

USOS POTENCIALES DE LA MADERA DE ROBLE EUROPEO Y FRESNO AMERICANO CULTIVADOS EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA.⁽¹⁾

Eleana M. Spavento^{2,7}; Gabriel D. Keil^{3,7}; Mónica Murace^{4,7}; María Luján Luna⁵; Bruno Bertoli⁶

²Ing. Forestal, Docente-Investigadora, Xilotecología y Profesional Independiente. ³Ing. Forestal M. Sc., Docente-Investigador, Xilotecología e Industrias de Transformación Mecánica. ⁴Lic en Biología, Docente-Investigadora, Protección Forestal. ⁵Doctora en Ciencias Naturales, Docente-Investigadora, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. CIC, PBA. ⁶Ingeniero Forestal, Profesional Independiente. ⁷Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. E mail: eleanaspavento@yahoo.com.ar

RESUMEN

Los usos de una madera están estrechamente relacionados a sus características tecnológicas. Para utilizar con fiabilidad las maderas de roble europeo (*Quercus robur* L.) y fresno americano (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.) cultivadas en la provincia de Buenos Aires (Argentina) es necesario conocer sus propiedades físico-mecánicas y su durabilidad. El objetivo de este trabajo fue determinar, mediante ensayos estandarizados, las características tecnológicas de las maderas de roble y fresno, implantados en la provincia de Buenos Aires, con el propósito de definir sus usos. Las propiedades físicas determinadas fueron: contenido de humedad (IRAM 9532), densidades aparentes (IRAM 9544), cambios dimensionales (IRAM 9543). Las propiedades mecánicas determinadas fueron: dureza Janka (IRAM 9570), flexión estática (IRAM 9542), corte paralelo a las fibras (IRAM 9596), compresión perpendicular y paralela a las fibras (IRAM 9547 y 9541 respectivamente). La durabilidad natural se estimó aplicando la norma IRAM 9518. Se estudió además la estructura del leño de ambas especies, a nivel macro y microscópico, con el fin de relacionar estas características con las propiedades tecnológicas. Para ello se cuantificaron los siguientes caracteres: longitud, espesor de pared y diámetro del lumen de fibras y diámetro de vasos mayores. Ambas maderas resultaron medianamente estables, de densidad media alta y durables. De acuerdo con esto, las maderas de roble europeo y fresno americano cultivadas en Argentina son aptas para una amplia gama de usos: elementos deportivos, mangos de herramientas, muebles, escaleras, molduras, puertas, solados interiores y exteriores y elementos estructurales como vigas y columnas, entre otros.

Palabras clave: propiedades físicas, resistencias mecánicas, durabilidad, caracteres anatómicos, usos.

⁽¹⁾ Lic. Ana María Bucszinsky, Instituto Spegazzini, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP-CONICET).

A la Dra. Silvia Monteoliva, Cátedra de Xilotecología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP).

INTRODUCCIÓN

En la Republica Argentina el desarrollo foresto – industrial depende de los bosques implantados. Estos bosques están conformados por eucaliptos, pinos, salicáceas y, en menor proporción, por paraíso, acacia blanca, fresno y roble. Dichas plantaciones abastecen diversas industrias nacionales que generan polos de desarrollo regional mediante la producción de una amplia gama de productos. De acuerdo con esto, el presente y futuro de los grandes proyectos forestales argentinos depende del abastecimiento de rollizos provenientes de los bosques implantados (Sánchez Acosta, 2005).

Los usos de una madera están estrechamente relacionados con sus características tecnológicas. Entre las especies exóticas cultivadas, tanto el fresno americano (*Fraxinus pennsylvanica*) como el roble europeo (*Quercus robur*) generan gran interés debido a las características estructurales que estas poseen en sus países de origen, (<http://www.ahec-europe.org>, 2006).

Para utilizar con fiabilidad las maderas de roble y fresno aquí cultivadas, es necesario conocer sus propiedades físicas y de resistencia mecánica como también su durabilidad.

Hasta la fecha, no se registraron antecedentes acerca de las características tecnológicas de estas maderas cultivadas en la provincia de Buenos Aires, obtenidos a partir de ensayos estandarizados.

De acuerdo con esto, el objetivo de este trabajo fue determinar, mediante ensayos normalizados, las características tecnológicas del roble europeo y del fresno americano implantados en la provincia de Buenos Aires, con el propósito de definir sus usos y aplicaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material leñoso

Se trabajó con maderas de roble europeo y fresno americano cultivados en la provincia de Buenos Aires. El roble provino de un rodal ubicado en la Estancia ‘El Refugio’ (37°13’ S; 58°11’O) partido de Ayacucho; el fresno fue obtenido de un monte comercial ubicado en el partido de Berazategui.

El material se obtuvo de 10 árboles por especie elegidos al azar en rodales previamente identificados. De cada árbol se obtuvieron trozas de dos metros de longitud. Éstas fueron aserradas para la obtención de tablas que se estibarón hasta alcanzar el contenido de humedad en

equilibrio higroscópico (HEH). Posteriormente las tablas se procesaron en carpintería para la obtención de probetas dimensionadas según Normas IRAM.

Estudios anatómicos

Se analizaron las características macro y microscópicas del leño de ambas especies.

Las observaciones macroscópicas se realizaron en probetas cúbicas de 20 mm de lado utilizando lupa de mano y microscopio estereoscópico.

El análisis microscópico se realizó con microscopio óptico (MO) y microscopio electrónico de barrido (MEB). Para los estudios con MO se realizaron cortes (20-30 μm) con xilótomo en los tres planos de corte, los cuales fueron teñidos con safranina. Asimismo se efectuaron disociados según la técnica de Jeffrey (1917). Para las observaciones con MEB las muestras fueron montadas sobre platinas y metalizadas con oro paladio.

Se cuantificaron los caracteres anatómicos: longitud de fibras, espesor de la pared de fibras, diámetro del lumen de fibras y diámetro de los vasos mayores, esto último por tratarse de maderas con porosidad circular (IAWA, 1989). Los rangos utilizados para caracterizar los datos cuantitativos fueron tomados de Roth & Giménez de Bolsón (1997), Rebollar & Quintanar (1998) y Wiedenhoeft & Millar (2005).

Para la descripción macroscópica de las maderas se consultó la Xiloteca de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP.

Propiedades físicas

Las propiedades físicas evaluadas fueron: contenido de humedad (CH %), (IRAM 9532); densidad aparente normal ($D_n \text{ g/cm}^3$), anhidra ($D_o \text{ g/cm}^3$), densidad básica (D_b adimensional) (IRAM 9544) y cambios dimensionales, (IRAM 9543). Los parámetros empleados para determinar los cambios dimensionales fueron: punto de saturación de las fibras (PSF %), contracción normal máxima radial ($C_{n_{rdm\acute{a}x}} \%$) y tangencial ($C_{n_{tgm\acute{a}x}} \%$), coeficiente de contracción radial ($v_{rd} \%$) y tangencial ($v_{tg} \%$) y coeficiente de anisotropía (T/R).

Se trabajó con 30 probetas por especie y por ensayo dimensionadas según lo indican las normas empleadas.

La clasificación de las propiedades físicas se realizó según Coronel (1994). Se utilizó el rango propuesto por Rivero Moreno (2004) para clasificar a las maderas de acuerdo a su PSF.

Propiedades mecánicas

Los ensayos mecánicos realizados fueron: Dureza Janka (Kg/cm^2): se determinaron los valores medios de dureza transversal, radial y tangencial, (IRAM 9570); Flexión estática (Kg/cm^2): los parámetros determinados fueron: módulo de rotura (MOR), módulo de elasticidad (MOE) y tensión en el límite de proporcionalidad (TLP), (IRAM 9542); Corte paralelo a la dirección de las fibras (Kg/cm^2): se determinó la tensión de rotura (TR), (IRAM 9596); Compresión perpendicular a las fibras (Kg/cm^2): se determinó tensión de rotura (TR), (IRAM 9547) y Compresión paralela a las fibras (Kg/cm^2): los parámetros determinados fueron: módulo de rotura (MOR), módulo de elasticidad (MOE) y tensión en el límite de proporcionalidad (TLP), (IRAM 9541).

Los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales, Facultad de Ingeniería, UNLP. Para los ensayos de dureza Janka y flexión estática se utilizó la prensa universal de 5000 Kg ALFRED J. AMSLER & Co, Schaffouse - Suisse 7928, adaptadas según el caso. Para los ensayos de corte, compresión paralela y perpendicular a las fibras se utilizó la prensa universal de 25 toneladas ALFRED J. AMSLER & Co, Schaffhouse – Suisse 5380, adaptándola según el ensayo.

Se trabajó con 30 probetas por madera y por ensayo dimensionadas según lo indican las normas empleadas.

Para la clasificación de las propiedades mecánicas se tomaron los rangos de clasificación propuestos por Rivero Moreno (2004).

Durabilidad natural

La durabilidad natural fue determinada mediante ensayos de degradación acelerada en laboratorio (IRAM 9518). Se trabajó con un total de 120 probetas cúbicas (60 por especie) de 20 mm de lado, con superficie pulida y libre de defectos. Las cepas xilófagas utilizadas fueron *Gloeophyllum saepiarum* (Wulf.: Fr.) P. Karst. y *Trametes versicolor* (L.: Fr.) Lloyd, hongos de pudrición castaña y blanca respectivamente. La resistencia del material a la degradación fue definida por los porcentajes de pérdida de peso (P_p %) determinados para cada madera por cepa fúngica.

$$P_p (\%) = \frac{P_{oi} - P_{of}}{P_{oi}} \times 100$$

Donde:

Pp (%): pérdida de peso, expresada como porcentaje.

Poi (g): peso anhidro inicial del material; madera sin degradar, secada en estufa a 103 ± 2 C°, expresado en gramos.

Pof (g): peso anhidro final del material; madera degradada, secada en estufa a 103 ± 2 C°, expresado en gramos.

RESULTADOS

Estudios anatómicos

Fraxinus pennsylvanica

Descripción macroscópica de la madera

La madera de fresno presenta coloración amarillo cremosa. Los anillos de crecimiento (2 anillos cada 10 mm) están demarcados debido a la porosidad circular. El leño tardío es denso y oscuro mientras que el temprano presenta grandes poros. La textura es media y heterogénea y el grano recto. Los radios leñosos presentan trayectoria rectilínea (visibles con lupa) desviándose a la altura de los poros de mayor diámetro.

En sentido radial se observa claramente un diseño veteadado y en sentido tangencial un diseño floreado.

En sección transversal los poros presentan disposición ulmoide poco marcada (visible con lupa). Alrededor de los vasos se observa parénquima axial paratraqueal vasicéntrico aliforme y confluyente escaso.

Descripción microscópica de la madera

En sección transversal se observa porosidad circular; los poros se disponen solitarios o en hileras radiales múltiples cortas de 2-3 células. Los poros del leño tardío se encuentran frecuentemente obstruidos por tñlides. Las paredes de los vasos del leño tardío están engrosadas. El parénquima axial es paratraqueal vasicéntrico confluyente escaso (3-4 células de espesor).

En sección longitudinal radial se observan radios homocelulares, con células procumbentes y heterocelulares con células procumbentes y cuadradas. Los elementos de vaso presentan placa de perforación simple y tilosis frecuente. El parénquima axial es paratraqueal con células rectangulares y cuadradas. Fibras libriformes presentes.

En sección longitudinal tangencial se distinguen radios bi-triseriados (9-15 hasta 20 células de alto). No se observa estructura estratificada.

Quercus robur

Descripción macroscópica de la madera

La madera de roble presenta coloración castaño-amarillenta. Los anillos de crecimiento son demarcados, visibles a simple vista. La textura heterogénea debido a la marcada diferenciación entre el leño temprano y tardío.

La porosidad es circular. En el leño temprano, los poros son grandes, solitarios; en el leño tardío se disponen solitarios o agrupados con un patrón dendrítico.

Descripción microscópica de la madera

En corte transversal se observan anillos de crecimiento demarcados por la porosidad circular. Los poros del leño temprano son de gran tamaño y se disponen solitarios. Los del leño tardío pueden disponerse solitarios o agruparse en hileras radiales múltiples cortas, con patrón dendrítico. Ocasionalmente se observan tílides. El parénquima axial es apotraqueal difuso o dispuesto en bandas radiales o tangenciales.

En sección longitudinal radial se observan radios homocelulares, con células procumbentes, y ocasionalmente heterocelulares con células procumbentes y cuadradas. Los elementos de vaso poseen placa de perforación simple. En algunas ocasiones presentan tílides y depósitos aparentemente gomosos. Traqueidas vasicéntricas y fibras libriformes presentes.

En sección longitudinal tangencial se registran dos tipos de radios: multiseriados muy anchos (40 células) y altos (hasta 4 cm) y uniseriados bajos. No presenta estructura estratificada.

Análisis microscópico cuantitativo

Tabla 1: Caracteres anatómicos determinados en roble y fresno.

Especie	Longitud de las fibras* (μm)	Espesor de pared de fibras* (μm)	Diámetro de lumen celular* (μm)	Diámetro vasos mayores* (μm)
Roble	1392 a (10,28)	5,46 a (15,52)	6,88 a (24,60)	213,52 a (14, 35)
Fresno	1336,8 a (14,69)	4,98 b (19,88)	9,55 b (22,33)	182,85 b (20,77)

*Letras diferentes denotan diferencias significativas con el test de Tukey ($p < 0.05$). Los coeficientes de variación (CV %) se indican entre paréntesis.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el espesor de pared, diámetro del lumen de las fibras y el diámetro de los vasos mayores difirieron significativamente entre especies.

El espesor de la pared de las fibras de ambas maderas es grueso. Con respecto al lumen de las fibras, en roble es angosto y en la madera de fresno medio. No se registraron diferencias significativas entre los valores de longitud de fibras, las cuales son consideradas largas.

En la madera de roble, el diámetro de los vasos es ancho y en la madera de fresno mediano.

Propiedades físicas

Contenido de humedad y densidades

Tabla 2: Contenido de humedad y densidad de las maderas en estudio.

Especie	CH (%)*	Densidades (g/cm ³)*		
		Dn	Do	Db
Roble	12.21 a	0,773 a	0,726 a	0,689** a
	(6,87)	(11,72)	(11,72)	(11,14)
Fresno	13,12 b	0,761 a	0,714 a	0,673** a
	(4,82)	(3,86)	(5,17)	(3,93)

* Letras diferentes denotan diferencias significativas con el test de Tukey ($p < 0.05$). Los coeficientes de variación (C.V. %) se indican entre paréntesis. ** adimensional

El CH (%) del material estuvo dentro del rango sugerido para la determinación de las propiedades tecnológicas de las maderas.

De acuerdo con las densidades normales obtenidas, ambas maderas resultaron pesadas (de densidad media – alta): (0,751 a 1 gr/cm³).

Cambios dimensionales

Tabla 3: Test de rango múltiple para los parámetros dimensionales.

Especie	Parámetros dimensionales*					
	PSF (%)	Cn _{rdmáx} (%)	Cn _{tgmáx} (%)	v _{rd} (%)	v _{tg} (%)	T/R**
Roble	27,41 a	6,80 a	12,54 a	0,28 a	0,42 a	1,84
	(13,83)	(12,08)	(9,95)	(12,73)	(8,72)	
Fresno	41,70 b	5,38 b	9,86 b	0,15 b	0,21 b	1,83
	(3,44)	(13,03)	(9,54)	(12,16)	(8,28)	

*Letras diferentes denotan diferencias significativas con el test de Tukey ($p < 0.05$). Los coeficientes de variación (C.V. %) aparecen entre paréntesis. ** Adimensional.

Según se observa en la tabla, el PSF para el fresno fue elevado (>35%). El PSF del roble se ubicó dentro de rangos normales (25- 35%). Este parámetro indica el punto a partir del cual ante cualquier disminución en el CH comienzan a producirse las contracciones en la pieza de madera (Andía & Keil, 2004).

Las contracciones tangenciales y radiales en ambas maderas se encontraron dentro del rango 3,60 a 15,00% y 1,50 a 7,00%, respectivamente. De acuerdo con esto, la contracción tangencial en ambas maderas se encuentra dentro del límite medio-alto y la contracción radial dentro del límite alto según dicha clasificación.

El v indica que por cada 1% de reducción del CH por debajo del PSF, la pieza de madera experimentará una disminución en sus dimensiones originales en sentido radial de 0,28 y 0,15 para roble y fresno, respectivamente. Del mismo modo, en el sentido tangencial la pieza de madera experimentará una contractibilidad en sus dimensiones originales de 0,42 y 0,21 para roble y fresno, respectivamente.

El T/R para ambas maderas se encontró dentro del rango normal (1,6 a 1,9). Valores de T/R superiores a 2 indican un comportamiento inestable de la madera.

Propiedades mecánicas

Ensayo de dureza Janka

Tabla 4: Resultados del ensayo de dureza Janka comparando ambas especies.

Especie	Dureza (Kg/cm ²)*		
	Transversal	Radial	Tangencial
Roble	846 a (7,72)	756 a (13,47)	783 a (14,75)
Fresno	1010 b (7,28)	903 b (13,59)	926 b (12,21)

*Letras diferentes denotan diferencias significativas con el test de Tukey ($p < 0.05$). Los coeficientes de variación (C.V.%) se indican entre paréntesis.

Según los valores de dureza obtenidos ambas maderas resultaron duras: 650-1000 Kg/cm².

Ensayo de flexión estática

Tabla 5: Resultados del ensayo de flexión estática.

Especie	Flexión estática (Kg/cm ²)*		
	MOR	MOE	TLP
Roble	1428 a (10,86)	110120 a (12,67)	625 a (10,96)
Fresno	1147 b (10,26)	162909 b (12,18)	404 b (13,85)

*Letras diferentes denotan diferencias significativas con el test de Tukey ($p < 0.05$). Los coeficientes de variación (C.V.%) se indican entre paréntesis.

Según se indica en la tabla, los valores de MOR, MOE y la TLP presentaron diferencias significativas entre especies.

La madera de roble fue más resistente a la rotura; su MOR se ubicó dentro del rango alto (1221-1750 Kg/cm²); el MOR del fresno se ubico dentro del rango medio: (951-1220 Kg/cm²).

La madera de fresno fue más elástica; su MOE se ubicó dentro de la categoría de valores altos (151000-200000 Kg/cm²). En oposición, el MOE del roble se ubicó dentro de la categoría de valores bajos (101000 a 120000 Kg/cm²).

Ensayo de corte

Tabla 6: Resultados del ensayo de corte paralelo a las fibras.

Especie	Corte paralelo a las fibras* (Kg/cm ²)
Roble	181 a (12,49)
Fresno	232 b (5,03)

*Letras diferentes denotan diferencias significativas con el test de Tukey ($p < 0.05$). Los coeficientes de variación (C.V.%) se indican entre paréntesis.

Según los datos obtenidos ambas maderas resultaron altamente resistentes al esfuerzo de corte (> 175 Kg/cm²); la madera del fresno presentó el mayor valor.

Ensayo de compresión paralela y perpendicular a las fibras

Tabla 7: Resultados del ensayo de compresión paralela y perpendicular a las fibras.

Especie	Compresión paralela a las fibras (Kg/cm ²)*			Compresión perpendicular a las fibras (Kg/cm ²)*
	MOR	MOE	TLP	MOR
Roble	547 a (9,15)	14908 a (13,58)	281 a (12,35)	275 a (4,08)
Fresno	582 a (6,27)	16784 b (7,49)	459 b (5,39)	430 b (4,46)

* Letras diferentes denotan diferencias significativas con el test de Tukey ($p < 0.05$). Los coeficientes de variación (CV %) se indican entre paréntesis.

En ambas maderas, los valores de MOR de compresión paralela resultaron muy altos (> 500 Kg/cm²).

Si bien ambas maderas resultaron altamente resistentes a la compresión perpendicular (> 100 Kg/cm²), el fresno presentó el mayor valor.

Durabilidad natural

Tabla 8: Pérdida de peso en el ensayo de durabilidad natural.

Especie	Pérdida de peso (%)		Clase de resistencia
	<i>Trametes versicolor</i> (P. blanca)	<i>Gloeophyllum saepiarum</i> (P. castaña)	
Roble	0 - 2,06	0 - 1,20	Altamente resistente Pp: 0-10 %
Fresno	20,81	14,75	Resistente Pp: 11-24 %

Según se indica en la Tabla 8, la madera del roble resultó más resistente a la degradación por ambas cepas xilófagas.

DISCUSIÓN

Propiedades físicas

Densidad

La densidad de la madera resulta de la proporción de los distintos tipos celulares que conforman el leño, del tamaño de las células, del espesor de su pared, diámetro de los lúmenes celulares, ancho de los anillos de crecimiento y proporción de leño temprano y tardío (Zobel & Talbert, 1984). El contenido de taninos y de resinas, entre otros, aumenta la densidad y compacidad de la estructura celular (Coronel, 1995).

De acuerdo con esto, en el presente trabajo, la alta densidad de las maderas (Tabla 2) estaría asociada a la presencia de fibras con paredes gruesas y a la presencia de contenidos gomosos y tílides.

Cambios dimensionales

Las variaciones en el volumen de las maderas entre el estado anhidro y el PSF debido a la adsorción y desorción de agua son consideradas propiedades físicas importantes; éstas afectan y limitan su uso industrial.

El PSF tiene gran importancia práctica en el uso industrial de la madera. Por encima de él permanecen constantes las dimensiones de la pieza (salvo cuestiones excepcionales) y las propiedades mecánicas de las maderas. Por debajo, se produce una disminución en las dimensiones y una mejora de la mayoría de las propiedades de resistencia mecánica a medida que disminuye el contenido de humedad (Andía & Keil, 2004).

De acuerdo con el PSF obtenido, es de esperarse que en el fresno los cambios dimensionales empiecen a manifestarse antes que en el roble.

Si bien los valores de contracción tangencial y radial determinados se encuentran dentro del límite medio - alto y alto respectivamente (Tabla 3), la relación T/R me indica una armonía en la disminución de las dimensiones de la madera durante el proceso de secado. De acuerdo con esto, ambas maderas son de estabilidad media. El valor más alto determinado en fresno indicaría una mayor estabilidad en servicio y un mejor comportamiento ante el secado. En cuanto al roble, éste debería tratarse con un programa de secado más cuidadoso para evitar o minimizar los defectos de forma, grietas y rajaduras.

Propiedades mecánicas

Ensayo de dureza Janka

La dureza determina la resistencia que ofrece la madera a la penetración de cuerpos de mayor solidez y consistencia (IRAM 9570).

El espesor de pared de las fibras influye positivamente en la dureza de las maderas (Rivera & Lenton, 1999). De acuerdo con esto, la alta dureza determinada en ambas especies (Tabla 4) estaría asociada a la presencia de fibras con paredes gruesas (Tabla 1).

Coronel (1995), indica la existencia de una relación entre dureza y densidad aparente anhidra; comúnmente las maderas más duras también son más pesadas. La alta dureza de las maderas en estudio también podría asociarse a esta propiedad.

En oposición, una alta proporción de tejido parenquimático afecta negativamente a la dureza. En este sentido, en la madera de roble, la presencia de radios parenquimáticos muy altos y anchos sería la causa de su menor valor.

El ensayo de dureza permite determinar la aptitud de la madera para ser usada en la construcción de pisos o solados, entre otros (Coronel, 1995). De acuerdo con esto, si bien ambas maderas son aptas para dichos usos, en situaciones extremas y de alto tránsito el fresno presentará un mejor comportamiento ante el marcado y rayado (Francis, 1990).

Ensayo de flexión estática

El ensayo de flexión estática mide la resistencia que ofrece una viga a una carga puntual aplicada en el centro de luz o distancia entre apoyos, en la cara tangencial más cercana a la médula de la probeta (IRAM 9542).

La resistencia de las maderas a la flexión estática es inversamente proporcional al ángulo de inclinación de las fibras respecto al eje longitudinal (grano). Cuando la dirección de la fibra coincide con la dirección longitudinal de la pieza de madera sometida a esfuerzo de flexión, la resistencia toma su valor máximo (Coronel, 1995). De acuerdo con esto, la alta resistencia a la flexión que presentan ambas especies (Tabla 5) podría relacionarse con esta característica.

El mayor valor de MOR del roble con respecto al fresno indicaría su aptitud para la construcción de vigas, columnas y estructuras destinadas a situaciones de uso que impliquen una exposición a este esfuerzo.

La mayor elasticidad del fresno indicaría su aptitud para la fabricación de elementos deportivos (bates de béisbol, palos de jockey, golf) y mangos de herramientas, tal como se lo menciona en sus países de origen (Francis, 1990).

Ensayo de corte

La resistencia al corte es la capacidad que tiene la madera de resistir fuerzas que tienden a causar el deslizamiento de una sección sobre otra adyacente (IRAM 9596).

De acuerdo con los resultados obtenidos (Tabla 6) ha de esperarse que el fresno presente un mejor comportamiento en situaciones de encastres donde la estructura queda expuesta a esfuerzos de este tipo, como por ejemplo en los extremos de elementos estructurales verticales (vigas de soporte, travesaños, entre otros).

Ensayo de compresión paralela y perpendicular a las fibras

La compresión paralela a las fibras es la resistencia que opone una viga de madera a una carga aplicada en el sentido de la dirección de las fibras (IRAM 9541).

La longitud y diámetro de las fibras, el espesor de pared y el tamaño de los poros ejercen un efecto importante sobre dicha propiedad (Leclereq, 1980, citado por Valero *et al.*, 2007; Rivera & Lenton, 1999).

La elevada resistencia en ambas maderas expresada mediante los valores de MOR de compresión paralela (Tabla 7), podría relacionarse al alto espesor de pared de fibras determinado.

Por esto, ambas maderas se comportarían de modo similar en una situación de rotura, en usos tales como elementos estructurales verticales (columnas).

La compresión perpendicular es la resistencia que opone la madera a una carga aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras en una de las caras radiales de la probeta (IRAM 9547). En este ensayo, las fibras no son rotas por el esfuerzo, sino que las sucesivas capas son aplastadas unas contra otras, produciéndose la deformación de los lúmenes (Rivera & Lenton, 1999).

Con respecto a la estructura anatómica, la comprensión perpendicular a las fibras estaría asociada al espesor de pared, presencia de parénquima y contenidos celulares (Rivera & Lenton, 1999).

De lo expuesto surge que la alta resistencia de ambas maderas a la compresión perpendicular estaría asociada al gran espesor de las paredes de las fibras determinado (Tabla 1). En la madera de roble, el menor valor de resistencia a la compresión perpendicular podría deberse a la presencia de radios parenquimáticos muy altos y anchos. Las zonas por donde se puede producir la rotura son las más frágiles, dadas por el tejido parenquimático (Rivera & Lenton, 1999). Asimismo la presencia de compuestos fenólicos podría influir negativamente en esta propiedad. Una alta proporción de contenidos provoca el aumento de la densidad aparente pudiendo aumentar la fragilidad de la madera con poca variación en el contenido de humedad, disminuyendo de este modo la resistencia y causando roturas repentinas y fragmentadas (Coronel, 1995).

Por lo expuesto, las estructuras de madera de fresno orientadas horizontalmente (vigas y soleras) presentarían un mejor comportamiento con respecto a las de roble.

Durabilidad natural

La durabilidad de las maderas queda definida por las características anatómicas del leño y la presencia de extractivos, entre otros (Hillis, 1968; Zakel & Morrell, 1994; Juacida & Villanueva, 1996).

Los hongos xilófagos colonizan la madera principalmente en sentido axial y transversal producto de la alineación natural de las células del leño. La colonización ocurre a través de las células que ofrecen menor resistencia: lúmenes de los vasos, fibras y parénquima en sentido axial y radios parénquimáticos en sentido radial (Blanchette, 1991; Schwarze *et al.*, 2000).

En las especies de duramen durable, dichas vías de colonización se ven interrumpidas por la presencia de extractivos (depósitos gomosos y compuestos fenólicos, entre otros), por el espesamiento de las paredes y la formación de tilides, barreras pasivas que surgen durante el proceso de duraminización. (Schwarze, 1997).

De acuerdo con esto, en las especies en estudio la resistencia a la degradación estaría asociada a la presencia de tilides y al denso leño tardío producto de la porosidad anular. En la madera de roble, además, su mayor durabilidad sería consecuencia de la presencia de extractivos (taninos y depósitos gomosos) que limitan la colonización y degradación fúngica (Schwarze, 1997). Las traqueidas vasicentricas y el parenquima apotraqueal difuso también generarían un sistema poco eficiente para la colonización.

Los mayores porcentajes de pérdida de peso obtenidos para ambas especies con la cepa de pudrición blanca estarían relacionados con la eficiencia de estos hongos en degradar las maderas de latifoliadas (Schwarse *et al.*, 2000; Feraz, *et al.*, 2001). Schwarze *et al.*, (2003), en ensayos de degradación acelerada con hongos de pudrición castaña encontró correlación entre el porcentaje de pérdida de peso y contenido de parénquima. El valor mas bajo fue obtenido con la madera de roble, caracterizada por el alto contenido de este tejido (35-40%).

Desde el punto de vista mecánico las pudriciones castañas son las más agresivas ya que causan una notable pérdida de las propiedades de resistencia del material con bajos porcentajes de pérdida de peso (Wilcox, 1978; Blanchette, 1995).

De acuerdo con lo hallado en este trabajo la mayor durabilidad del roble permite su utilización en situaciones de alto riesgo (exterior en contacto con el suelo), mientras que el fresno es recomendable en situaciones de uso interior y exterior sin contacto con el suelo, (IRAM 9600, 1998).

CONCLUSIONES

De acuerdo a las propiedades físicas, valores de resistencia mecánica y durabilidad hallados en las maderas de roble europeo y fresno americano cultivados en la provincia de Buenos Aires, dichas maderas pueden ser recomendadas para diversos usos: elementos deportivos, muebles, paneles, ebanistería interior, escaleras, molduras, aberturas, solados interiores y exteriores, como así también en elementos estructurales como vigas, columnas, pilotes entre otros.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Lic. Ana María Bucsinszky, Instituto Spegazzini, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP-CONICET) por proveernos la cepa xilófaga utilizada.

LITERATURA CITADA

AHEC Europe: American Hardwood Export Council. (2006). “Madera de frondosas estadounidenses para uso estructural”. www.ahec-europe.org

Andía, I & Keil, GD. 2004. 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. 22 pp.

Blanchette, RA. 1991. Delignification by wood decay fungi. *Annu. Rev. Phytopathol.* 29:381-98.

Blanchette, RA. 1995. Degradation of the lignocellulose complex in wood. *Can. J. Bot.* 73 (Suppl. 1): 999-1010.

Coronel, EO. 1994. “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. 187 pp.

Coronel, EO. 1995. “Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. 2 Parte: “Fundamentos de las propiedades mecánicas de las maderas”. Publicación ITM – UNSE. 335 pp.

Feraz, A; Rodríguez, J; Freer, J & Baeza, J. 2001 Biodegradation of *Pinus radiata* softwood by white and brown-rot fungi. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 17:31-34.

Francis, JK. 1990. *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh. Fresno tropical ash. SO-ITF-SM-28. New Orleans. La U.S. Departamento of Agricultura, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 4 pp. <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Fraxinusuhdei.pdf>

Hillis, WE. 1968. Chemical aspects of heartwood formation. *Wood Science and Technology* Vol. 2 (1968) pp 241-259.

IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bull.* n.s. 10: 219-332.

IRAM 9518. 1962. Toxicidad, Permanencia y Eficacia de Preservadores de Madera.. Instituto de Racionalización de Materiales. 12 pp.

IRAM 9532. 1963. Método de determinación de humedad. Instituto de Racionalización de Materiales. 14 pp.

IRAM 9541. 1977. Método de ensayo de compresión paralela a las fibras. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 6 pp.

IRAM 9542. 1977. Método de ensayo de flexión estática de maderas con densidad aparente mayor de 0.5 g/cm^3 . Instituto Argentino de Racionalización de materiales 10 pp.

IRAM 9543. 1985. Método para la determinación de los valores de contracción de la madera. Instituto Argentino de racionalización de Materiales. 10 pp.

IRAM 9544. 1985. Método para la determinación de la densidad aparente. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 10 pp.

IRAM 9547. 1977. Método de determinación de la compresión perpendicular al grano. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 5 pp.

IRAM 9570. 1971. Método de ensayo de la dureza janka. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 6 pp.

IRAM 9596. 1977. Método de ensayo de corte paralelo a la dirección de las fibras. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 10 pp.

IRAM 9600. 1998. Preservación de maderas: maderas preservadas mediante procesos con presión en autoclave. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 23 pp.

Juacida, R & Villanueva, J. 1996. Durabilidad natural de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. Bosque 17(1): 83-90.

Jeffrey, EC. 1917. The anatomy of woody plant. University of Chicago Press, Chicago, USA: 478 pp.

Rebollar, S & Quintanar, A. 1998. Anatomía y usos de la madera de ocho especies tropicales de Quintana Roo, México. Revista de Biología tropical vol. 46 N°4. ISSN 0034-7744. San José. Costa Rica. Pp 1047-1057.

Rivera, SM & Lenton, MS. 1999. La xilología y las propiedades mecánicas de cinco maderas nativas Argentinas. Revista de Ciencias Forestales-Quebracho N° 7. Pp 72-78.

Rivero Moreno, J. 2004. Propiedades Físico-Mecánicas de *Gmelina arborea* Roxb. y *Tectona grandis* Linn. F. Proveniente de Plantaciones Experimentales del Valle del Sacta – Cochabamba. Cochabamba. Bolivia. <http://www.monografias.com>. 73 pp.

Roth, I & Giménez de Bolsón, AM. 1997. Argentine Chaco Forests. Dendrology, tree structure, and economic use. 1. The semi-arid Chaco. Ed. Gebruder Borntraeger, Berlín, Stuttgart. 183 pp.

Sanchez Acosta, M & Vera, L. 2005. Situación Foresto-Industrial de Argentina al 2005. INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Concordia. Concordia, Entre Ríos. 25 pp.

Schwarze, FWMR; Lonsdale, D & Fink, S. 1997. An overview of wood degradation patterns and their implications for tree hazard assessment. *Arboricultural Journal*, Vol. 21, pp. 1-32.

Schwarze, FWMR; Engels, J & Mattheck, C. 2000. Fungal strategies of wood decay in trees. Springer Verlag, Berlin. 184 pp.

Schwarze,FWMR, Fink,S & Deflorio,G. 2003. Resistance of parenchyma cells in wood to degradation by brown rot fungi. *Mycological Progress* 2(4): 267-274.

Valero, UW; Reyes C, EC; León H, WJ; Garay J, DA. 2007. Relación entre la anatomía y propiedades físico – mecánicas de la especie *Tectona grandis* proveniente de los llanos occidentales de Venezuela. Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. www.una.ac.cr. 13 pp.

Wiedenhoeft, AC & Miller, RB. 2005. Structure and function of wood. Pp 1-27. www.fpl.fs.fed.us

Wilcox, WW. 1978. Review of literature on the effects of early stages of decay on wood strength. *Wood and Fiber* 9: 252-257.

Zakel, RA & Morrell, JJ. 1994. Wood microbiology. Decay and its prevention. Academic Press Inc. 476 pp.

Zobel, BJ & Talbert JT. 1984. Técnicas de Mejoramiento genético de árboles forestales. Ed. UTEHA. Noriega editores. 545 pp.



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
4° CONGRESO CHILENO DE CIENCIAS FORESTALES

Aceptación para publicación en plataforma virtual

Señores
Comisión Organizadora
4° Congreso Chileno de Ciencias Forestales
Universidad de Talca, Chile.

Estimados Señores

Quien suscribe, autores de la ponencia: "Uso potenciales de la madera de roble europeo y fresno americano cultivados en la provincia de Buenos Aires, Argentina." autorizan a los organizadores del 4° Congreso Chileno de Ciencias Forestales, a la publicación del texto completo en la plataforma virtual *Dspace* de la Biblioteca de la Universidad de Talca, permitiendo con ello a su acceso a través de la Internet.

El texto, que se envió en formato Word, será transformado a formato pdf para su publicación. Su difusión estará disponible hasta el mes de Octubre del 2010.

Atentamente,

Eleana Spavento

Mónica Murace

Gabriel Keil

María Lújan

Bruno Bertoli

Talca, junio de 2009.