

# CARACTERIZACIÓN DE LA MADERA DE CINCO CLONES DE *POPULUS DELTOIDES* SELECCIONADOS DENTRO DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DE INTA

## CHARACTERIZATION OF THE WOOD OF FIVE *POPULUS DELTOIDES* CLONES SELECTED BY INTA BREEDING PROGRAM

Silvia Cortizo <sup>(1)</sup>, María Silvana Monteverde <sup>(2)</sup> (P), Nora Abbiati <sup>(3)</sup>

(1) Ing. Agr. M. Sc., Coordinador del Programa de Mejoramiento de Salicáceas del INTA y docente la Cátedra de Genética de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, Argentina

(2) Lic. en Genética, E.E.A. Delta del Paraná INTA, Cátedra Genética. FCA-UCU y FCyT-UADER. Campana, Argentina

(3) Lic. en Matemáticas M. Sc., Cátedra de Biometría de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Lomas de Zamora, Argentina

Dirección de contacto: cortizo.silvia@inta.gob.ar; (P) Presentadora

### Código de identificación: T3-26

#### Resumen

En Argentina las plantaciones de álamo ocupan una superficie de 61.000 hectáreas concentradas principalmente en el Delta del Río Paraná y las regiones bajo riego de Cuyo y el valle del Río Negro. Su madera se destina principalmente para usos sólidos (debobinado y aserrado) y en menor medida para triturado (papel y tableros). *Populus deltoides* es la principal especie cultivada en el Delta y en ambientes en donde la cancrrosis limita la utilización de *P. nigra* y los híbridos de *P. xcanadensis*. Dado que las propiedades de la madera determinan en gran medida la idoneidad del material para diversos productos y aplicaciones, su caracterización resulta de gran importancia para los procesadores de madera y los usuarios finales. El presente trabajo tiene por objetivo presentar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de cinco clones de *P. deltoides* ('Guayracá INTA', 'Ñacuturú INTA', 'Paycarabí INTA', 'Hovyú INTA' y 'Pytá INTA') seleccionados en el marco del Programa de Mejoramiento de álamo del INTA a partir de poblaciones originadas de semillas del SE de Estados Unidos introducidas al país entre 1977 y 1979. Para cada clon se estudió la madera correspondiente a la segunda troza de 6 árboles de 13 a 15 años, siguiendo los protocolos establecidos en las Normas IRAM 9532, 9544, 9543, 9570, 9542, 9596, 9747 y 9551. Si bien la madera de los clones estudiados se clasifica como liviana, estable y muy elástica, se detectaron diferencias significativas entre las variables analizadas, sugiriendo la presencia de distintas aptitudes para la industria.

**Palabras clave:** *Populus deltoides*; madera de álamo; características físicas y mecánicas

#### Abstract

*In Argentina, there are 61,000 hectares of poplar plantations, mainly concentrated in the Paraná River Delta and irrigated regions of Cuyo and Río Negro valley. Its wood is mainly destined for solid uses (peeling and sawing) and to a lesser extent for chipping (paper and particleboards). Populus deltoides is the main species cultivated in the Delta and in environments where cancrrosis limits the use of P. nigra and P. xcanadensis. Because the properties of wood determine largely the suitability of the material for various products and applications, their characterization is of great importance for manufacturing industries and end users. The aims of this work is to present the physical and mechanical properties of the wood of five P. deltoides clones ('Guayracá INTA', 'Ñacuturú INTA', 'Paycarabí INTA', 'Hovyú INTA' y 'Pytá INTA') selected by Poplar Breeding Program of INTA from seeds of poplar populations of the southeast of the United States introduced to the our country between 1977 and 1979. For each clone the second log of 6 trees from 13 to 15 years was studied, following the protocols established by IRAM Standards 9532, 9544, 9543, 9570, 9542, 9596, 9747 and 9551. Although the wood of the clones studied was classified as light, stable and very elastic, significant differences between the analyzed variables were detected, suggesting the presence of different aptitudes for industry.*

**Keywords:** *Populus deltoides*; poplar wood; physical and mechanical properties

## 1. INTRODUCCIÓN

Las distintas especies de álamos se encuentran entre las de más rápido crecimiento de climas templados (1). En Argentina las plantaciones del género ocupan una superficie de 61.000 hectáreas concentradas principalmente en el Delta del Río Paraná y en las regiones bajo riego de Cuyo y el valle del Río Negro. Su madera se destina principalmente para usos sólidos (debobinado y aserrado) y en menor medida para las industrias del triturado (papel y tableros) (2). *Populus deltoides* es la principal especie cultivada en el Delta y en ambientes en donde la cancrrosis limita la utilización de *P. nigra* y de los híbridos de *P. xcanadensis* (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10).

Los responsables de las explotaciones forestales dependen cada vez más del suministro de clones mejorados y de prácticas intensivas de manejo para poder producir de manera eficiente y responder a la creciente demanda de productos de madera y fibra (11, 12).

Desde los primeros pasos en la domesticación del género (13) se han logrado numerosos clones genéticamente mejorados utilizando como criterios de selección: adaptabilidad, crecimiento, forma y tolerancia a factores bióticos y abióticos (14, 15). Dado que las propiedades físicas y mecánicas de la madera determinan en gran medida la idoneidad del material para diversos productos y aplicaciones (16), un número creciente de programas de mejora han ido incorporando criterios de calidad en los esquemas de selección (17, 18, 19). Sin embargo, la selección de genotipos basada en criterios de calidad de madera ha sido frecuentemente problemática debido a la amplia gama de usos de la madera (20). La densidad básica y las características de las fibras tienen una importancia fundamental en la industria de la celulosa y del papel y fueron consideradas en varios programas, en especial en aquellos financiados por este tipo de industrias (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28). La densidad básica también fue frecuentemente utilizada como criterio para la selección indirecta de las propiedades mecánicas, dado que presenta alta heredabilidad y buenos niveles de correlación (29, 30, 31).

La selección genética de clones de álamo para aplicaciones específicas de madera maciza ha recibido menor atención (32, 33, 34, 35, 36, 37, 38).

En concordancia con lo ocurrido a nivel internacional el programa de mejora de álamo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), iniciado en la década de 1960, basó su programa de selección en variables relacionadas con el rendimiento y la tolerancia a factores bióticos y abióticos para luego incorporar la densidad en etapas tempranas (39) y finalmente las características físicas y mecánicas de clones en etapas avanzadas de mejora previo a su envío al Registro Nacional de Cultivares para ser incorporados al Catálogo Nacional (40, 41).

El presente trabajo tiene por objetivo estudiar las propiedades físicas y mecánicas de cinco clones de *Populus deltoides* ('Guayracá INTA', 'Ñacuturú INTA', 'Paycarabí INTA', 'Hovyú INTA' y 'Pytá INTA') seleccionados en el marco del Programa de Mejoramiento de álamo del INTA a partir de poblaciones originadas de semillas del SE de Estados Unidos introducidas al país entre 1977 y 1979.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Entre los años 2015 y 2017 el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) remitió a inscripción cinco clones de álamo, de los cuales cuatro ya han sido aprobados e incorporados al Registro Nacional de Variedades con las siguientes denominaciones: 'Guayracá INTA' (Resolución INASE N<sup>ro</sup>. 199/15), 'Ñacuturú INTA' (Resolución INASE N<sup>ro</sup>. 196/15), 'Paycarabí INTA' (Resolución INASE N<sup>ro</sup>. 361/16) y 'Hovyú INTA' (Resolución INASE N<sup>ro</sup>. 364/16). El quinto clon cuyo nombre propuesto es "Pytá INTA" se encuentra aún en proceso de inscripción.

Estos materiales fueron seleccionados a partir de poblaciones de medios hermanos obtenidas de semillas recolectadas de árboles que presentaban excelente desarrollo dentro del área de distribución natural de la especie en los estados de Stoneville, Illinois y Tennessee (Estados Unidos de América) y que habían sido introducidas al país por Celulosa Argentina entre 1977 y 1979.

A partir de 2.000 individuos, cedidos por la empresa al Ing. Abelardo Alonzo en 1982, se seleccionaron en base a crecimiento y densidad básica de la madera 140 genotipos superiores. Estos fueron multiplicados e instalados en un banco clonal en donde se realizó un nuevo ciclo de selección en base a crecimiento, sanidad y forma de las guías. Los clones selectos fueron paulatinamente incorporados a la red de ensayos comparativos del programa de mejoramiento instalados en campos pertenecientes a productores locales [Cosentino (1998), Jaureguiberry (1999), José Gomes (2000) y Urionagüena (2003)] y en la E.E.A. Delta del Paraná (2000 y 2002) en donde se evaluó además de las variables antes mencionadas las características del fuste. Todos los campos cuentan con un dique de protección contra inundaciones.

A partir del 2011, cuando las plantas fueron alcanzando la edad corte, se aparearon 6 árboles tipo de 13 a 15 años por clon (distribuidos entre 25,8 y 39,9 cm de DAP). Los árboles fueron elegidos de manera aleatoria luego de separar aquellos que presentaban bifurcaciones, efectos de borde o cualquier signo de decaimiento que pudiera influir negativamente sobre los resultados.

Cada árbol fue trozado a 2,20 m y sus trozas fueron identificadas individualmente a fin de mantener trazabilidad a través de todo el proceso de evaluación. El material leñoso correspondiente a la segunda troza fue aserrado en listones de 2.200 mm de longitud y de tres secciones: 50 x 50 mm, 20 x 150 mm y 20 x 40 mm y enviado al Laboratorio de Investigaciones en Maderas (LIMAD) de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. Las tablas fueron estibadas según espesor con separadores de 20 mm apartados a 400 mm uno del otro para su secado natural hasta alcanzar el contenido de humedad en equilibrio higroscópico (HEH) del 12%, testeado mediante higrómetro electrónico (GANN, Hydromette HT 85). La estiba fue separada a 200 mm del piso y se agregaron contrapesos en la parte superior para evitar deformaciones de las tablas, las cuales una vez secas, se trasladaron a la carpintería para llevar a cabo el proceso de cepillado, lijado y la obtención de las probetas para las determinaciones de las propiedades físicas y mecánicas.

Para las determinaciones del contenido de humedad y densidad (aparente normal y anhidra) se utilizaron las normas IRAM 9532 (43) e IRAM 9544 (44) respectivamente. Para cada clon se analizaron 30 probetas de 20 x 20 x 20 mm libres de defectos por árbol, las cuales fueron obtenidas a partir de los listones de 20 x 150 mm. El volumen se determinó por el método de desplazamiento de agua destilada y los pesos con balanza analítica de 0,01 g de precisión.

Para la determinación de los cambios dimensionales (Contracción normal máxima, Coeficiente de contracción, Punto de saturación de las fibras y Coeficiente de anisotropía) se utilizaron los procedimientos indicados en la Norma IRAM 9543 (45). Para cada clon se analizaron 30 probetas libres de defectos de 20 x 20 x 50 mm de lado perfectamente radiales y 30 perfectamente tangenciales por árbol obtenidas a partir de los listones de sección cuadrada de 50 mm de lado.

Para las determinaciones de las propiedades mecánicas (Dureza Janka, Flexión estática [Módulo de Rotura (MOR) y Módulo de Elasticidad (MOE)], Corte paralelo a las fibras, Compresión perpendicular y Compresión paralela a las fibras) se aplicaron los procedimientos definidos en las normas IRAM 9570 (46), IRAM 9542 (47), IRAM 9596 (48), IRAM 9547 (49) e IRAM 9551(50) en 30 probetas de 50 x 50 x 150 mm, 20 x 20 x 300 mm, 50 x 50 x 65 mm, 50 x 50 x 150 mm y 50 x 50 x 200 mm respectivamente. Para los ensayos de dureza Janka y flexión estática se utilizó una prensa universal de 5000 kg Alfred J. Amsler & Co, Schaffhausen - Suisse 7928, mientras que para los ensayos de corte paralelo, compresión perpendicular y compresión paralela a las fibras se utilizó una prensa de 25 toneladas de la misma marca modelo 5380. La precisión del deflectómetro utilizado para los ensayos de flexión estática y compresión paralela a las fibras fue de 0,01 mm.

Los datos fueron analizados utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (51) versión 9.4. Las diferencias entre medias fueron detectadas mediante la prueba de Tukey. En todos los casos se comprobó el cumplimiento de los supuestos de normalidad y de homogeneidad de varianza.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Propiedades físicas

Los resultados del análisis de varianza indican que existen diferencias significativas en las propiedades físicas de la madera entre los clones estudiados para las variables densidad aparente normal ( $F=36,67$ ;  $P<0,0001$ ), densidad aparente anhidra ( $F= 38,77$ ;  $P<0,0001$ ), contracción normal máxima tangencial ( $F= 4,39$ ;  $P<0,0083$ ) y coeficiente de contracción tangencial ( $F= 11,08$ ;  $P<0,0001$ ).

Las densidades aparentes son una de las propiedades físicas más importantes debido a su estrecha relación con la resistencia mecánica, el grado de variación dimensional y el poder calorífico, entre otros (52, 53) y son parámetros que tienen en cuenta las industrias madereras (54).

Los valores de densidad aparente normal obtenidos en este estudio corresponden a los de maderas livianas (Tabla 1), cuyo rango es de 351 a 550  $\text{kg/m}^3$  según la clasificación de Coronel (55). Asimismo, según la clasificación de Rivero Moreno (52) la madera posee un valor bajo de densidad aparente normal (rango 0,35-0,50) y se considera liviana según la densidad aparente anhidra (rango 0,30-0,45).

Tabla 1: Valores medios de densidad normal y anhidra correspondientes a cinco nuevos clones de *Populus deltoides* del Programa de mejora del INTA. Las medias dentro de una columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas para un valor de  $p=0,05$ .

Clon	Densidad aparente ( $\text{kg/m}^3$ )	
	Normal (12%)	Anhidra
Guayracá INTA	468 <sup>a</sup>	446 <sup>a</sup>
Ñacurutú INTA	460 <sup>a</sup>	430 <sup>a</sup>
Paycarabí INTA	457 <sup>a</sup>	430 <sup>a</sup>
Hovyú INTA	377 <sup>b</sup>	355 <sup>b</sup>
Pytá INTA	377 <sup>b</sup>	353 <sup>b</sup>

Las densidades presentadas por los nuevos clones de *P. deltoides* del programa de mejora de álamo de INTA se encuentran dentro del rango reportado en la literatura para la especie (56, 57; 14, 19), si bien son algo inferiores al valor de 471  $\text{kg/m}^3$  encontrado para el clon 'Australiano 129-60' (Pitter comunicación personal) que es el más ampliamente utilizado en la zona Núcleo Forestal del Delta del Río Paraná. Aun cuando 'Hovyú INTA' y "Pytá INTA" presentaron densidades significativamente menores al resto de los clones estudiados, los valores obtenidos resultaron superiores a los 279  $\text{kg/m}^3$  reportados para *P. xcanadensis* 'I-214' (58). Este clon, seleccionado por el Profesor Giovanni Jacometti del CRA\_PLF en Casale Monferrato (Italia), presenta excelentes cualidades para la industria del debobinado y fabricación de paneles (19, 59) y es el más ampliamente utilizado a nivel internacional. Por otro lado existe también una amplia gama de productos tales como fósforos, bajalenguas, palitos para helados, etc. que no requieren altos valores de densidad para los cuales estos clones de menor densidad resultarían adecuados.

Cabe destacar que estos dos clones que presentaron los menores valores de densidad son los que presentan mayor tasa de crecimiento, siendo esta tendencia coincidente con los resultados presentados en la bibliografía (60, 61, 62, 63, 64, 24, 26).

La madera de álamo presenta altos valores de resistencia en relación a su baja densidad y exhibe un comportamiento similar al de otras maderas blandas, como por ejemplo *Pinus taeda* (421  $\text{kg/m}^3$ )

y *P. elliottii* (436 kg/m<sup>3</sup>) (65), especialmente en relación con su potencial para aplicaciones estructurales. Para este tipo de aplicaciones, los clones 'Guayracá INTA', 'Ñacurutú INTA' y 'Paycarabí INTA' con mayor densidad resultarían más apropiados.

Los valores de contracción máxima radial y tangencial hallados (Tabla 2) se encuentran dentro de los rangos normales aceptables: 1,5 a 7,00% y 3,60 a 15,00% respectivamente (55) y son similares a aquellos reportados en la literatura (66, 67, 38). Como se mencionó anteriormente, solamente se detectaron diferencias en el plano tangencial. El clon 'Guayracá INTA' presentó mayores cambios dimensionales que el clon 'Paycarabí INTA', siendo intermedios los valores de los otros tres clones. La misma tendencia se observa para el coeficiente de contracción, aunque para esta variable "Pytá INTA" se comportó de manera similar a 'Paycarabí INTA' (Tabla 2). No se detectaron diferencias significativas para las variables contracción normal máxima ( $F=0,98$ ;  $P=0,4346$ ) y coeficiente de contracción ( $F=1,55$ ;  $P=0,2205$ ) en el plano radial.

Tabla 2: Valores medios relacionados a los cambios dimensionales correspondientes a cinco nuevos clones de *Populus deltoides* del Programa de mejora del INTA. Las medias dentro de una columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas para un valor de  $p=0,05$ .

Clon	Contracción normal máxima (%)		Coeficiente de contracción		Punto de saturación de las fibras	Coeficiente de anisotropía (T/R)
	Radial	Tangencial	Radial	Tangencial		
Guayracá INTA	4,16 <sup>a</sup>	8,36 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>	0,27 <sup>a</sup>	30,82 <sup>ab</sup>	2,03 <sup>a</sup>
Ñacurutú INTA	3,89 <sup>a</sup>	7,10 <sup>ab</sup>	0,13 <sup>a</sup>	0,22 <sup>bc</sup>	31,46 <sup>ab</sup>	2,00 <sup>a</sup>
Paycarabí INTA	3,33 <sup>a</sup>	6,33 <sup>b</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,19 <sup>c</sup>	29,97 <sup>bc</sup>	1,96 <sup>a</sup>
Hovyú INTA	3,74 <sup>a</sup>	7,25 <sup>ab</sup>	0,15 <sup>a</sup>	0,24 <sup>ab</sup>	27,56 <sup>bc</sup>	1,99 <sup>a</sup>
Pytá INTA	3,78 <sup>a</sup>	6,12 <sup>ab</sup>	0,13 <sup>a</sup>	0,17 <sup>c</sup>	32,64 <sup>a</sup>	1,71 <sup>a</sup>

El punto de saturación de las fibras indica el valor a partir del cual ante cualquier disminución en el contenido de humedad comienzan a producirse las contracciones en la pieza de madera. Los valores obtenidos en el presente estudio resultaron normales (rango entre 25 y 35%) y similares a los reportados para la especie (19) siendo los clones 'Hovyú INTA' y 'Paycarabí INTA' más estables que "Pytá INTA" mientras que los clones 'Guayracá INTA' y 'Ñacurutú INTA' presentaron valores intermedios y no se diferencian de ninguno de los anteriores.

Los coeficientes de anisotropía resultaron similares para todos los clones ( $F=0,41$ ;  $P=0,8017$ ) y altos en relación a la densidad aunque menores a los reportados por De Boever *et al.* (36). Si bien la madera se clasifica como estable a moderadamente estable (55), los valores obtenidos para los clones 'Guayracá INTA' y 'Ñacurutú INTA' indican que podrían presentarse algunos problemas de secado, especialmente en programas rápidos, por lo cual se recomienda poner especial atención durante este proceso para evitar la formación de grietas, rajaduras y alabeos en las tablas (Tabla 2).

### 3.2 Propiedades mecánicas

Con respecto a la Dureza Janka, que determina la resistencia que ofrece la madera a la penetración de cuerpos de mayor solidez y consistencia, se encontraron diferencias significativas entre los clones analizados ( $F=81,61$ ;  $38,32$  y  $42,68$  y  $P < 0,0001$  para los planos transversal, radial y tangencial respectivamente). 'Ñacurutú INTA', 'Paycarabí INTA' y 'Hovyú INTA' resultaron blandos en el plano transversal (rango: 30,1 a 50 MPa) y muy blandos en los planos radial y tangencial (rango: <30 MPa) de acuerdo a la clasificación de Coronel (68). Estos clones fueron menos resistentes que el clon

'Guayracá INTA' que se ubicó en una categoría de mayor resistencia para todos los planos. En el otro extremo la madera del clon "Pytá INTA" resultó muy blanda en todos los planos y significativamente inferior al resto salvo para el caso de la dureza transversal para la cual resultó similar a la del clon 'Hovyú INTA' (Tabla 3).

Tabla 3: Valores medios de Dureza Janka correspondientes a cinco nuevos clones de *Populus deltoides* del Programa de mejora del INTA. Las medias dentro de una columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas para un valor de  $p=0,05$ .

Clon	Dureza Janka (Mpa)		
	Transversal	Radial	Tangencial
Guayracá INTA	58,73 <sup>a</sup>	35,70 <sup>a</sup>	40,05 <sup>a</sup>
Ñacurutú INTA	36,28 <sup>b</sup>	21,64 <sup>b</sup>	22,74 <sup>b</sup>
Paycarabí INTA	41,37 <sup>b</sup>	22,27 <sup>b</sup>	25,49 <sup>b</sup>
Hovyú INTA	30,10 <sup>c</sup>	20,15 <sup>b</sup>	21,67 <sup>b</sup>
Pytá INTA	28,60 <sup>c</sup>	12,99 <sup>c</sup>	14,60 <sup>c</sup>

La resistencia a la compresión perpendicular (Tabla 4) fue alta (rango 7,6 a 9,8 MPa), siendo dentro de este rango significativamente mayor para 'Guayracá INTA' que para 'Paycarabí INTA' mientras que 'Ñacurutú INTA' no se diferenció de ninguno de estos clones. 'Hovyú INTA' y "Pytá INTA" presentaron una resistencia mediana (rango 5,1 a 7,5 MPa) e inferior al resto de los clones ( $F=37,82$ ;  $P<0,0001$ ).

En cambio para la variable compresión paralela de las fibras todos los clones presentaron una resistencia media (rango 30,1 a 40 MPa), aun cuando ésta resultó significativamente menor para 'Hovyú INTA' con respecto a 'Guayracá INTA' y 'Ñacurutú INTA', mientras que para el clon "Pytá INTA" solo fue menor que 'Ñacurutú INTA' y el clon 'Paycarabí INTA' no logró diferenciarse de ninguno de los anteriores ( $F=8,98$ ;  $P<0,0001$ ).

En cuanto a la resistencia al corte paralelo de las fibras, fue baja para 'Hovyú INTA' (rango 4,1 a 8,5 MPa) y significativamente menor al resto de los clones que presentaron resistencias medias (rango 8,6 a 12 MPa). Dentro de los clones que presentaron una resistencia media, 'Guayracá INTA' superó significativamente a "Pytá INTA" mientras que 'Ñacurutú INTA' y 'Paycarabí INTA' no se diferenciaron del resto de los clones ( $F=17,98$ ;  $P<0,0001$ ).

La resistencia a la rotura en flexión estática fue baja para todos los clones (rango 50 a 95 MPa) incluso cuando el clon 'Ñacurutú INTA' presentó valores significativamente mayores ( $F=14,85$ ;  $P<0,0001$ ). Para esta variable los valores promedio de las diferentes especies de álamo se encuentran dentro de un rango relativamente estrecho entre 58 y 63 Mpa (19) y, salvo para el caso del clon 'Ñacurutú INTA', nuestros resultados son similares a los reportados por otros autores (67, 11, 38). Finalmente la madera de los nuevos clones de INTA se clasifica como muy elástica siendo mayor para 'Ñacurutú INTA' que para 'Guayracá INTA', 'Hovyú INTA' y "Pytá INTA" y sin diferencias con ninguno de ellos para 'Paycarabí INTA' ( $F=5,01$ ;  $P=0,0047$ ). Todos los rangos indicados para flexión estática corresponden a la clasificación de Rivero Moreno (52).

Los valores de Módulo de Elasticidad de los clones presentados fueron comparables o ligeramente inferiores a los resultados mencionados en la literatura (22, 38). Todos los rangos utilizados para flexión estática corresponden a la clasificación de Rivero Moreno (52).

Tabla 4: Valores medios de compresión perpendicular, paralela y corte paralelo a las fibras y de flexión estática (MOR y MOE) correspondientes a cinco nuevos clones de *Populus deltoides* del Programa de mejora del INTA. Las medias dentro de una columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas para un valor de  $p=0,05$ .

Clones	MOR (MPa)			MOR (MPa)	MOE (MPa)
	Compresión perpendicular	Compresión paralela	Corte paralelo		
Guayracá INTA	9,71 <sup>a</sup>	36,31 <sup>ab</sup>	11,55 <sup>a</sup>	52,89 <sup>b</sup>	5176 <sup>b</sup>
Ñacurutú INTA	8,75 <sup>ab</sup>	37,95 <sup>a</sup>	10,03 <sup>ab</sup>	79,22 <sup>a</sup>	6808 <sup>a</sup>
Paycarabí INTA	8,56 <sup>b</sup>	34,95 <sup>abc</sup>	10,21 <sup>ab</sup>	63,64 <sup>b</sup>	5969 <sup>ab</sup>
Hovyú INTA	6,53 <sup>c</sup>	32,67 <sup>c</sup>	7,04 <sup>c</sup>	52,88 <sup>b</sup>	5402 <sup>b</sup>
Pytá INTA	6,30 <sup>c</sup>	33,46 <sup>bc</sup>	9,83 <sup>b</sup>	51,62 <sup>b</sup>	5135 <sup>b</sup>

En términos generales nuestros resultados fueron similares a los reportados por otros autores para *P. deltoides* (56, 14, 57, 69) e indican que los clones estudiados podrían ser utilizados para la fabricación de productos de interior de madera sólida y/o para triturado. Así por ejemplo, 'Guayracá INTA' de mayor densidad y dureza podría resultar en un mayor rendimiento para la industria del papel y mayor resistencia para la industria del aserrado mientras que 'Paycarabí INTA', de mayor estabilidad, podría ser más adecuado para molduras.

## AGRADECIMIENTOS

A las Familias Urionaguena y Jaureguiberry por su constante apoyo para la realización de los ensayos genéticos, a nuestros colaboradores de la E.E.A. Delta del Paraná Ariel Albornoz y a Sergio y Hugo Rossi y por el apeo de los árboles y la preparación de las trozas y a Javier Wojciekian por la preparación de las tablas normalizadas.

## REFERENCIAS

- [1] Zsuffa, L., Giordano, E., Pryor, L., Stettler, R. Trends in poplar culture: some global and regional perspectives. In: Biology of *Populus* and its implications for management and conservation. Ed: Stettler, R., Bradshaw, H. Jr., Heilman, P., Hinckley, T. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada, (1996) 515-539.
- [2] Barros, J. Situación actual del sector forestal en la región del Delta del Paraná, República Argentina. I Jornadas de Salicáceas (2006) 6 pp.
- [3] Alonzo, A. Estado actual del mejoramiento de Salicáceas en la Argentina. Actas del Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento genético de especies forestales. Bs. As. CIEF. Tomo I (1987) 157-171.
- [4] Ares, A. Changes through time in traits of poplar clones in selection trials. New Forests 23 (2002) 105-119.
- [5] Calderón, A. Silvicultura y situación de los álamos en Cuyo. Jornadas de Salicáceas (2006) 71-79.
- [6] Calderón, A.; Bustamante, J.; Riu, N., Settepani, V. y Perez, S. Red de ensayos de adaptación y comportamiento de los clones de álamos en la región regadía de Cuyo. SAGPyA Forestal N° 32 (2004) 31-35.
- [7] Cortizo, S. Mejoramiento genético del álamo, una ciencia en apoyo a la producción forestal sostenible. Jornadas de Salicáceas 2011. Tercer Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina. Neuquén. Argentina (2011) 14 pp.

- [8] García, J. Forestación con Salicáceas en áreas bajo riego en Patagonia. <http://ebookbrowse.com/search/garc%3%ADa-2002-forestaci%3%B3n-con-salic%3%A1ceas-en-%3%A1reas-bajo-riego-de-patagonia>, (2002) 36 pp.
- [9] Piussan, C. Mejorar para competir. Campo y tecnología. INTA. Año IV, N° 19, (1995) 56-58.
- [10] Ragonese, A.E. Fitotécnica de Salicáceas en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. INTA. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Tomo XLVII N° 2, (1993), 35 pp.
- [11] Hernández, R.; Koubaa, A.; Beaudoin, M. and Fortin, Y. Selected mechanical properties of fast-growing poplar hybrid clones. *Wood fiber Science* 30(2) (1998) 138-147.
- [12] Zobel, B. and Talbert, J. Applied forest tree improvement. Ed: John Wiley & Sons. NY, (1984) 505 pp.
- [13] Henry, A. The artificial production of vigorous trees. *Journal of the Department of Agriculture and Technical Institute, Irish Free State* 15, (1914) 34-52.
- [14] Pliura, A.; Zhang, S.; MacKay, J. and Bousquet, J. Genotypic variation in wood density and growth traits of poplar hybrids at four clonal trials. *Forest Ecology and Management* 238 1-3, (2007) 92-106.
- [15] Stanton, B., Neale, D. and Li, S. *Populus* Breeding: From the Classical to the Genomic Approach. Ed: Jansson, S. et al. *Genetics and Genomics of Populus*. DOI 10.1007/978-1-4419-1541-2\_14, (2010).
- [16] Barnett J.R., Jeronimidis, G. Wood quality and its biological basis. Blackwell Publishing Ltd, CRC Press (2003) 240 pp.
- [17] Nocetti, M. Genetic improvement of trees for wood production with particular reference to wood traits. *Forest@* 5(1), (2008), 112-120.
- [18] Stanton, B., Serapiglia, M. and Smart, L. The Domestication and Conservation of *Populus* and *Salix* Genetic Resources. In *Poplars and willows: trees for society and the environment*. Isebrands, J. and Richardson, J. (Ed), (2010) 124-176.
- [19] Balatinecz, J., Mertens, P., De Boever, L. and Yukun, H. Properties, Processing and Utilization. In *Poplars and willows: trees for society and the environment*. Isebrands, J.G. and Richardson, J. (Ed): (2014) 527-556.
- [20] Riemenschneider, R., Stanton, B., Vallée, G. and Périnet, P. Poplar breeding strategies. Ed: Dickmann, D.; Isebrand, J.; Eckenwalde, J. and Richardson, J. *Poplar culture in North America*. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canadá (2001) 43-76.
- [21] Posey, C., Bridgewater, F. and Buxton, J. Natural variation in specific gravity, fiber length, and growth rate of eastern cottonwood in the southern Great Plains. *Tappi* 52(8), (1969) 1508-1511.
- [22] Bendtsen, B. A. 1978. Properties of wood from improved and intensely managed trees. *Forest Prod. J.* 28(10) (1978) 61-72.
- [23] Murphey, W., Bowersox, T. and Blankenhorn, P.R. Selected wood properties of young *Populus* hybrids. *Wood Science* 11(4), (1979) 263-267.
- [24] Yanchuk, A., Dancik, B. and Micko, M. Intraclonal variation in wood density of trembling aspen in Alberta. *Wood Fiber Science* 15(4) (1983) 387-394.
- [25] Nepveu, G., Barneoud, C., Polge, H. and Aubert, M. Clonal variability in growth stress and other wood properties in *Populus* species, assessment of wood quality by increment cores. *AFOCEL* (1985) 337-357.
- [26] Beaudoin, M., Hernández, R., Koubaa, A. and Poliquin, J. Interclonal, intraclonal and within-tree variation in wood density of poplar hybrid clones. *Wood Fiber Science* 24(2), (1992) 147-153.
- [27] Koubaa, A., Hernández, R., Beaudoin, M. and Poliquin, J. Interclonal, intraclonal and within-tree variation in fiber length of poplar hybrid clones. *Wood Fiber Science* 30(1), (1998) 40-47.
- [28] Zhang, D., Zhang, Z., and Yang, K. 2006. QTL analysis of growth and wood chemical content traits in an interspecific backcross family of white poplar (*Populus tomentosa* × *P. bolleana*) × *P. tomentosa*. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 2015-2023.
- [29] Zobel B and Van Buijtenen, J. *Wood Variation: its Causes and Control*. Springer. Berlín, Alemania. (1989) 200 pp.
- [30] Zobel, B. and Jett, J. *Genetics of wood production*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. Ed: Timell, E. D. (1995) 303 pp. DOI 10.1007/978-3-642-79514-5.
- [31] Panshin, A. J. and Zeeuw, C. *Textbook of Wood Technology*, McGraw-Hill, New York. (1980) 643 pp.
- [32] Koubaa, A, Hernández, R.E., Beaudoin, M. Shrinkage of fast-growing hybrid poplar clones. *Forest Prod J* 48(4) (1998) 82-87.



- [33] Kretschmann, D.E., Isebrands, J.G., Stanosz, G., Dramm, J.R., Olstad, A., Cole, D., Samsel, J. Structural lumber properties of hybrid poplar. Res Pap FPL-RP-573. USDA For Serv Forest Prod Lab, Madison, WI. (1999) 8 pp.
- [34] Peters, J.J., Bender, D.A., Wolcott, M.P., Johnson, J.D. Selected properties of hybrid poplar clear wood and composite panels. Forest Prod J 52(5) (2002) 45-54.
- [35] Zhang, S. Y., Yu, Q., Chauret, G. and Koubaa, A. Selection for both growth and wood properties in hybrid poplar clones. Forest Sci. 49 (6) (2003) 901-908.
- [36] de Boever, L., Vansteenkiste, D., Van Acker, J., Stevens, M. End-use related physical and mechanical properties of selected fast-growing poplar hybrids (*Populus trichocarpa* x *P. deltoides*). Ann Sci 64(6) (2007) 621-630.
- [37] Kang, K. Y., Bradic, S., Avramidis, S., Mansfield, S.D. Kiln-drying lumber quality of hybrid poplar clones. Holzforschung 61(1) (2007) 65-73 2007;
- [38] Huda, A.; Koubaa, A.; Cloutier, A.; Hernández, R. and Fortin, Y. Variation of physical and mechanical properties of hybrid poplar clones. Bioresources 9(1) (2014) 1456-1471.
- [39] Cortizo, S., Mema, V., Pathauer, P. and Lopez, G. Basic wood density estimation using Pilodyn in breeding programs of *Populus spp.* Proceedings of the 22° Session International Poplar Commission (2004) 129.
- [40] Cortizo, S., Monteverde, S., Fernandez Tschieder, E., Refort, M., Taraborelli, C., Feil, G., Abbiati, G. Características técnicas de un nuevo genotipo de álamo para su inscripción en el Registro Nacional de Variedades. IV Jornadas de Salicáceas (2014) 10 pp.
- [41] Cortizo, S., Monteverde, S., Fernandez Tschieder, E., Refort, M., Taraborelli, C., Keil, G. y Abbiati, N. Características técnicas de un nuevo genotipo de álamo para su inscripción en el Registro Nacional de Variedades. Jornadas de Salicáceas (2014) 10 pp.
- [42] Cortizo, S.; Monteverde, M. S. y Abbiati, N. Diferencias físicas y mecánicas de la madera de cuatro clones de *Populus deltoides* seleccionados por el Programa de Mejora de INTA. VII Reunión GeMFO / compilado por Juan Adolfo López; Luis Fernando Fornes. 1a ed. - Bella Vista: Juan Adolfo López. Libro digital, DXReader (2016) 37-40
- [43] IRAM 9532. Maderas. Método de determinación de la humedad. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires (1963) 13 pp.
- [44] IRAM 9544. Maderas. Método de determinación de la densidad aparente. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires (1973) 10 pp.
- [45] IRAM 9543. Método de determinación de las contracciones totales, axil, radial y tangencial y el punto de saturación de las fibras. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, Argentina (1996) 6 pp.
- [46] IRAM 9570. Maderas – Método de ensayo de la dureza Janka. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires (1971) 6 pp.
- [47] IRAM 9542. 1965. Maderas – Método de ensayo de flexión estática de maderas con peso específico aparente mayor de 0,5g/cm<sup>3</sup>. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. 10 pp.
- [48] IRAM 9596. 1990. Maderas – Método para la determinación de la resistencia de las maderas a esfuerzos de corte paralelo a las fibras. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. 10 pp.
- [49] IRAM 9547. 1977. Maderas – Método de determinación de la compresión perpendicular al grano. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. 5 pp.
- [50] IRAM 9551, 1985. Maderas: método de determinación de la compresión axial o paralela al grano. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 6 pp.
- [51] SAS Institute Inc. 2002-2012 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. Version 9.4.
- [52] Rivero Moreno, J. Propiedades Físico-Mecánicas de *Gmelina arborea* Roxb. y *Tectona grandis* Linn. F. Proveniente de Plantaciones Experimentales del Valle del Sacta. Cochabamba. Bolivia (2004) 73 pp.
- [53] Bárcenas- Pazos, G.M., Ortega-Escalona, F., Ángeles-Álvarez, G., Ronzón-Pérez, P. Relación estructural-propiedades de la madera de angiospermas mexicanas. Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo, 21(42) (2005) 45-55
- [54] Andía, I. y Keil, G.D. Propiedades físicas de la madera. Publicación Docente N° 01/04. Cátedra de tecnología de la madera. Universidad Nacional del Comahue. Asentamiento Universitario San Martín de los Andes (2004) 22 pp.

- [55] Coronel, E. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. 1 Parte: Fundamentos de las propiedades físicas de la madera. Publicación ITM – UNSE (1994) 187 pp.
- [56] Klasnja, B.; Kopitovic, S. and Orlovic, S. Variability of some wood properties of eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) clones. Wood Sci Technol 37 (2003) 331-337.
- [57] Membrivez, F.; Genovese, F.; Reviglio, H.; Arcidiacono, R.; Bonino, G.; Di Menza, A; Lucero, C.; Martínez Araujo, N.; Navarro, N.; Nieto, A. y Oberti, N. Caracterización físico mecánica de la madera de álamo del sur de Mendoza. IBEROMADERA 2007, Buenos Aires, Argentina (2007) 21 pp.
- [58] Barnéoud, C.; Bonduelle, P. and Dubois, J.M. Manuel de populiculture. AFOCEL. Paris (1982) 319 pp.
- [59] Kurt, R., Cil, M. Aslan, K. and Cavus, V. Effect of pressure duration on physical, mechanical, and combustibility characteristics of laminated veneer lumber (LVL) made with poplar clones. Bioresources 6 (4) (2011) 4886-4894.
- [60] Kennedy, R. W. and Smith J. H. G 1959. The effect of some genetic and environmental factors on wood quality in poplar. Pulp Pap. Mag. Can. 59(2) (1959) 37-38.
- [61] Cech, M. Y., Kennedy, R. W. and Smith J. H. G. Variation in some wood quality attributes of one-year old black cottonwood. Tappi 43(10) (1960) 857-859.
- [62] Farmer, R. E. Jr. Genetic variation among open pollinated progeny of eastern cottonwood. Silv. Genet. 19(5/6) (1970) 149-151.
- [63] Farmer, R. E. Jr. and Wilcox, J. R. Specific gravity variation in a lower Mississippi valley cottonwood population. Tappi 49(5) (1966) 210-211.
- [64] Farmer, R. E. Jr. and Wilcox, J. R. Preliminary testing of eastern cottonwood clones. Theoret. Appl. Genet. 38 (1968) 197-201.
- [65] Suirezs, T. Efecto de la impregnación con CCA (cromo-cobre-arsénico) sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda* L. implantado en la provincia de Misiones. Tesis de Maestría en Ciencias de la Madera, Celulosa y Papel, Orientación Tecnología de la Madera (2000) 76 pp.
- [66] Kord, B.; Kialashakia, A. and Kord, B. The within-tree variation in wood density and shrinkage, and their relationship in *Populus euramericana*. Turk J Agric For 34 (2010) 121-126.
- [67] Kothiyal, V. Studies on Wood Quality of Poplar. Forestry Bulletin, 12(1) (2012) 123-131.
- [68] Coronel, E. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. 2<sup>da</sup> Parte: Fundamentos de las propiedades mecánicas de las maderas. Publicación ITM – UNSE (1995) 335 pp.
- [69] Calderón, A.; Roig, F.; Zanetti, R.; Aguado, E.; Furlani, A. y Marínez, F. Características físico mecánicas de maderas de clones de álamo ensayadas en la provincia de Mendoza, República Argentina. Parte1. Jornadas de Salicáceas (2011) 9 pp.