

Pudrición castaña: efectos sobre las propiedades de resistencia mecánica de la madera

Brown rot: effect on mechanical resistance properties of wood

Murace, M.^{1,6}; E. Spavento^{2,6}; G. Keil^{2,6} y M. Saparrat^{3,4,5,6}

RESUMEN

La madera es deteriorada por agentes bióticos y abióticos. Dentro de los agentes bióticos, los hongos responsables de pudrición castaña producen el tipo de deterioro más agresivo. Éstos alteran la estructura de la madera producto de la descomposición de la holocelulosa. La rápida descomposición de los carbohidratos en los estadios iniciales del proceso de pudrición, explica la disminución drástica de las propiedades de resistencia mecánica, no proporcional con la pérdida de peso del material. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de la pudrición castaña sobre las propiedades mecánicas de la madera de Acacia blanca y de Acacia negra. Los ensayos de biodegradación fueron realizados en cajas de zinc con vermiculita humedecida con extracto de malta e inoculada con una suspensión miceliar. La cepa fúngica utilizada fue *Gloeophyllum sepiarium*. Las probetas estuvieron expuestas a degradación durante 6 meses. Los efectos de la pudrición castaña fueron determinados mediante los ensayos de: dureza Janka (IRAM 9570), corte paralelo a las fibras (IRAM 9596) y compresión paralela a las fibras (COPANT 464). Los porcentajes medios de pérdida de peso estimados para ambas maderas se ubicaron en el rango 0-12%. En Acacia blanca se comprobó la no alteración de las propiedades de resistencia mecánica; ésta experimentó un comportamiento similar al testigo. En Acacia negra la pudrición castaña disminuyó su resistencia mecánica.

Palabras clave: Pudrición castaña; *Gloeophyllum sepiarium*; Propiedades mecánicas; Acacia blanca; Acacia negra.

ABSTRACT

The wood is deteriorated by biotic and abiotic agents. Between the biotic agents, the brown rot fungi produce the more aggressive decay. These alter the wood structure as consequence of holocellulose decomposition. The fast decomposition of carbohydrates in the initial stages of decomposition process, explains the drastic diminution of mechanicals resistance properties, nonproportional with weight loss of material. The purpose of this study was to evaluate the brown rot effects on the mechanical properties of black locust and honey locust wood. The biodegradation tests were realized in zinc boxes with moist vermiculite with malt extract which was inoculated with a mycelial suspension. The fungi *Gloeophyllum sepiarium* was used. The wood specimens were exhibited to degradation during 6 months. The brown rot effects were determinated for tests of: Janka hardness (IRAM 9570); parallel cut of fibers (IRAM 9596) and parallel compression of fibers (COPANT 464). The average percentages of estimate weight loss for both woods were located in the rank 0-12%. In Black locust wasn't check of mechanical resistance properties alter; this showed a similar behavior to the witness. In Honey locust the brown rot diminished its mechanical resistance.

Keywords: Brown rot; *Gloeophyllum sepiarium*; Mechanical properties; Black locus, Honey locus.

¹ Protección Forestal.

² Xilotecología-Industrias de Transformación Mecánica.

³ Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE), Universidad Nacional de La Plata (UNLP). CCT. La Plata. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Diag. 113 y 61, CC 327, 1900 La Plata, Argentina.

⁴ Instituto de Botánica Spegazzini, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, 53 N° 477, 1900 La Plata, Argentina.

⁵ Cátedra de Microbiología Agrícola.

⁶ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, 60 y 119, 1900, CC 31. La Plata, Argentina. E-mail: mmurace@gmail.com

1. INTRODUCCION

La madera esta expuesta a la acción de agentes bióticos y abióticos de deterioro. Dentro de los agentes bióticos, los hongos xilófagos producen el tipo de deterioro más agresivo; éstos alteran la estructura de la madera a causa de su degradación (Zabel y Morrell, 1992; Highley *et al.*, 1994; Green III y Highley, 1997; Schmidt, 2006).

La degradación fúngica implica la descomposición exoenzimática de los componentes principales de la pared celular: celulosa, hemicelulosas y lignina. Los hongos xilófagos atacan dichos constituyentes de diferentes modos y en proporciones distintas resultando en 3 tipos de pudrición: blanca, castaña y blanda (Blanchette, 1995; Schwarse *et al.*, 2000; Schmidt, 2006; Schwarze, 2007).

La pudrición castaña es el tipo de deterioro más destructivo y es por esto que reduce notablemente la vida útil de la madera en uso. La madera con este tipo de pudrición adquiere consistencia frágil, se reduce a polvo al presionarla entre los dedos, presenta fisuras paralelas y perpendiculares al grano que determinan un patrón de fractura cúbico como también presenta una coloración castaña característica (Zabel y Morrell, 1992; Highley *et al.*, 1994; Blanchette, 1995; Green III y Highley, 1997; Schmidt, 2006).

Las características tecnológicas de las maderas, entre ellas, las propiedades fisico-mecánicas, definen las posibilidades de uso de este material. Las propiedades mecánicas determinan el comportamiento de la madera expuesta a la aplicación de fuerzas externas. La pared de las fibras, fundamentalmente el estrato S2 de la pared secundaria, es uno de los elementos determinantes de este tipo de resistencia (Barnett y Jeronimidis, 2003). Los hongos de pudrición castaña, al atacar selectivamente la celulosa y hemicelulosas de mayor proporción en dicho estrato, hacen que la madera pierda rápidamente sus propiedades de solidez y experimente roturas drásticas limitando, de este modo, su vida útil (Zabel y Morrell, 1992; Schwarse *et al.*, 2000).

La madera de Acacia blanca y de Acacia negra cultivadas en la provincia de Buenos Aires presentan atributos tecnológicos que permiten considerarlas aptas para su utilización en la construcción (Spavento *et al.*, 2009), aplicación que determina que el material esté expuesto a los perjuicios ocasionados por la pudrición castaña por ser las más frecuente en la madera en servicio (Zabel y Morrell, 1992; Schmidt, 2006).

De acuerdo con esto, el objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de la pudrición castaña sobre las propiedades de resistencia mecánica de la madera de Acacia blanca y de Acacia negra.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material leñoso

Se trabajó con madera de Acacia blanca (*Robinia pseudoacacia* L.) y de Acacia negra (*Gleditsia triacanthos* L.) proveniente de rodales multi-específicos implantados en el partido de Tornquist (38°3'0"S, 62°2'0"W) y de Berazategui (34°55'16"S, 57°57'16"W), respectivamente (provincia de Buenos Aires, Argentina). El material fue obtenido de 10 árboles por especie elegidos al azar, de rodales de 30 años de edad y con diámetros aserrables. De cada árbol se obtuvieron dos trozas de un metro de longitud, a partir de los 0,30 metros de la base del fuste. Las trozas fueron procesadas para la obtención de tablas constituidas por duramen que luego fueron estibadas hasta comprobar contenido de humedad en equilibrio higroscópico (HEH) con

higrómetro electrónico (Hydromette HT 85, de la marca GANN). Posteriormente, de las tablas fueron obtenidas 60 probetas por especie (20 por ensayo mecánico) libres de defectos y dimensionadas según Normas.

Tabla 1. Ensayos realizados y normas empleadas

Ensayo	Norma	Dimensiones (mm)	Material (repeticiones)	
			Acacia blanca	Acacia negra
Dureza Janka	IRAM 9570	50 x 50 x 150	20	20
Corte paralelo a las fibras	IRAM 9596	50 x 50 x 62	20	20
Compresión paralela a las fibras	COPANT 464	50 x 50 x 200	20	20

Ensayos de biodegradación

Material fúngico

Los ensayos de biodegradación fueron realizados con el hongo de pudrición castaña *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf.: Fr.) P. Karst. Cepa 735 (LPSC, cepario del Instituto Spegazzini, La Plata) especie frecuentemente asociada con el deterioro de la madera en servicio (Schmith, 2006). Dicha cepa fue cultivada en el medio líquido extracto de malta (EM) al 2 % (peso volumen⁻¹) e incubada durante 15 días a 28 °C y 150 rpm, siguiendo el procedimiento reportado por Saparrat *et al.*, (2002).

Instalación de los ensayos: procedimiento

Los ensayos de biodegradación fueron realizados en cajas de zinc esterilizadas en autoclave (1 ½ atm de presión durante 20 min.). La elección de este tipo de recipiente se debió a que dicho material no es atacado por la cepa fúngica y a la posibilidad de su reutilización.

Se trabajó con un sustrato constituido por vermiculita humedecida (Vh) con EM acuoso en proporción 1:3 (cada 60 gr de vermiculita, 180 ml de EM) esterilizado en autoclave (1 ½ atm de presión durante 20 min.). La inoculación del sustrato fue realizada a través de la aplicación de 100 ml de una suspensión miceliar (5 mg de peso seco de micelio ml⁻¹) cada 60 gr de Vh incorporada en las cajas (Winandy y Morrell, 1993).

Las probetas fueron expuestas a degradación fúngica previa determinación del peso en equilibrio inicial (Pi) de cada una de ellas y esterilización en autoclave (½ atm de presión durante 20 min).

Ensayos de biodegradación en probetas de dureza Janka y compresión paralela a las fibras.

La base de las cajas correspondientes a este tipo de probetas fue cubierta con Vh e inoculada según lo descrito. Posteriormente, sobre dicho sustrato fueron apoyadas las probetas de ensayo y cubiertas con Vh e inoculada.

En esta instancia la finalidad fue favorecer la colonización fúngica en los puntos de aplicación de la carga a la que esta expuesto el material durante la realización de los ensayos mecánicos mencionados.

Ensayos de biodegradación en probetas de corte paralelo a las fibras.

Las probetas correspondientes a este ensayo fueron incorporadas en cajas sin sustrato en la base y posteriormente cubiertas con Vh e inoculada del modo indicado. El procedimiento descrito fue aplicado teniendo en cuenta que el material se solicita a esfuerzo en una de sus caras.

Instalados los ensayos, las cajas fueron colocadas en bolsas de nylon. Las probetas estuvieron expuestas a degradación fúngica durante 6 meses, a la oscuridad, en condiciones de 65 % de HR y $25 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura. Trascurrido dicho período, el material fue retirado de las cajas, limpiado y dejado en condiciones de temperatura y humedad controladas hasta comprobar peso en equilibrio final (Pf).

Con los pesos iniciales y finales de las probetas fue obtenido el porcentaje medio de pérdida de peso (Pp%), según especie y ensayo mecánico realizado (Tabla 2) mediante la siguiente fórmula:

$$Pp (\%) = \frac{Pi (g) - Pf (g)}{Pi (g)} \times 100$$

Culminada esta etapa se procedió a la determinación de las propiedades mecánicas del material degradado.

Ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos realizados se indican en las tablas correspondientes. En referencia a dureza Janka (Kg/cm^2) se determinó el valor medio de dureza transversal (Dtr), radial (Drd) y tangencial (Dtg); en relación al corte paralelo a la dirección de las fibras (Kg/cm^2) se determinó la tensión de rotura (TR) y para compresión paralela a las fibras (Kg/cm^2) los parámetros determinados fueron: módulo de rotura (MOR) y tensión en el límite de proporcionalidad (TLP).

El ensayo de dureza Janka fue realizado en la Prensa Universal de 5000 Kg ALFRED J. AMSLER y Co, Schaffouse - Suisse 7928. Los ensayos de corte y compresión paralela a las fibras fueron realizados con la Prensa Universal de 25 toneladas ALFRED J. AMSLER y Co, Schaffhouse - Suisse 5380, adaptándola según el ensayo.

Se trabajó con un total de 60 probetas por especie: 30 probetas testigo y 30 probetas expuestas a degradación (10 por ensayo mecánico para cada tratamiento: testigo - degradado).

El contenido de humedad (HEH) del material testigo fue del 11,08 % para Acacia blanca y del 11,78 % para Acacia negra. La HEH del material degradado fue del 14% en la madera de Acacia blanca y del 18 % en la madera de Acacia negra.

Análisis estadístico

A los datos obtenidos por cada tratamiento se les calcularon la media, el desvío estándar y el coeficiente de variación (CV). Se realizó análisis de la varianza y ante diferencias significativas ($p < 0,05$) se aplicó el test de comparación de medias (Tukey).

3. RESULTADOS

Ensayos de biodegradación

En la Tabla 2 se presentan los resultados del ensayo de biodegradación para la madera de Acacia blanca y de Acacia negra.

Tabla 2. Media de pérdida de peso (%) determinada para las probetas por tipo de ensayo expuestas a degradación fúngica.

Especie	Media Pérdida peso (%) por tipo de ensayo			
	Dureza	Compresión paralela	Corte paralelo	Media total
Acacia blanca	1,44	0,42	0,56	0,81
Acacia negra	0,42	4,38	12,63	5,81

De acuerdo con los resultados obtenidos, para ambas especies los valores medios de Pp (%) estimados en probetas agrupadas por tipo de ensayo fueron menores al 12%.

Ensayos mecánicos madera testigo - madera expuesta a degradación fúngica

Acacia blanca (*Robinia pseudoacacia* L.)

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la determinación de las propiedades mecánicas en la madera de Acacia blanca sin degradar (testigo) y expuesta a degradación fúngica.

Tabla 3. Dureza Janka de la madera de Acacia blanca testigo y expuesta a degradación.

Madera / Condición	Dureza Transversal*	Dureza Tangencial*	Dureza Radial*
	Dtr(Kg/cm ²)	Dtg (Kg/cm ²)	Drd (Kg/cm ²)
Acacia blanca	903 a	851 a	842 a
Testigo	(5,23)	(14,54)	(11,09)
Acacia blanca	921 a	902 a	891 a
Expuesta a degradación	(7,88)	(13,11)	(11,84)

*Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05\%$). Los coeficientes de variación (%) se indican entre paréntesis.

Según se indica en la Tabla 3, no se encontraron diferencias significativas entre madera testigo - madera expuesta a degradación para los parámetros Dtr, Dtg y Drd resultando, en las tres secciones de ensayo, una madera dura: rango 701-1000 kg/cm² (Coronel, 1995).

Tabla 4. Valores de compresión paralela a las fibras en madera de Acacia blanca testigo y expuesta a degradación.

Madera/Condición	Compresión paralela a las fibras*	
	MOR (Kg/cm ²)	TLP (Kg/cm ²)
Acacia blanca	335 a	208 a
Testigo	(12,20)	(31,80)
Acacia blanca	428 a	214 a
Expuesta a degradación	(18,18)	(62,56)

*Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05\%$). Los coeficientes de variación (%) se indican entre paréntesis.

Los valores de MOR y de TLP no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. En referencia al MOR, el material testigo y el expuesto a deterioro fúngico resultaron de resistencia media - alta: rango 301-500 Kg/cm² (Rivero Moreno, 2004).

Tabla 5. Ensayo de corte paralelo a las fibras en madera de Acacia blanca testigo y expuesta a degradación.

Madera/Condición	Corte paralelo a las fibras*
	TR (Kg/cm ²)
Acacia blanca	177 a
Testigo	(6,45)
Acacia blanca	162 a
Expuesta a degradación	(10,97)

*Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05\%$). Los coeficientes de variación (%) se indican entre paréntesis.

Según se indica en la Tabla 5 no se encontraron diferencias significativas para el valor de TR entre la madera testigo y la madera expuesta a degradación; en ambas condiciones el material resultó altamente resistente al corte paralelo a las fibras: rango de valores altos 121-175 Kg/cm² (Rivero Moreno, 2004).

Acacia negra (*Gleditsia triacanthos* L.)

Los resultados obtenidos de la determinación de las propiedades mecánicas de la madera de Acacia negra sin degradar (testigo) y expuesta a degradación fúngica fueron los siguientes:

Tabla 6. Dureza Janka en madera de Acacia negra testigo y expuesta a degradación.

Madera/Condición	Dureza Radial*	Dureza Tangencial *	Dureza Transversal*
	Drd (Kg/cm ²)	Dtg (Kg/cm ²)	Dtr (Kg/cm ²)
Acacia negra	773 a	770 a	919 a
Testigo	(6,67)	(8,58)	(2,98)
Acacia negra	654 b	691 b	780 b
Expuesta a degradación	(11,11)	(14,38)	(14,84)

*Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05\%$). Los coeficientes de variación (%) se indican entre paréntesis.

Los valores de D_{rd} , la D_{tg} y la D_{tr} fueron significativamente inferiores en el material expuesto a biodeterioro; en sección radial y tangencial la madera expuesta a degradación resultó semi-dura: rango 501-700 Kg/cm² y en sentido transversal, al igual que el material testigo, se comportó como madera dura: rango 701-1000 kg/cm² (Coronel, 1995).

Tabla 7. Valores de compresión paralela a las fibras en madera de Acacia negra testigo y expuesta a degradación.

Madera/Condición	Compresión paralela a las fibras*	
	MOR (Kg/cm ²)	TLP (Kg/cm ²)
Acacia negra	306 a	201 a
Testigo	(4,18)	(17,75)
Acacia negra	238 b	107 b
Expuesta a degradación	(36,53)	(28,39)

*Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05\%$). Los coeficientes de variación (%) se indican entre paréntesis.

Los valores MOR y TLP fueron significativamente menores en el material expuesto a biodeterioro. En cuanto al MOR, el material testigo fue altamente resistente: rango 300-400 Kg/cm² y el material expuesto a degradación presentó baja resistencia a dicho esfuerzo: rango 200-300 Kg/cm² (Rivero Moreno, 2004).

Tabla 8. Valores de corte paralelo a las fibras en madera de Acacia negra testigo y expuesta a degradación.

Madera/Condición	Corte paralelo a las fibras*
	TR (Kg/cm ²)
Acacia negra	192 a
Testigo	(12,07)
Acacia negra	49 b
Expuesta a degradación	(26,67)

*Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05\%$). Los coeficientes de variación (%) se indican entre paréntesis.

Según se observa en la Tabla 8, la madera expuesta a degradación presentó un TR en corte significativamente menor, resultando de baja resistencia a la rotura: TR 40-85 Kg/cm²; el material testigo se comportó como altamente resistente: TR > 175 Kg/cm² (Rivero Moreno, 2004).

4. DISCUSIÓN

Los hongos causantes de pudrición castaña despolimerizan la holocelulosa rápidamente desde los estadios iniciales del proceso de degradación: $Pp\% \leq 10\%$ (Wilcox, 1978); la lignina es parcialmente modificada por demetilación y oxidación y responsable de la coloración característica del material degradado (Zabel y Morrell, 1992; Highley et al., 1994; Blanchette, 1995; Green III y Highley, 1997). La rápida e incipiente despolimerización de los carbohidratos explica la disminución drástica de las propiedades de resistencia de la madera, la cual no es proporcional con la pérdida de peso del material (Wilcox, 1978; Winandy y Morrell, 1993; Curling et al., 2002 tomado de Kim et al., 1996). Si bien la degradación de la celulosa determina cierta pérdida de resistencia, la disminución de las propiedades de resistencia mecánica resulta principalmente de la degradación de los componentes de las hemicelulosas.

Las hemicelulosas envuelven a las microfibrillas de celulosa. Los hongos de pudrición castaña deben primeramente penetrar dichos carbohidratos para acceder a la celulosa; éstos remueven los azúcares hemicelulósicos (xilosa y manosa) antes que los azúcares celulósicos (Green III y Highley, 1997 tomado de Kirk y Highley 1973; de Highley 1987 a; Green III *et al.*, 1991; Winandy y Morrell, 1993).

En correspondencia con lo mencionado, en la madera de Acacia negra la pérdida de resistencia (Tablas 6 a 8) ocurrió mucho más rápido que la pérdida de peso (Tabla 2). Su menor capacidad de resistencia determinada en los ensayos de dureza (radial, tangencial y transversal), de compresión paralela (MOR y TLP) y en corte (TR) fue obtenida en probetas con media de Pp del 0,42%, 4,38%, 12,63%, respectivamente.

Mizumoto (1966, tomado de Wilcox, 1978) estudiando los efectos de la pudrición castaña en maderas de gimnospermas determinó una pérdida del 7% en los valores de dureza tangencial con 4% de Pp y del 21% con el 8% de Pp. Asimismo este autor determinó una disminución del 10% en los valores de compresión paralela con Pp del 2%, del 22 % con Pp del 5% y del 42% con Pp del 9% como así también una disminución del 2 % en los valores de resistencia al corte paralelo a las fibras con 1% de Pp y del 5% con 3% de Pp.

Si bien los antecedentes registrados consisten en generalizaciones realizadas en base a la información disponible acerca de los efectos de la pudrición castaña en las maderas de gimnospermas, Wilcox (1978) considera que en los primeros estadios del proceso de degradación podría ser poca la diferencia en cuanto a los efectos que este tipo de deterioro causa en angiospermas y gimnospermas.

Contrariamente a lo esperado, en la madera de Acacia blanca expuesta a degradación fúngica se registró pérdida de peso (Tabla 2) y la no alteración de las propiedades de resistencia mecánica (Tablas 3 a 5). La pérdida de resistencia para una determinada intensidad de degradación depende de diferentes factores, entre ellos, de la especie de madera (Wilcox, 1978). Existen numerosos antecedentes acerca del impacto de la densidad sobre las propiedades mecánicas de las maderas (Barnett y Jeronimidis, 2003). Rivera y Lenton (1999) mencionan diferentes características xilológicas consideradas de gran influencia sobre dichas propiedades de resistencia. Bárcenas-Pazos *et al.* (2005) en distintas especies de angiospermas analizaron el efecto conjunto de la densidad, los caracteres anatómicos y los valores de contracción tangencial máxima sobre las propiedades de resistencia mecánica. En este sentido determinaron el efecto significativo del volumen de vasos y de células parenquimáticas, de la densidad y de la contracción tangencial máxima sobre la dureza como también el efecto significativo de la densidad, del volumen de fibras y del porcentaje de radios en el valor de compresión paralela a las fibras y el efecto de la densidad y de la contracción tangencial máxima en la resistencia al corte. De acuerdo con esto, las propiedades físicas y los caracteres xilológicos mencionados podrían explicar los resultados hallados para esta especie en esta investigación.

5. CONCLUSIONES

La pudrición castaña producida por el hongo *Gloeophyllum sepiarium* afecta las propiedades de resistencia mecánica de la madera de Acacia negra, no habiéndose registrado esto en la madera de Acacia blanca. En la Acacia negra este tipo de pudrición disminuye su capacidad de resistir una sollicitación externa con bajos valores de Pp (%). En referencia a la madera de Acacia blanca, su densidad, contracción tangencial máxima y características xilológica podrían explicar su comportamiento.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Bárceñas-Pazos, G. M.; F. Ortega-Escalona; G. Ángeles-Álvarez y P. Ronzón-Pérez. 2005. "Relación estructura-propiedades de la madera de angiospermas mexicanas". Universidad y Ciencia, Trópico húmedo 21 (42): 45-55.
- Barnett, J. R. y G. Jeronimidis. 2003. "Wood quality and its biological basis". Blackwell Publishing Ltd. CRC Press. 240 pp.
- Blanchette, R. A.. 1995. "Degradation of the lignocellulose complex in wood". Can. J. Bot. 73 (Suppl. 1): 999-1010.
- COPANT 464. 1972. "Maderas. Método de determinación de la compresión paralela al grano". Comisión Panamericana de Normas Técnicas.
- Coronel, E.O.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.
- Curling, S; C. Clausen y J. Winandy. 2002. "Experimental method to quantify progressive stages of decay of wood by Basidiomycetes fungi". International Biodeterioration y Biodegradation, 49, pp. 13-19.
- Green III, F. y T.L. Highley. 1997. "Mechanism of Brown-rot decay: paradigm or paradox". International Biodeterioration y Biodegradation. Vol. 39. N°2-3: 113-124.
- Green III, F.; M. J. Larsen; J. E. Winandy y T. L. Highley. 1991. "Role of oxalic acid in incipient brown – rot decay". Material und Organismen 26. Bd. Heft 3. Verlag Duncker y Humblot. 1000 Berlin 41. Pág. 191-213.
- Highley, T. L.; C. A. Clausen; S. C. Croan; F. Green; B. L. Illman y J. A. Micales. 1994. "Research on biodeterioration of wood, 1987-1992. I. Decay mechanisms and biocontrol". USDA Forest Service, Research Paper FPL-RP-529.
- IRAM 9541. 1977. "Método de ensayo de compresión paralela a las fibras". 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 9570. 1971. "Método de ensayo de la dureza Janka". Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 6 pp.
- Rivera, S. M. y M. S. Lenton. 1999. La xilología y las propiedades mecánicas de cinco maderas nativas argentinas. Quebracho N° 7 (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. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos16/gmelina-arborea/gmelina-arborea.shtml>.
- Saparrat, M. C. N.; F. Guillén; A. M. Arambarri; A. T. Martínez; M. J. Martínez. 2002. "Induction, isolation, and characterization of two laccases from the white-rot basidiomycete *Corioloropsis rigida*". Applied and Environmental Microbiology 68: 1534-1540.
- Schmidt, O. 2006. "Wood and tree decay. Biology, Damage, Protection and Use". Springer- Verlag Berlin Heidelberg. 329 pp
- Schwarze, F. W. M. R.. 2007. "Review wood decay under the microscope". Fungal Biology Reviews, 21: 133-170.
- Schwarze, F. W. M. R; J. Engels y C. Mattheck. 2000. "Fungal strategies of wood decay in trees". Springer Verlag, Berlin. 184 pp
- Spavento, E; G. Keil y M. Murace. 2009. "Acacia blanca (*Robinia pseudoacacia* L.) y Acacia negra (*Gleditsia triacanthos* L.) ampliando la oferta de maderas en el mercado local y regional de la República Argentina". XIII Congreso Forestal Mundial. 18-23 Octubre, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

- Wilcox, W. 1978. "Review of literature on the effects of early stages of decay on wood strength". *Wood and Fiber*, 9 (4): 252-257.
- Winandy, J. y J. Morrell. 1993. "Relationship between incipient decay, strength, and chemical composition of Douglas - Fir heartwood". *Wood and Fiber Science*, 25 (3): 278-288.
- Zabel, R. A. y J. J. Morrell. 1992. "Wood microbiology. Decay and its prevention". *Academics Press Inc.* 476 pp.

