

Análisis preliminar de la aptitud de la madera de trozas basales de taxones de pinos del NE de Argentina para tableros CLT en base al MOE dinámico

Hugo Enrique Fassola¹, Rosa Angela Winck², Ector Cesar Belaber³, Christian Bulman⁴, Cristian Rotundo⁵ Diego Rolando Aquino⁶; María Elena Gauchat⁷

Palabras clave: madera estructural, métodos sónicos, pinos amarillos

Introducción

El mercado global de tableros de madera alcanzó los U\$S 144,7 mil millones en el año 2019 y se esperaba que creciera a una tasa anual del 6,9 %, estimando el trabajo de Grand View Research (GVR) que en el 2027 alcance un valor total de U\$S 247 mil millones (GVR 2021). Este mercado involucra, por orden de importancia a los tableros de virutas orientadas (OSB), compensados, de fibra de mediana densidad (MDF), tableros de partículas, tableros de partículas de alta densidad, y tableros de fibra de alta densidad. Un segmento, no considerado por GVR (2021), es el de los tableros de madera contralaminada (“Cross Laminated Timber”-CLT) que según Global Markets Insight (GMI 2021) en 2020 alcanzó globalmente un valor total de U\$S 912 millones y se espera que crezca a una tasa anual del 14,2 % hasta 2027. Este mercado incipiente puede ser segmentado por la materia prima empleada, por el tipo de prensa empleada y por el destino, siendo Europa Occidental y América del Norte los principales mercados (GMI 2021, Market Analysis Report 2021). En los países del cono sur de A. Latina el tema está cobrando relevancia, datando del año 2012 la primera construcción hecha con CLT de *Pinus taeda* (PT) en Brasil (Do Nascimento 2020), país en el cual se han realizado estudios de aptitud con resultados comparables a los de coníferas de la UE (Moraes & Calil Jr. 2019). Actualmente la empresa Urbem de Brasil ha comunicado que se ha iniciado su producción a nivel industrial con PT (Urbem 2022). En Argentina, si bien una empresa realizó algunas construcciones con CLT en la provincia de Córdoba, los mismos fueron importados de Europa (Todo Madera

2020). Atendiendo a estos antecedentes y también a que la clasificación por resistencia de la madera es una parte relevante en el proceso de construcción de estos (Viotto 2013; Do Nascimento 2020), se hace necesario verificar si los materiales genéticos del programa de mejoramiento de pinos de INTA en la región NEA podrán brindar materiales con aptitud para emplear en tableros CLT. La existencia de un ensayo de taxones de pinos, que incluía PT, instalado en el año 1996 en la provincia de Misiones (Cappa et al. 2013), permitió evaluar la potencialidad y la aptitud en 7 de los materiales allí incluidos a través de parámetros como la densidad y el módulo de elasticidad (MOE) promedios de los grados de calidad visuales de la madera empleada en los CLT.

Materiales y Métodos

El material de ensayo incluyó 7 taxones *Pinus* spp. de 23 años de edad seleccionados por su difusión regional y su desempeño en crecimiento y rendimiento en un ensayo de 18 taxones (Belaber et al. 2022, Belaber et al. 2023, Winck et al. 2023). Dicho material, implantado en setiembre del año 1996 en la EEA INTA Cerro Azul, Misiones (27°39'18.89"S-55°25'48.80"O) (Cappa et al. 2013), no tuvo tratamientos silvícolas de raleos ni podas. Cinco de los taxones procedían de CSIRO (Australia) y corresponden a *Pinus caribaea* var *hondurensis* (PCH), filiales F1 (a) y F2 (b) del híbrido entre *Pinus elliottii* var *elliottii* x *Pinus hondurensis* var *hondurensis* (PEE x PCH) y sus retrocruzas por el parental femenino (PEE x F1) y por el parental masculino (F1 x PCH). Los dos taxones restantes se correspondían con materiales de procedencia local, PEE del HSC del INTA Cerro Azul, Misiones y *Pinus taeda* (PT), procedencia Marion County del HSC de Arauco SA, Misiones. Posteriormente se procedió a

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

2 Investigadora EEA Montecarlo. Contacto: winck.rosa@inta.gob.ar.

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

4 Investigador EEA Montecarlo. Contacto: rotundo.cristian@inta.gob.ar.

5 Investigador EEA Montecarlo. Contacto: bulman.cristian@inta.gob.ar.

6 Investigador EEA Montecarlo. Contacto: aquino.diego@inta.gob.ar.

7 Investigadora EEA Montecarlo. Contacto: gauchat.maria@inta.gob.ar.

medir los ejemplares y luego, mediante un muestreo al azar estratificado, se identificaron seis ejemplares de cada taxón, dos del estrato dominante (D), dos del codominante (CD) y dos del suprimido (S). Dichos ejemplares debían ser rectos, no presentar heridas, ni bifurcaciones. Los árboles seleccionados fueron apeados para obtener una troza basal de 3,10 m de longitud. En estas se midió el diámetro en punta gruesa (dpg) y el diámetro en punta fina (dpf), con y sin corteza (cc y sc). Correspondiendo a los taxones los siguientes valores de dpf sc medios especificados en cm: PT 26,3; PEE 20,1; F1×PCH 26,1; PEE×F1 26,3; F2 22,7; F1 29,4; PCH 25,4. Mayor información relativa al estado forestal de los taxones, como de las variables descriptoras de árboles y rollizos, del patrón de aserrado empleado pueden encontrarse en Belaber et al. (2022), Belaber et al. (2023), Winck et al. (2023). Luego los rollizos fueron aserrados en tablas de 1" de espesor y ancho variable, siempre mayor a 3" y llevadas a horno, para posteriormente mediante métodos no destructivos, vibración transversal con el equipo Metriguard® E-Computer – Modelo 340 (Metriguard 2002), determinar el Módulo de Elasticidad dinámico (MOEdin) y la densidad (ρ) promedio de todas las tablas obtenidas de rollizos basales de cada taxón. Paralelamente se determinó el largo, ancho y espesor, conjuntamente con el porcentaje de humedad de cada una de ellas. Estos indicadores permitieron establecer el volumen y el porcentaje de humedad de (H %) de las tablas obtenidas de cada rollizo. Como también si los distintos taxones evidenciaban comportamientos similares a los de PT, como un criterio de aptitud (Moraes & Calil Jr. 2019, Nacimiento 2020), aunque utilizando como límites, los establecidos para paneles CLT grado C 24 (Viotto 2013). Los valores de frecuencia natural de vibración determinados por el equipo Metriguard, la longitud entre apoyos y una constante de calibración, entregó los valores de MOEdin, calculados a partir de una ecuación incorporada al sistema, estimación que no es posible de efectuar en tablas con largos menores a 2540 mm, de acuerdo con lo establecido por el fabricante (Metriguard 2002). Los valores de MOEdin obtenidos fueron agrupados en dos categorías, considerando el criterio de recurrir a la clase de resistencia más empleada en la fabricación/comercialización de CLT por parte de algunas de las principales empresas europeas, que según Viotto (2013) es C 24 de la norma UNE-EN-338, equiparable a S 10 según DIN 4074. Los CLT de esta clase están constituidos por un 90 % o más de tablas C24 que presentan

valores de MOE promedio de 11 GPa y una ρ (media) de 420 kg/m³ (Viotto 2013). El 10 % restante de tablas se correspondió con los valores de las clases de resistencia C16 /C18, que se pueden emplear en las capas intermedias de los tableros, con un MOE promedio de 8 GPa y una ρ (media) de 370 kg/m³ (Viotto 2013). En base a ello las categorías establecidas fueron > 8 hasta 10,99 GPa y > 11 GPa. Los registros de GPa permitieron establecer los volúmenes de tabla por taxón y grado de resistencia, para el total vol tab (todas met), como para cada categoría establecida (vol tab (> 8 hasta 10,99 GPa)) y vol tab (> 11GPa)). Como su participación porcentual por rollizo y por clase de resistencia en cada taxón y estrato. Es de resaltar que el error de estimación del MOEdin establecido para F1 fue del 5,77 % para tablas externas, alejadas de la médula (Winck et al. 2022). Considerando estas categorías también se obtuvieron los valores de humedad y ρ promedio para los factores considerados. Para estimar las medias de las variables respuesta y establecer si había diferencias de medias entre los factores taxón y estrato, se recurrió al modelo correspondiente a un arreglo multifactorial. El ANOVA fue realizado utilizando el software Infostat (Di Rienzo et al. 2008), previa verificación de la independencia de los datos, su distribución Norma y la homogeneidad de la varianza. La comparación de medias se realizó con el test DGC (Di Rienzo et al. 2002). El nivel de significancia empleado fue del $\alpha = 0,05$. Los valores porcentuales fueron transformados con la función arco seno a los fines de normalizar la distribución de los datos y estabilizar las varianzas (Di Rienzo et al. 2008).

Resultados y Discusión

En la Tabla 1 es posible observar que no hubo diferencias significativas en el contenido de humedad entre taxones y por estrato, ubicándose en valores próximos a 11 % para ambos factores, ubicándose este valor dentro de los que establecen algunas empresas para fabricar sus tableros, 12 % (+/- 2%) (Viotto 2013, Alvarez del Río 2016). Tampoco se registraron diferencias significativas en los factores considerados para la ρ media (todas), como tampoco para la ρ media (>8 hasta 10,99 GPa) y la ρ media (>11 GPa). Los valores obtenidos en PT y PCH son próximos a los mencionados en la literatura para ambos taxones, considerados maderas semipesadas y moderadamente duras (humedad 12 %). Si consideramos que la madera más empleada en Europa para los paneles CLT, según Viotto (2013), es *Picea abies* (abeto, especie en riesgo por

Tabla 1: Valores medios de humedad de tablas secas al horno y de densidad por clase de resistencia de los taxones de pinos bajo estudio.

factor	humedad* (E.E)+		ρ media (todas) (E.E)		ρ media (> 8 hasta 10,99 GPa) (E.E)		ρ media (>11 GPa) (E.E)	
taxón	%		kg/m ³		kg/m ³		kg/m ³	
1	10 (0,01)	A	556 (22)	A	552 (20)	A	625 (25)	A
6	11 (0,01)	A	525 (22)	A	524 (20)	A	590 (28)	A
7	11 (0,01)	A	524 (22)	A	518 (20)	A	585 (25)	A
8	11 (0,01)	A	563 (22)	A	558 (20)	A	614 (25)	A
9	12 (0,01)	A	597 (22)	A	580 (23)	A	626 (22)	A
10	11 (0,01)	A	545 (22)	A	521 (23)	A	620 (25)	A
12	10 (0,01)	A	501 (22)	A	488 (20)	A	548 (25)	A
estrato								
D	11 (0,004)	A	558 (14)	A	557 (14)	A	598 (16)	A
CD	11 (0,004)	A	549 (14)	A	534 (13)	A	601 (17)	A
S	11 (0,004)	A	526 (14)	A	512 (13)	A	606 (16)	A

Dónde: 1: PT; 6: PEE; 7: F1 x PCH; 8: PEE x F1; 9: F2; 10: F1; 12: PCH; D: dominante; CD Codominante; S: suprimido; humedad*: valor de humedad sin transf arcoseno; (E.E)+: valor de error estándar de transformación arcoseno del % humedad; ρ : densidad. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Tabla 2: Volumen medio total y porcentual del rendimiento en tablas del aserrado de trozas basales de taxones de pinos y por estrato social, por clase de resistencia.

Factor	vol tab (todas met) (E.E)		vol tab (todas met) (E.E)		vol tab _(8 a 10,99 GPa) (E.E)		vol tab _(8 a 10,99 GPa) (E.E)		vol tab _(> 11 GPa) (E.E)		
Tratamiento	m ³		%		m ³		%		m ³		
1	0,01 (0,0017)	B	96 (0,05)	A	0,0019 (0,00065)	A	17 (0,07)	A	0,0100 (0,0013)	A	38 (0,13)
6	0,01 (0,0017)	A	97 (0,05)	A	0,002 (0,00065)	A	28 (0,07)	A	0,0027 (0,0013)	A	20 (0,13)
7	0,01 (0,0017)	B	96 (0,05)	A	0,0038 (0,00065)	A	31 (0,07)	A	0,0100 (0,0013)	A	38 (0,13)
8	0,01 (0,0017)	B	100 (0,05)	A	0,0033 (0,00065)	A	27 (0,07)	A	0,0037 (0,0013)	A	33 (0,13)
9	0,01 (0,0017)	B	99 (0,05)	A	0,0023 (0,00065)	A	26 (0,07)	A	0,0100 (0,0013)	A	35 (0,13)
10	0,02 (0,0017)	B	100 (0,05)	A	0,0028 (0,00065)	A	14 (0,07)	A	0,0100 (0,0013)	A	36 (0,13)
12	0,01 (0,0017)	B	97 (0,05)	A	0,003 (0,00065)	A	26 (0,07)	A	0,0030 (0,0013)	A	29 (0,13)
Estrato											
D	0,02 (0,0011)	C	98 (0,03)	A	0,0039 (0,00043)	B	21 (0,04)	A	0,01 (0,00085)	B	39 (0,09)
CD	0,01 (0,0011)	B	98 (0,03)	A	0,0025 (0,00043)	A	25 (0,04)	A	0,0038 (0,00085)	A	31 (0,09)
S	0,01 (0,0011)	A	97 (0,03)	A	0,0018 (0,00043)	A	26 (0,04)	A	0,0025 (0,00085)	A	29 (0,09)

Dónde: 1: PT; 6: PEE; 7: F1 x PCH; 8: PEE x F1; 9: F2; 10: F1; 12: PCH; D: dominante; CD Codominante; S: suprimido; humedad*: Tratamiento: taxón; 1---7; (E.E)+: valor de error estándar de transformación arcoseno del % volumen. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). vol tab (todas met): volumen y % de tablas que pudieron ser evaluadas mediante Metriguard E-360; vol tab (8 a 10,99 GPa): volumen y % de tablas con MOE > de (GPa y < a 10,99 GPa); vol tab (> 11 GPa): volumen y % de tablas con MOE > a 11 GPa

el cambio climático), el cual tiene una ρ media de 454 Kg/m³ con un contenido de humedad por debajo del 12 % (Cardozo Salcedo & Ochoa Cruz 2020), los tableros a obtener con estos taxones en la región NEA serían más pesados. Podrían asimilarse más a los factibles de obtener de Pinus sylvestris, 580 Kg/m³ (Cardozo Salcedo & Ochoa Cruz 2020) y eventualmente a los de Larix decidua (450 kg/m³ a 700 kg/m³).

En lo relativo a los volúmenes de tablas susceptibles de ser evaluadas con Metriguard (vol tab (todas met)) fue posible constatar que para el factor taxón PEE presentó diferencias significativas respecto de los otros taxo-

nes. También hubo diferencias significativas entre los estratos (Tabla 2), aunque la expresión porcentual de este volumen no arrojó diferencias significativas entre los factores considerados. Observando los valores de los taxones, surge que todas las tablas de cada rollizo basal de F1 y PEE x F1 pudieron ser sometidos a ensayos con Metriguard, pudiendo ser atribuido esto a la baja conicidad del rollizo de estos taxones (Belaber et al. 2022). En cuanto al volumen obtenido de los taxones y el rendimiento porcentual no evidenciaron diferencias significativas en las clases de resistencia de 8 a 10,99 GPa y > 11 GPa para el factor taxón. En cambio,

el estrato D presentó diferencias significativas respecto de los otros, para las clases resistentes identificadas. Debe tenerse en cuenta que las especificaciones de las empresas de la UE para C24 se basan en que el destino de la madera sería para construcciones de varias plantas.

Conclusiones

Los materiales genéticos de los híbridos de *Pinus elliotii* x *Pinus caribaea* var. *caribaea* y sus retrocruzas, posiblemente disponibles a futuro, en relación a *Pinus taeda*, tienen la potencialidad de poder ser empleados para desarrollar tableros CLT. Los rendimientos en el aserrado no presentaron diferencias significativas en volumen o porcentuales en las categorías de resistencia empleadas. Si se consideran los valores de MOEdin establecidos como límites por algunas empresas europeas para producir CLT C24, calidad que es la que más se comercializa en la UE, el comportamiento de las retrocruzas analizadas para este producto es destacable.

En términos generales, los resultados obtenidos hacen presuponer que los MOEdin requeridos podrían obtenerse antes de los 23 años. De todos modos, aunque este trabajo consiste en un estudio de prospectiva del CLT en Argentina, el uso u homologación de requisitos de este producto, deberá ser más exhaustivo a futuro. Entre las consideraciones a evaluarse se debería incluir la respuesta de distintos sistemas de encolado de los tableros, condición relevante, ya que existen taxones que son empleados para resinar y el contenido de resina en la madera puede afectar el encolado, aunque por otro lado esta puede brindar un cierto nivel de protección al tablero. Asimismo, respecto de los taxones ensayados, dado que son maderas semipesadas, sería necesario cuantificar cuál sería el impacto en el transporte o en el ensamblado de la estructura arquitectónica. También identificar correctamente el/ los mercados de CLT de maderas semipesadas o bien analizar la factibilidad reducción del peso, si esta fuera una ventaja competitiva, analizando el uso o combinación con otras maderas.

Referencias

- (a) F1: material seminal híbrido obtenido mediante polinización controlada.
- (b) F2: material seminal híbrido obtenido de la polinización libre de F1.

Bibliografía

Álvarez del Río A. 2016. El panel de madera contra la-

minada. Cerramiento eco eficiente en España. Grado en Fundamentos de la Arquitectura. Universidad de Valladolid. España. Pp. 69.

Cappa EP, Marco M, Nikles GD; Last IS. 2013. Performance of *Pinus elliotii*, *Pinus caribaea*, their F1, F2 and backcross hybrids and *Pinus taeda* to 10 years in the Mesopotamia Region, Argentina. *New Forests* 44:197–218. DOI 101007/s11056-012-9311-2

Belaber E, Winck RA, Gauchat ME, Rotundo C, Bulman C, Fassola HE. 2023. Productividad, calidad potencial de rollizos y características de la canopia en taxones de pinos en Misiones, Argentina. Aceptado para su publicación en *Rev. Quebracho* vol 30. Trabajo 293. Pp 12.

Belaber E, Winck RA, Rotundo C, Bulman C, Aquino DR, Gauchat ME, Fassola HE. 2023. Rendimiento total en el aserrado de trozas basales de taxones de pinos del NE de Argentina. Inédito. Presentado en el VIII congreso forestal Latinoamericano y V Argentino para su publicación. Pp4.

Cardozo Salcedo B, Ochoa Cruz D. 2020. Propiedades elásticas de *Pinus sylvestris* L. y *Picea abies* (L.) H. Karst. usando métodos vibratorios no destructivos. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ingeniería Forestal. Bogotá D.C. Pp 49.

Di Rienzo JA, Guzmán AW y Casanoves F. 2002. Un método de comparaciones múltiples basado en la distribución de la distancia del nodo raíz de un árbol binario *J Agric Biol Environ Stat* 7: 129-142. DOI: 101198/10857110260141193

Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

do Nacimiento CA 2020. Posibilidades para el desarrollo de la tecnología de madera contra laminada (CLT) y su aplicación en la construcción: estudio sobre la situación actual en Brasil. U. Politécnica de Catalunya. ESTSAB. Pp. 174.

Global Markets Insight (GMI). 2021. Tamaño del mercado de madera laminada cruzada (CLT) Informe Global de la Industria 2027. Disponible en <https://www.gminsights.com/industry-analysis/cross-laminated-timber-clt-market>. Acceso Setiembre 2022.

GVR. 2022. Informe de análisis de tamaño, participación y tendencias del mercado de madera laminada cruzada por producto (CLT adherido con adhesivo, CLT fijado mecánicamente, por aplicación (residencial, institucional), por región y pronósticos de segmento, 2021 – 2028. <https://www.grandviewresearch>.

com/industry-analysis/cross-laminated-timber-market. Acceso Setiembre 2022.

Metriguard (2002). MODEL 340 E-Computer Operation Manual-Maintenance Manual. Metriguard Inc. SE, 1120. SE Latah Street.

Moraes Pereira MC, Calil Jr. C. 2129. Strength and Stiffness of Cross Laminated Timber (CLT) panels produced with Pinus and Eucalyptus: experimental and analytical comparisons. Revista Matéria, v. 24, n. 2.

Todo-Madera. 2020. Primera obra con CLT en la Argentina fue una oficina corporativa en Villa María. Disponible en: <https://maderamen.com.ar/todo-madera/2020/12/01/clt-en-argentina-primera-obra-en-villa-maria-cordoba/>. Acceso octubre 2022.

Urbem. 2022. La madera está construyendo. La madera es industrialización. La madera es carbono positivo. Disponible en <https://urbembr.com/>. Fecha de Acceso 28/10/2022

Viotto U. 2013. El tablero contra laminado. Actualidad de una alternativa para la media altura. Trabajo de Tesis para Máster oficial universitario “Tecnología en la arquitectura”, línea de construcción y nuevas tecnologías. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. Pp 129.

Winck RA., Belaber EC, Rotundo CA, Bulman C. 2022. Módulo de elasticidad estático y dinámico en tablas de escuadrías comerciales de pino híbrido. Disponible en Actas XXXVI Jornadas Forestales de Entre Rios. Concordia, Pp.6.

Winck RA*, Belaber EC, Rotundo CA, Bulman C, Aquino D, Gauchat ME, Fassola HE. 2023. Rendimiento en madera por grados de calidad de apariencia y remanufactura en el aserrado de trozas basales de taxones de pinos en el NE de Argentina. Inédito. Presentado en el VIII congreso forestal Latinoamericano y V Argentino para su publicación. Pp4.