

## Estudio comparativo entre valores de propiedades mecánicas de madera aserrada de álamo de diversas variedades y procedencias

Ricardo Daniel Bassotti

Grupo GEDEC, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael, Urquiza 314, San Rafael, Mendoza

rbassotti@frsr.utn.edu.ar

### Resumen

Se presentan los resultados del estudio comparativo entre valores de propiedades mecánicas de madera aserrada de álamo con forma de tablas, de diversas especies y lugares de cultivo. Las variedades identificadas corresponden a los clones *Populus deltoides* ‘Australiano 129/60’ y ‘Stoneville 67’ de la zona del Delta del Río Paraná, los mismos clones ‘Australiano 129/60’ y ‘Stoneville 67’ pero de bosques implantados en las proximidades de la ciudad de Morse, al noroeste de la provincia de Buenos Aires, y el clon *Populus x canadensis* Conti 12, de bosques del oasis centro de la provincia de Mendoza, próximos a la ciudad de Tunuyán. Además, madera de álamo aserrada sin identificación específica del clon, que puede incluir *Populus nigra cv italica* (álamo criollo) y el *Populus x canadensis* I-214 y Guardi, de distintos lugares del oasis sur de la provincia de Mendoza. Las variables de comparación son la resistencia mecánica en flexión, MOR, el módulo de elasticidad en flexión, MOE y la densidad. Respecto de los valores del MOR se obtiene una media de todos los ensayos de 38,7 MPa con una diferencia de 6,5 MPa (18 %) entre los valores medios, máximo y mínimo de las distintas variedades. En el caso del MOE se obtiene un valor medio de 9.703 MPa con una diferencia de 1.641 MPa (18 %) entre los valores máximo y mínimo de las medias de todas las variedades. En referencia a la densidad se obtiene un valor medio para todas las especies de 434 kg/m<sup>3</sup> y una diferencia entre valores medios máximo y mínimo de 93 kg/m<sup>3</sup> (24 %). Los valores promedio de las variedades implantadas en la provincia de Mendoza dan como resultados para el caso del MOR un valor de 38,7 MPa, similar a la media indicada para todas las muestras, para el MOE un valor de 8.860 MPa, inferior a la media y para la densidad un valor de 406 kg/m<sup>3</sup>, también inferior a la media.

**Palabras Clave:** álamo – madera aserrada – propiedades mecánicas

### 1 Introducción

Según la información proporcionada por la Dirección de Producción Forestal dependiente del Ministerio de Agroindustria de Argentina, en la actualidad la Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial dependiente del Ministerio Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina, existen en el país 30.983 ha de álamo en macizo y 15.703 km de álamo en cortina (1). De ese total el 61 % corresponde a Buenos Aires y el 26 % a la región Cuyo (Mendoza, San Juan y San Luis) con 8.015 ha. En el mismo informe se detalla que 6.197 ha de macizos implantados corresponden a la provincia de Mendoza, correspondiendo un 16 % al oasis irrigado norte, un 60 % al oasis centro y un 24 % al oasis irrigado sur (San Rafael, General Alvear y Malargüe). Del total del oasis irrigado sur corresponde un 43 % al departamento de San Rafael, un 46 % al de General Alvear y un 11 % al de Malargüe.

En el laboratorio de estructuras de la Facultad Regional Venado Tuerto se han realizado una serie de ensayos por parte del grupo GIDEC de dicha facultad, consistentes en la determinación de propiedades mecánicas y físicas de madera aserrada de árboles correspondientes a macizos de la zona del delta del Paraná y de macizos implantados cerca de la ciudad de Morse en el centro oeste de la provincia de

Buenos Aires. Las variedades ensayadas corresponden a *Populus deltoides* ‘Australiano 129/60’ y ‘Stoneville 67’, para ambas locaciones.

En el laboratorio de estructuras de la Facultad Regional San Rafael se han realizados una serie de ensayos por parte del grupo GEDEC, consistentes en la determinación de propiedades mecánicas y físicas, de madera aserrada de la variedad *Populus x canadensis* ‘Conti 12’, implantados en el oasis irrigado centro de la provincia de Mendoza y álamos sin identificación de variedad que puede incluir *Populus nigra cv italica* (álamo criollo) y el *Populus x canadensis* I-214 y Guardi, correspondientes a plantaciones ubicadas en los departamentos de San Rafael, General Alvear y Malargüe.

Se realiza un estudio comparativo de las propiedades mecánicas y físicas identificadas como módulo resistente en flexión (MOR), módulo de elasticidad global (MOE) y densidad, entre los valores obtenidos de los ensayos realizados en ambos laboratorios, para las diferentes variedades de álamos.

## 2 Materiales y métodos

Se identifican las distintas variedades correspondientes a las muestras ensayadas, según la referencia que se presenta en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Tabla de relación entre referencias y denominación de las distintas variedades

REFERENCIA	DENOMINACIÓN
AL	Álamo sin variedad oasis sur de Mendoza
AUD	Australiano 129/60 del Delta
AUM	Australiano 129/60 de Morse
C12	Conti 12 oasis centro de Mendoza
STD	Stoneville 67 del Delta
STM	Stoneville 67 de Morse

En todos los casos los ensayos se han realizado según las especificaciones establecidas en las normas IRAM 9663 (2) e IRAM 9664 (3) y las correspondientes normativas europeas UNE-EN 408 (4) y UNE-EN 384 (5).

En cada una de las probetas ensayadas se determinaron las dimensiones transversales con calibres de precisión 0,01 mm y el valor de la nudosidad según lo establecido en la norma IRAM 9662-4 (6).

## 3 Resultados y discusiones

Se presentan los resultados obtenidos de la realización de ensayos a flexión de las diferentes variedades que permiten la determinación de la resistencia a flexión (MOR) corregido a una altura de referencia de 150 mm, el módulo de elasticidad global (MOE) corregido al 12% de humedad y la densidad, corregida al 12 % de humedad, según se especifica en la norma IRAM 9664.

Todos los resultados corresponden a madera aserrada de árboles correspondientes a las distintas variedades, con secciones transversales en forma de tabla de un espesor nominal de una pulgada (25 mm) por un ancho nominal de cuatro o cinco pulgadas (100 mm y 125 mm). El ensayo se realiza disponiendo la mayor dimensión en dirección horizontal y la menor dimensión, el espesor, en dirección vertical.

### 3.1 Resistencia a flexión – MOR

Se presentan en la Tabla 2 los valores correspondientes al MOR para cada una de las variedades, y se indican los valores mínimos, el promedio y el máximo, la desviación estándar, el coeficiente de variación

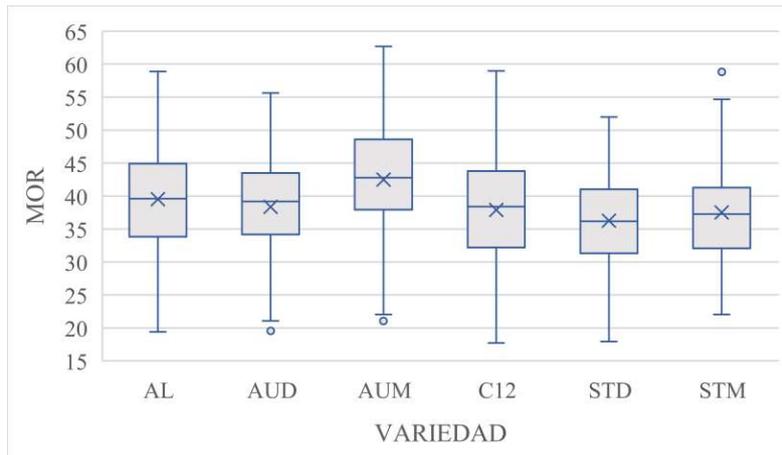
(CV), el percentil 5 % (P5 %) y la cantidad de probetas ensayadas. Todos los resultados presentados corresponden a probetas con valores de nudosidad comprendidos entre 0 y 2/3.

**Tabla 2.** Resistencia a la flexión (MOR) en N/mm<sup>2</sup>

VAR.	MÍN	MEDIO	MÁX	DESV.	CV	P5%	CANTIDAD
AL	19.4	39.5	58.9	8.0	0.20	26.7	244
AUD	19.5	38.4	55.6	6.9	0.18	25.8	286
AUM	18.5	42.8	62.7	8.1	0.19	29.6	148
C12	17.7	37.9	59.0	8.5	0.22	22.7	126
STD	17.9	36.3	52.0	7.4	0.20	24.8	150
STM	22.1	37.4	54.7	7.4	0.20	26.1	137
PROM	19.2	38.7	57.1	7.7	0.20	25.9	

Se observa que el promedio de los valores medios resulta de 38,7 MPa y el promedio de los valores del percentil 5 % da como resultado 25,9 MPa. Los valores de la variedad AL resultan mayores al promedio y los correspondientes al Conti 12 resultan menores en ambos casos.

Se presentan los valores de la tabla anterior en el gráfico de cajas y bigotes de la Fig. 1.



**Fig. 1.** Gráfico de cajas de valores de MOR según las distintas variedades

Debido a la similitud entre los valores medios se realiza un estudio estadístico de las medias de las muestras asumiendo que las mismas son similares. Se realiza en primer lugar el estudio de la normalidad de las muestras utilizando test de Kolmogorov – Smirnov con la corrección de Lilliefors, que da como resultado que las distribuciones son normales. Para comprobar la igualdad de varianzas se utiliza el test de Bartlett que da como resultado que no se verifica dicha igualdad para las distintas muestras. Se realiza el análisis de la varianza (ANOVA) asumiendo la no igualdad de varianzas, utilizando el test de Welch, que da como resultado que las medias no son iguales para las distintas variedades. Se realiza la comparación de las medias dos a dos y se presentan los resultados en la Tabla 3, donde se asumen valores medios similares para cada una de las columnas A, B o C, indicadas con una X.

**Tabla 3.** Resultados de comparación múltiple de medias (contraste de Tukey) para valores de MOR

VARIEDAD	A	B	C
AL		X	
AUD	X	X	

AUM		X
C12	X	X
STD	X	
STM	X	X

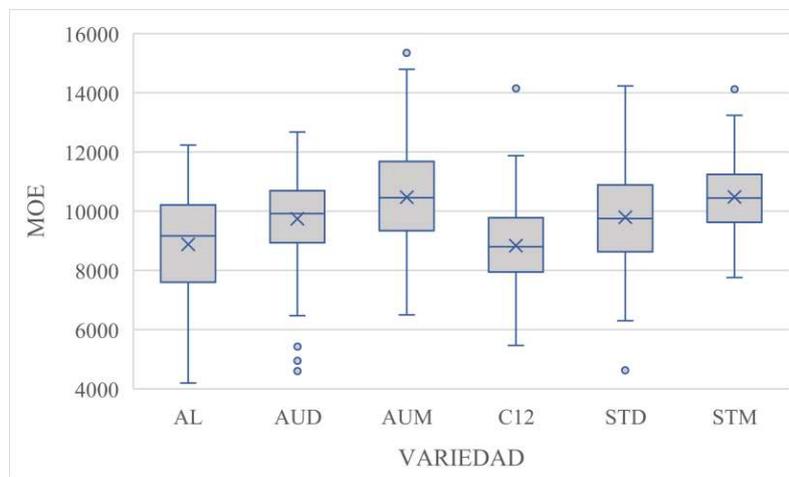
### 3.2 Módulo de elasticidad global – MOE

Se presentan en la Tabla 4 los valores correspondientes al MOE para cada una de las variedades, y se indican los valores similares a los presentados para el MOR. Todos los resultados presentados corresponden también a probetas con valores de nudosidad comprendidos entre 0 y 2/3.

**Tabla 4.** Módulo de elasticidad global (MOE) en N/mm<sup>2</sup>

VAR.	MÍN	MEDIO	MÁX	DESV.	CV	P5%	CANTIDAD
AL	4196	8880	12228	1659	0.19	6241	244
AUD	4606	9745	12680	1390	0.14	7169	287
AUM	6497	10470	15347	1755	0.17	7376	150
C12	5467	8841	14144	1285	0.15	6899	126
STD	4633	9798	14232	1635	0.17	7543	150
STM	7760	10482	14118	1332	0.13	8292	138
PROM	5527	9703	13792	1509	0.16	7253	

Se presentan los valores de la tabla anterior en el gráfico de cajas y bigotes de la Fig. 2.



**Fig. 2.** Valores de MOE para las distintas variedades

El rango de valores medios del MOE varía entre 8.841 MPa y 10.482 MPa, con una diferencia porcentual del 18%. Se observa que el promedio de los valores medios resulta de 9.703 MPa. El valor de la variedad AL resulta menor, al igual que el correspondientes al Conti 12.

Debido a la poca diferencia entre los valores medios de cada variedad, se realiza un estudio estadístico para evaluar la igualdad de las mismas. Realizando las mismas consideraciones y evaluaciones que para el caso del MOR, se llega a determinar que del análisis de la varianza (ANOVA), da como resultado que las medias no son iguales para las distintas variedades. Se realiza además la comparación de las medias dos a dos y se presentan los resultados en la Tabla 5, donde se asumen valores medios similares para cada una de las columnas A, B o C, indicadas con una X. Se aprecia similitud entre los valores medios de las variedades AL y C12, AUD y STD y AUM con STM.

**Tabla 5.** Resultados de comparación múltiple de medias (contraste de Tukey) para valores de MOE

VARIEDAD	A	B	C
AL	X		
AUD		X	
AUM			X
C12	X		
STD		X	
STM			X

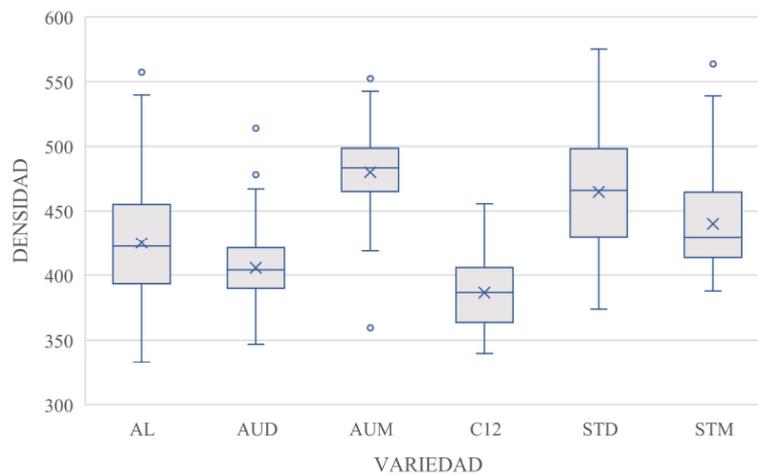
### 3.3 Densidad

Se presentan los valores de la densidad corregida al 12 % de humedad correspondiente a cada una de las muestras en la **Tabla 6**.

**Tabla 6.** Densidad en kg/m<sup>3</sup>

VAR.	MÍN	MEDIO	MÁX	DESV.	CV	P5%	CANTIDAD
AL	333	425	557	45	0.1	356	244
AUD	347	406	517	26	0.06	364	287
AUM	360	480	552	28	0.06	432	150
C12	340	387	456	27	0.07	348	126
STD	374	465	575	47	0.1	388	150
STM	388	440	564	35	0.08	401	138
PROM	357	434	537	35	0.08	382	

Se presentan los valores de la tabla anterior en el gráfico de cajas y bigotes de la Fig. 3.



**Fig. 3.** Valores de densidad según las distintas variedades

Se observa que los valores medios de la densidad varían entre 387 y 480 kg/m<sup>3</sup> (24 %), correspondiendo el mínimo a la variedad Conti 12 y el máximo a la variedad Australiano de Morse, con un promedio de 434 kg/m<sup>3</sup> y los valores del percentil 5 % varían entre 348 y 432 kg/m<sup>3</sup> (24 %), con un valor promedio de todas las muestras de 382 kg/m<sup>3</sup>.

Se realiza un estudio estadístico para evaluar la igualdad de las medias para cada variedad. Realizando las mismas consideraciones y evaluaciones que para el caso del MOR, se llega a determinar que, del

análisis de la varianza, da como resultado que las medias no son iguales para las distintas variedades. Se realiza además la comparación de las medias dos a dos y se presentan los resultados en la Tabla 7 , donde se asumen valores medios similares para cada una de las columnas A, B o C, indicadas con una X. Se aprecia que no hay similitud entre los valores medios de todas las variedades.

Tabla 7. Resultados de comparación múltiple de medias (contraste de Tukey) para valores de Densidad

VARIEDAD	A	B	C	D	E	F
AL	X					
AUD		X				
AUM			X			
C12				X		
STD					X	
STM						X

### 3.4 Comparación entre valores de las variedades AL y C12 y los incluidos en la norma IRAM 9662-4

En la norma IRAM 9662 - 4 se presentan en la Tabla B.1 los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad para cada clase de resistencia. Dicha tabla muestra dos clases de resistencia, la Clase 1 y la Clase 2. La Clase 1 hace referencia a probetas que presentan ciertas características entre las cuales se destaca la correspondiente a la nudosidad, que debe ser inferior a 1/3. Para la Clase 2 la nudosidad debe ser inferior al valor de 2/3. Se presentan en la Tabla 8 los valores correspondientes al MOR, MOE y Densidad, para cada una de las clases de resistencia.

Tabla 8. Valores de propiedades mecánicas y densidad – Norma IRAM 9662 - 4

Clase de resistencia	Resistencia a la flexión MOR [MPa]	Módulo de elasticidad MOE [MPa]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]
Clase 1	24	10200	400
Clase 2	18	9000	400

Se presentan en la Fig. 4 los valores del percentil 5 % del MOR, para las variedades AL y C12, correspondientes a las clases 1 y 2, diferenciadas las clases por los valores de nudosidad, provenientes de plantaciones de diferentes oasis de la provincia de Mendoza, contrastados con los valores de Clase 1 y Clase 2, expresados en la norma IRAM 9662 - 4.

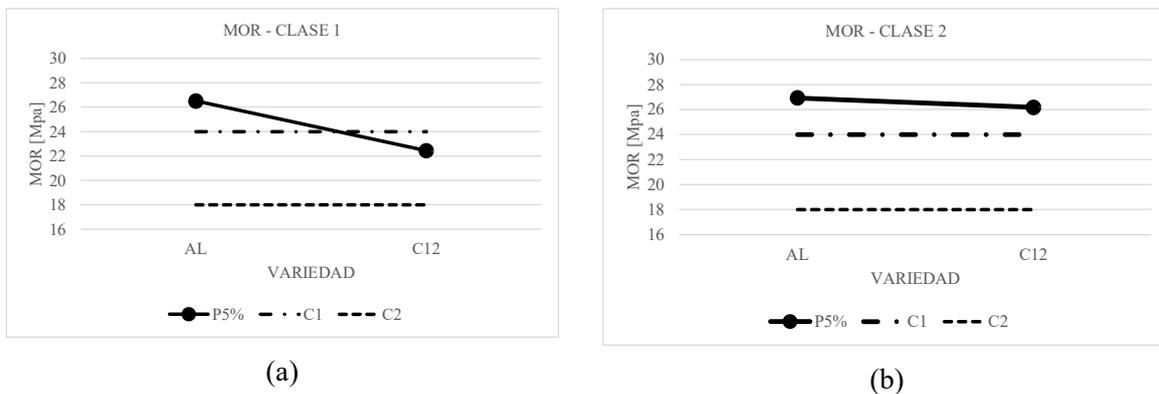


Fig. 4. Comparación de valores de MOR de variedades AL y C12 vs. valores de norma IRAM 9662-4

Se presentan en la Fig. 5 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** los valores medios del MOE, para las variedades AL y C12, correspondientes a las clases 1 y 2, contrastados con los valores de Clase 1 y Clase 2, expresados en la norma IRAM 9662-4.

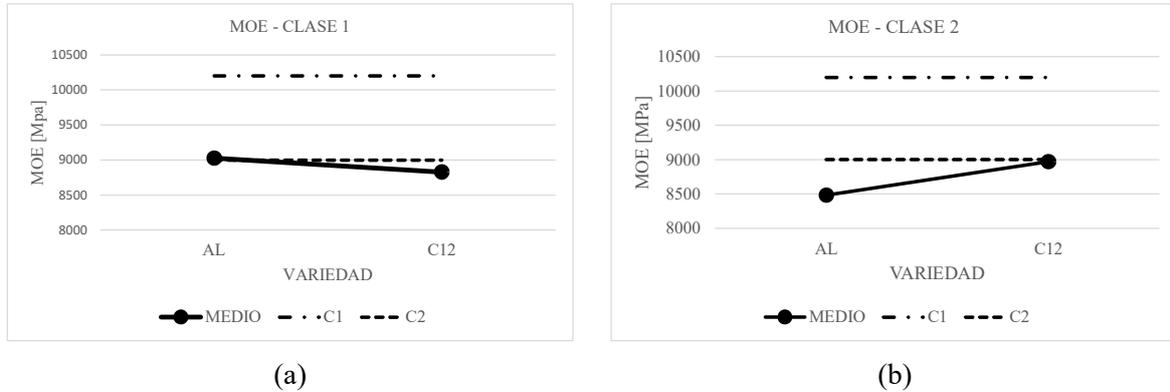


Fig. 5. Comparación de valores de MOE de variedades AL y C12 vs. valores de norma IRAM 9662-4

Se presentan en la Fig. 6 los valores del percentil 5% de la densidad, para las variedades AL y C12, correspondientes a las clases 1 y 2, contrastados con los valores de Clase 1 y Clase 2, expresados en la norma IRAM 9662-4.

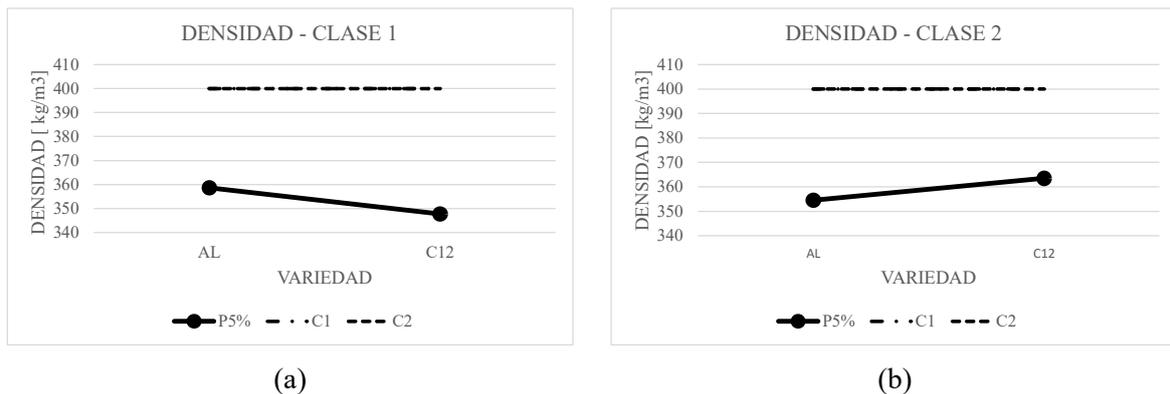


Fig. 6. Comparación de valores de Densidad de variedades AL y C12 vs. valores de norma IRAM 9662-4

Se observa que para los valores del MOR los resultados de la clase 1 resultan superiores a la norma en el caso del MOR e inferiores en el caso del C12, y son mayores para ambos casos para la clase 2.

Los valores de MOE y densidad resultan inferiores para las clases 1 y 2, para ambas variedades.

#### 4 Conclusiones

Se realiza un estudio comparativo de las propiedades mecánicas y físicas identificadas como módulo resistente en flexión (MOR), módulo de elasticidad global (MOE) y densidad, entre los valores obtenidos de los ensayos realizados en madera aserrada en forma de tablas, en el laboratorio de estructuras de la Facultad Regional Venado Tuerto, correspondientes a las variedades *Populus deltoides* ‘Australiano 129/60’ y ‘Stoneville 67’, correspondientes a macizos de la zona del delta del Paraná y de macizos implantados cerca de la ciudad de Morse en el centro oeste de la provincia de Buenos Aires, y en el laboratorio de estructuras de la Facultad Regional San Rafael, correspondientes a las variedades *Populus x canadensis* ‘Conti 12’, implantados en el oasis irrigado centro de la provincia de Mendoza y álamos sin identificación de variedad que pueden incluir *Populus nigra cv italica* (álamo criollo) y el *Populus x canadensis* I-214 y Guardi, correspondientes a plantaciones ubicadas en los departamentos de San Rafael, General Alvear y Malargüe.

Se observa, para los valores del MOR, que el promedio para todas las variedades de los valores medios resulta de 38,7 MPa y el promedio de los valores del percentil 5% da como resultado 25,9 MPa. Los valores de la variedad AL, para ambas condiciones da valores de 39,5 MPa y 26,7 MPa, resultando mayores al promedio y el correspondiente al Conti 12, que da valores de 37,9 MPa y 22,7 MPa, resultan menores al promedio.

Para los valores del MOE, corregidos al 12 % de humedad, el rango de valores medios para todas las variedades varía entre 8.841 MPa y 10.482 MPa, con una diferencia porcentual del 18 %. Se observa que el promedio de los valores medios resulta de 9.703 MPa. El valor de la variedad AL, 8.880 MPa, resulta menor, al igual que el correspondientes al C12, 8.841 MPa.

Se observa que los valores medios de la densidad corregida al 12% de humedad, varían entre 387 y 480 kg/m<sup>3</sup> (24 %), correspondiendo el mínimo a la variedad Conti 12 y el máximo a la variedad Australiano de Morse, con un promedio de las medias para todas las variedades de 434 kg/m<sup>3</sup> y los valores del percentil 5 % varían entre 348 y 432 kg/m<sup>3</sup> (24 %), con un valor promedio de todas las muestras de 382 kg/m<sup>3</sup>. Los valores de la variedad AL respectivamente resultan de 425 kg/m<sup>3</sup> y 356 kg/m<sup>3</sup>, y para el C12 resultan de 387 kg/m<sup>3</sup> y 348 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, inferiores a los valores promedios, para ambos casos.

Respecto de la comparación de los valores de las variedades AL y C12, para clases 1 y 2, respecto de los valores caracterizados en la norma IRAM 9662-4, se observa que respecto del MOR para clase 1 el valor para la variedad AL es mayor que el de norma y el del C12 es menor, mientras que para la clase 2 resultan ambos mayores.

Respecto de la misma comparación, pero para el caso de los valores de MOE corregidos al 12% de humedad, para ambas variedades y las dos clases, los valores resultan menores que los de norma, al igual que para los valores corregidos del percentil 5% de la densidad al 12% de humedad y para ambas clases.

## **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación ECUTISR0005225TC. El autor desea expresar su agradecimiento al Dr. Ing. Alfredo Guillaumet, director del Grupo GIDEC de la Facultad Regional Venado Tuerto, por los datos aportados para la realización del presente trabajo.

## **Referencias**

- [1] Situación actual del cultivo y uso de las salicáceas en Argentina. Borodowski, E. D. Talca, Chile : s.n., 2017. V Congreso Internacional de Salicáceas 2017.
- [2] IRAM 9663. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Buenos Aires : IRAM, 2013.
- [3] IRAM 9664. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. Buenos Aires : IRAM, 2013.
- [4] UNE-EN 408. Estructuras de madera-Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural-Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. s.l. : AENOR, 2012.
- [5] UNE-EN 384. Madera estructural - Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. s.l. : AENOR, 2016.
- [6] IRAM 9662-4. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 4: Tablas de álamo (*Populus deltoides* Australiano 129/60' y 'Stoneville 67'). Buenos Aires : IRAM, 2013.