sin informar el CH). Estas diferencias en los valores de densidad aparente estacionada entre la F1 y F2 del pino híbrido puede deberse al CH, a las condiciones edáficas y al manejo silvícola (espaciamento inicial de plantación, poda y raleo).

Otras especies de pino arrojaron valores superiores de densidad normal al observado en este estudio. Fank (2018) obtuvo un valor medio de 493 kg/m³ (al 12 % de CH) para la totalidad de los datos de una muestra compuesta obtenida a partir de un total de 458 vigas

de PT y PE proveniente de una industria de la provincia de Misiones sin registro de la edad de plantación. Como así también Weber (2005) determinó para *Pinus taeda* procedente de la provincia de Misiones valores medios de densidad aparente estacionada al 13,6% de CH, de 449 y 462 kg/m³ para 9 y 16 años de edad, respectivamente.

En el sitio 2 la madera alcanzó valores de P_{12} más elevados respecto al sitio 1, y a una edad más temprana. Como indicó Coronel (1994), la densidad es un indicador del comportamiento estructural de la madera. En concordancia con este resultado, Winck et al. (2022), para estos mismos materiales genéticos determinaron mayores valores de MOE dinámico y estático para la madera proveniente del sitio 2. Los mayores valores de P_{12} para el sitio 2, puede deberse al uso anterior de la tierra previo a la instalación del ensayo, el cual correspondió a monte nativo para el sitio 1 y plantación de pino para el sitio 2.

Del análisis de los valores de densidad encontrados para el género *Pinus*, en algunos casos de edades similares y en otros superiores, se observó que el pino híbrido F1 INTA-PINDO, alcanzó un valor medio inferior. No obstante, hay que destacar que, de acuerdo a lo expresado por Keller y Crechi (2020) y Guillaumet et al. (2011), el pino híbrido produce un mayor volumen anual de madera que las especies PT y PE, y con propiedades resistentes similares, demostrando un buen potencial para su utilización en la fabricación de vigas de madera laminada encolada (Guillaumet et al. 2011). Además de ser el taxón más recomendado para sistemas silvopastoriles por las características de la copa, rectitud de fuste y un mayor crecimiento (Belaber et al. 2018), constituyendo estos aspectos una ventaja competitiva. Asimismo, para edades más cercanas al turno de corta, se espera alcanzar un mayor valor medio de P_{12} debido a que esta característica aumenta con la edad del árbol.

Conclusiones

El valor medio de la P_{12} aumentó significativamente de la médula a la corteza y disminuyó gradualmente con la altura en el fuste para ambos sitios. Asimismo, fue superior para el sitio 2, alcanzando valores más elevados a una edad más temprana. En ambos sitios, la región a partir del 75,1 % del radio arrojó valores de densidad característica que satisfacen los requerimientos de la norma IRAM para la clase 2 de resistencia y para la clase 1 en el sitio 2.

El pino híbrido F1 INTA-PINDO de 11 años de edad

alcanzó una P_{12} próxima a valores de otras especies del género *Pinus* de edades similares, por lo tanto, los usos podrían ser equivalentes, además podría ser destinado como madera de Apariencia con fines estéticos.

Bibliografía

- Álvarez E & Lerda FE. 2011. Determinación experimental de la anisotropía, punto de saturación de las fibras y pesos específicos aparentes de la madera del híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivada en Misiones. XXV Jornadas Forestales de Entre Ríos Concordia. Vol.6. p. 1–6.
- Belaber EC, Gauchat ME, Reis HD, Borralho NM, Cappa EP. 2018. Genetic Parameters for Growth, Stem Straightness, and Branch Quality for *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* F1 hybrid in Argentina. *Forest Science* 64(6): 595-608.
- Cappa P, Marcó MA, Nikles DG, Last IA. 2013. Performance of *Pinus elliottii*, *Pinus caribaea*, their F1, F2 and backcross hybrids and *Pinus taeda* to 10 years in the Mesopotamia región, Argentina. *New Forests* 44(4): 197-218.
- Coronel E. 1994. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. 1o parte: Fundamentos de las propiedades físicas de las maderas. Instituto de Tecnología de la Madera, editor. Santiago del Estero, Argentina, 335 p.
- Decoux V, Varcin É, & Leban JM. 2004. Relationships between the intra-ring wood density assessed by X-ray densitometry and optical anatomical measurements in conifers. Consequences for the cell wall apparent density determination. *Annals of forest science*, 61(3), 251-262.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada MRCW. 2020. InfoStat. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Di Rienzo JA, Macchiavelli R, Casanoves F. 2017. Modelos lineales mixtos. Aplicaciones en InfoStat. 253 p.
- Fank PY. 2018. Caracterización físico-mecánica del pino resinoso (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*) cultivado en el nordeste argentino para uso estructural. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Concepción del Uruguay. 282p.
- Guillaumet AA, Manavella RD, Filippetti MC, Armas A. 2011. Caracterización del híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* "F2" para su utilización en vigas laminadas encoladas. CIMAD

11.1o Congreso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção, Coimbra, Port.1-8.

IRAM 9544.1973. Norma para métodos de determinación de densidad aparente en maderas. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 6 p.

IRAM 9532.1973. Método de determinación de humedad. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales; 11p.

IRAM 9662-3. 2015. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 3: Tablas de pino taeda y elliottii (*Pinus taeda* y *elliottii*). Instituto Argentino de Racionalización y Certificación, Buenos Aires.15 p.

IRAM 9664. 2013. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. 18 p.

Keller A., Crechi E. 2020. Efecto del raleo sobre el crecimiento y la producción de *Pinus*. XXXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos. 1-5 p.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2019. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Plan estratégico forestal y foresto industrial argentina 2030. Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial (DNDFI). Mesa de Competitividad Forestal y Foresto-Industria. Buenos Aires, Argentina. 178p.

Pereyra O, Suirezs TM, Bobadilla EA, Weber EM, Gamarra NG. 2007. Estudio de los pesos específicos aparentes, contracciones, hinchamiento, anisotropía y punto de saturación de fibras de la madera del híbrido *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. In III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales. Buenos Aires; Argentina.

Rotundo CA. 2021. Estimación de parámetros genéticos de la calidad de la madera en árboles de pino híbrido (*Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*) utilizando metodologías no destructivas. FCEQyN-FCF. Universidad Nacional de Misiones.

Schulgasser K & Witztum A. 2015. How the relationship between density and shrinkage of wood depends on its microstructure. *Wood science and technology* 49(2):389-401.

Weber E. 2005. Caracterización física y mecánica de *Pinus taeda* origen Marion en plantaciones de diferentes edades y determinación de usos potenciales. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería Forestal, 143 pp.

Winck RA, Area MC, Aquino DR, Fassola HE, Keller AE, Bragaño A, Gauchat ME. 2022. Módulo de

elasticidad estático y dinámico en tablas de escuadrías comerciales de pino híbrido. XXXVI Jornadas Forestales de Entre Ríos. Pp. 133-137.

Winck RA, Rotundo CA, Aquino DR, Gauchat ME, Area MC, Belaber E, Fassola HE. 2019. Medición del tiempo de propagación de ondas para estimar rigidez de árboles en pie de Pino híbrido F1 INTA-PINDO. XVIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales.

Winck RA, Winck LR, Belaber EC, Aquino DR, Fassola HE, Área MC, Gauchat ME. 2021. Parámetros indicadores de la calidad estructural de familias de pino híbrido F1 INTA-PINDO. XXXV Jornadas Forestales de Entre Ríos.

Zobel BJ & Van Buijtenen JP. 1989. *Wood variation: its causes and control*. Springer-V. Ber in, Germany. 363 p.

Referencias

(a) Valor característico es aquel que garantiza que el 95 % de las piezas de un lote de madera tenga una resistencia igual o superior a dicho valor (para la densidad percentil 5 % de la $\rho_{12\%}$).