

Comportamiento de *Pinus ponderosa* Dougl. ex. Laws. expuesto al hongo de pudrición castaña *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf.: Fr.) P. Karst.

Behavior of Pinus ponderosa Dougl. ex. Laws. exposed to the brown rot fungus Gloeophyllum sepiarium (Wulf.: Fr.) P. Karst

Murace, M.^{1,7}; E. Spavento^{2,7}; P. Rivas^{3,7}; M. Saparrat^{4,5,6,7} y G. Keil^{2,7}

Recibido en octubre de 2013; aceptado en agosto de 2014

RESUMEN

La degradación fúngica es un tipo de deterioro frecuente y agresivo en la madera en servicio. Por esto, la resistencia de las maderas al deterioro producido por los hongos xilófagos constituye una propiedad de referencia al momento de estimar su vida útil en condiciones extremas de uso y, consecuentemente, de definir su condición de uso más apta. Para una determinada clase de resistencia a la degradación, el tiempo útil en servicio de una pieza expuesta a sollicitación estructural estará influenciado por el tipo de pudrición. Las pudriciones castañas reducen notablemente la resistencia mecánica. Es objetivo del trabajo determinar el comportamiento de la madera de *Pinus ponderosa* Dougl. ex. Laws. expuesta a *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf.: Fr.) P. Karst responsable de pudrición castaña. Se trabajó con albura proveniente de árboles de 19 años de edad implantados en Neuquén (Argentina). Las determinaciones realizadas fueron: resistencia a la degradación fúngica como también composición química, flexión estática y densidad normal en material testigo y expuesto a degradación. *P. ponderosa* resultó moderadamente resistente a la acción de *G. sepiarium* (pérdida de peso: 35%); en la madera expuesta a la cepa xilófaga los parámetros de flexión disminuyeron significativamente respecto del testigo (MOR en un 49%; MOE en un 55%) con un valor bajo de pérdida de peso (1,3%), no así la densidad (testigo: 0,40 g.cm⁻³; expuesta a degradación: 0,39 g.cm⁻³); la degradación fue evidenciada químicamente e indirectamente mediante la caída de MOR y MOE.

Palabras claves: Pino ponderosa; Pudrición castaña; Propiedades físico-mecánicas; Composición química de la madera.

ABSTRACT

The fungal degradation is a frequent and aggressive type of deterioration in the service wood. Therefore, the wood resistance to deterioration by xylophagous fungi is a reference property to estimate its useful life in extreme condition of use and, consequently, to define its condition more suitable of use. For a certain class of resistance to degradation, the useful time in service of a piece exposed to structural solicitation will be influenced by the type of rot. The brown rot reduces significantly the mechanical strength. Objective: to determine the behavior of *Pinus ponderosa* Dougl. ex. Laws. wood exposed to *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf.: Fr.) P. Karst, liable for brown rot. Worked with sapwood obtained from trees of 19 years old implanted in Neuquen (Argentina). Resistance to fungal degradation as well as chemical composition, static bending and normal density in control and exposed to degradation wood were determined. *P. ponderosa* was moderately resistant to *G. sepiarium* (weight loss: 35%); in the exposed wood to the xylophage fungus, the parameters of static bending decreased significantly compared to control wood (MOR in a 49%; MOE in a 55%) with low value of weight loss (1,3%), but not the density (control: 0,40 g.cm⁻³; exposed to degradation: 0,39 g.cm⁻³); the degradation was evidenced chemically and indirectly through the fall of MOR y MOE.

Key words: Ponderosa pine; Brown rot; Physical-mechanical properties; Chemical composition of wood.

¹ Protección Forestal.

² Xilotecnología. Industrias de Transformación Mecánica.

³ Análisis químico.

⁴ INFIVE, UNLP- CCT La Plata CONICET, CC 327, (1900) La Plata, Argentina.

⁵ Instituto Spegazzini (FCNyM-UNLP) 53 # 477, (1900) La Plata, Argentina.

⁶ Microbiología Agrícola.

⁷ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, 60 y 119 (1900), CC 31, La Plata, Argentina.

E-mail: mmurace@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La República Argentina, específicamente la Región Andino Patagónica, dispone de aproximadamente 55.000 ha forestadas con pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex. Laws.). Dentro de dicha Región, la provincia de Neuquén en particular, posee áreas aptas para la forestación, que están siendo utilizadas para el establecimiento de esta especie exótica debido a su rápido crecimiento (superior con respecto al crecimiento observado en sus áreas de origen, en Estados Unidos), plasticidad y resistencia al estrés hídrico (Broquen *et al.*, 1998; Gonda (1998), citado por Jovanovski *et al.*, 2002; Andía *et al.*, 2007). En esta provincia, la finalidad de las plantaciones es lograr madera de calidad para aserrío, con una corta final estimada entre los 35 y 45 años. Asimismo, los raleos de árboles de entre 19 y 28 años, provenientes de dichas plantaciones, proveen de materia prima al mercado maderero local para la elaboración de diversos productos, tales como: postes, varillas, tacos y tablas para la elaboración de embalajes, tablas y tirantes para construcción, machimbres, vigas laminadas, tableros de listones y “ladrillos” de madera para viviendas (Zingoni *et al.*, 2005; Spavento, 2011).

De acuerdo con estos usos, y considerando la frecuencia y agresividad de las pudriciones fúngicas en la madera en servicio (Highley, 1987; Highley *et al.*, 1994), adquiere importancia conocer el comportamiento del pino ponderosa expuesto a este tipo de deterioro. Los hongos xilófagos degradan ectoenzimáticamente la celulosa, las hemicelulosas y la lignina de la pared celular, lo cual determina la alteración estructural (pudrición) de la madera (Saparrat *et al.*, 2002).

Conocer la resistencia de las maderas a la degradación fúngica - durabilidad - permite estimar su vida útil en condiciones extremas de uso (madera al exterior y en contacto con el suelo), propicias para este tipo de deterioro. En función de ello, definir la condición de uso más apropiada o bien la aplicación de tratamientos preservantes, con el propósito de prolongar su utilidad en servicio. Para una determinada clase de resistencia a la degradación, la vida útil de una pieza expuesta a sollicitación estructural estará influenciada por el tipo de pudrición. Las pudriciones castañas, causada por *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf.: Fr.) P. Karst (Aphylophorales, Basidiomycota), es una de las principales responsables de este tipo de deterioro en madera de gimnospermas en servicio (Wright y Deschamps, 1977; Zabel and Morrell, 1992; Schmidt, 2006). Las mismas reducen notablemente la resistencia mecánica, particularmente en flexión estática, desde los estadios iniciales del proceso de colonización y degradación (pérdida peso $\leq 10\%$) producto de la descomposición de los polisacáridos estructurales (Wilcox, 1978; Highley and Illman, 1991; Winandy and Morrell, 1993; Green and Highley, 1997; Curling *et al.*, 2001; Schmidt, 2006).

La degradación de los polisacáridos ocurre inicialmente y con gran intensidad en el estrato S2 de la pared secundaria debido a su bajo porcentaje relativo de lignina y, consecuentemente, a la mayor exposición de la celulosa y de las hemicelulosas a las hidrolasas fúngicas (Curling *et al.*, 2001). Lo expuesto conduce a la alteración estructural de dicho estrato, considerado determinante de la resistencia mecánica de las maderas producto de su espesor, composición química y distribución espacial de la microfibrillas de celulosa (Barnett and Jeronimidis, 2003). El objetivo de este trabajo es determinar el comportamiento de la madera de *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws. expuesta a *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf.: Fr.) P. Karst, hongo responsable de pudrición castaña.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Material leñoso - Área de muestreo

Se trabajó con albura de pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws.) proveniente de árboles de un primer raleo comercial, de 19 años de edad, diámetro medio 22,5 cm, sin evidencias de duraminización, establecidos en la estancia San Jorge (valle del Río Melliquina, Neuquén: 40° 29' 23" Sur - 71° 11' 31" Oeste). Fueron seleccionados 10 individuos al azar de los cuales se extrajeron trozas (las dos primeras a partir de los 0,30 m del suelo) de 1,20 m de longitud. Cada troza fue aserrada en tablones de 55 mm de espesor secados al aire hasta comprobar humedad de equilibrio higroscópico (HEH) del 12%, constatada a través de mediciones periódicas mediante higrómetro electrónico (Hydromette HT 85, marca GANN). Alcanzada la HEH, los tablones fueron aserrados y cepillados en forma de listones de 20 mm de lado y 1,20 m de longitud, con el propósito de obtener probetas de características acordes a lo indicado por las normas IRAM, metodología empleada para la determinación del contenido de humedad (CH) de la madera al momento de los ensayos, la estimación de la durabilidad natural como así también para la determinación de los parámetros de flexión estática (Módulo de rotura: MOR y Módulo de elasticidad: MOE) y de la densidad normal (Dn) en material testigo y expuesto a degradación. Para ambas condiciones del material bajo estudio, la madera además fue transformada en astillas que fueron posteriormente molidas a fin de proceder a la realización de las determinaciones químicas.

2.2. Ensayos de biodegradación

Material fúngico

Los ensayos de biodegradación fueron realizados con *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf.: Fr.) P. Karst. Cepa 735 (LPSC, Cepario Instituto Spegazzini, La Plata) considerada de referencia al momento de evaluar el impacto de este tipo de pudrición sobre la madera objeto de estudio. *G. sepiarium* fue repicado a cajas de Petri con medio agar extracto de malta al 2% (AM 2%) posteriormente colocadas en estufa por 15 días a 25°C± 2 con el fin de generar inóculo para los ensayos de durabilidad natural. Asimismo esta cepa fue cultivada axénicamente en un medio líquido con extracto de malta (EM) al 2 % (peso volumen⁻¹) e incubado durante 15 días a 28 °C y 150 rpm siguiendo el procedimiento reportado por Saparrat *et al.* (2002). La biomasa obtenida se utilizó para inocular las probetas correspondientes a los ensayos de flexión estática según lo indicado por Winandy and Morrell (1993) y evaluar sus efectos sobre esta propiedad mecánica de la madera.

2.3. Durabilidad natural – resistencia a la degradación fúngica: procedimiento

La durabilidad del material fue estimada mediante la técnica del “soil-block”, según Normas IRAM 9518 (1962). Para la instalación de los ensayos se utilizaron frascos de vidrio de 500 cm³ de capacidad, en los cuales fueron colocados 43 cm³ de agua destilada y 200 g de una mezcla de tierra (40 g) y arena (160 g) previamente secada en estufa a 103 °C ± 2 durante 72 h y posteriormente tamizada. Llenados los frascos, sobre el sustrato fueron apoyadas dos tablillas (“feeder strips”) de madera blanda (*Salix* sp) de 20 mm de lado. Posteriormente, cada frasco fue cerrado con tapones de algodón y esterilizado en autoclave. Cumplida esta etapa, se procedió a la inoculación mediante trozos de micelio fúngico de 10 mm de diámetro obtenidos con sacabocados de cultivos puros y colocados próximos a cada “feeder strips”. Una vez que el micelio cubrió las tablillas (20 días aprox.) sobre cada una de ellas fue colocada una probeta de ensayo (dos por frasco) previa determinación de su peso inicial en equilibrio higroscópico (Pi) y autoclavado a 0,5 atm de presión durante 20 minutos. El material estuvo expuesto a degradación durante 90 días a 27± 2 °C y 70 % de humedad relativa (HR). Cumplido el tiempo de ensayo, las probetas fueron extraídas de los frascos y acondicionadas en laboratorio durante 30 días bajo

condiciones controladas de temperatura y humedad (27 ± 2 °C y 70 % de HR) hasta comprobar peso en equilibrio higroscópico (Pf). Con los Pi y Pf obtenidos fue calculado el porcentaje de pérdida de peso (Pp) de cada probeta empleando la siguiente fórmula:

$$Pp (\%) = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

Pp= pérdida de peso, en %.

Pi= peso de las probetas en equilibrio higroscópico antes de ser expuestas a degradación, en g.

Pf= peso en equilibrio higroscópico de las probetas luego de su exposición a la cepa xilófaga, en g.

Determinada la Pp (%) de las probetas, fue calculado el porcentaje medio de Pp y, en base a ello, estimada la clase de resistencia a la degradación fúngica (ASTM D-2017-81, 1986).

Se trabajó con un total de 30 probetas de albura, de 20 mm de lado, superficie pulida y libre de defectos, con un contenido de humedad (CH) del 12,40 % determinado según norma IRAM 9532 (1963).

2.4. Efecto de *G. sepiarium* sobre los parámetros de flexión estática - Instalación de los ensayos: procedimiento

En esta instancia, los ensayos de biodegradación fueron realizados según Winandy and Morrell (1993) en cuanto al tipo de sustrato, su humectación e inoculación. En cajas de zinc de 60 mm x 130 mm x 360 mm esterilizadas en autoclave fue colocado un sustrato autoclavado constituido por vermiculita humedecida (Vh) con EM acuoso (EMac) en proporción 1:3 (cada 60 gr de vermiculita, 180 ml de EMac). Realizado esto, las probetas de ensayo fueron incorporadas en las cajas de degradación (5 por caja) previa determinación del peso en equilibrio inicial (Pi) de cada una de ellas y esterilización (0,5 atm de presión durante 20 min), asegurando que el sustrato las cubra por completo. La inoculación del sistema resultante (sustrato-madera) fue realizada a través de la aplicación de 100 ml de una suspensión micelar (5 mg de peso seco de micelio ml^{-1}) cada 60 gr de Vh incorporada en las cajas. Cumplida esta etapa, cada caja fue colocada en bolsas de nylon a fin de mantener las condiciones propicias de ensayo. De este modo, el material estuvo expuesto a degradación durante 120 días, bajo condiciones controladas de humedad y temperatura (27 ± 2 °C de temperatura y 70% de HR). Cumplido el tiempo de ensayo, las probetas fueron extraídas de los recipientes y acondicionadas en laboratorio hasta comprobar peso constante (Pf en equilibrio).

Se trabajó con un total de 30 probetas de albura, de superficie pulida, libre de defectos, de 20 mm x 20 mm x 340 mm a partir de las cuales fue determinado el porcentaje medio de Pp (según fórmula 1).

2.5. Ensayo de flexión estática

El ensayo de flexión estática fue realizado según norma IRAM 9542 (1977); los parámetros determinados fueron MOR y MOE. En esta instancia se trabajó en Máquina Universal de Ensayos, de 5000 Kg Alfred J. Amsler & Co, Schaffouse - Suisse 792, a la cual se le colocó el dispositivo correspondiente a este tipo de determinación.

Se trabajó con un total de 60 probetas de albura, 30 testigos y 30 expuestas a degradación, con CH del 12,40% y del 13,34% respectivamente, determinado según IRAM 9532 (1963). El mayor CH del material expuesto a *G. sepiarium* fue el esperado, consecuencia de la mayor higroscopicidad que adquiere la madera con este tipo de deterioro (Winandy and Morrell, 1993; Karppanen et al., 2008).

2.6. Ensayo de densidad normal

La densidad normal (Dn) fue determinada según normativa IRAM 9544 (1985). De cada probeta ensayada a flexión (testigos y expuestas a degradación) fueron extraídas 5 probetas cúbicas de 20 mm (150 por condición de la madera).

2.7. Análisis químico de la madera: procedimiento

Los estudios químicos fueron realizados en albura testigo y expuesta a degradación por *G. sepiarium* según se indicó (ensayos de durabilidad natural y biodegradación de probetas de flexión). La totalidad del material (separado según condición y tipo de ensayo) fue astillado en forma manual (empleando gubia), luego molido en molino Thomas Wiley Laboratory Mill Model 4 Thom, Scientific TM USA y posteriormente tamizado entre mallas 40/60. Para ambas condiciones de la madera y ensayos fue determinado el contenido de humedad como también el contenido de lignina insoluble en ácido (lignina Klason), el contenido de celulosa por el método de Kurchner y Hoffer y el porcentaje de extraíbles en alcohol-benceno y agua caliente. Todos los ensayos siguieron la metodología propuesta por Rodríguez (1978). Los resultados fueron expresados en base seca, como promedio de dos determinaciones y variación no mayor al 0,1%.

2.8. Análisis estadístico

Al conjunto de datos de cada variable se le calcularon la media, el desvío y el coeficiente de variabilidad. Los datos obtenidos fueron estudiados a partir del análisis de la varianza y ante diferencias significativas ($p < 0,05$) se aplicó el test de comparación de medias de Tukey.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Durabilidad natural – resistencia a la degradación fúngica

La albura de pino ponderosa proveniente de árboles de 19 años de edad resultó moderadamente resistente a la degradación causada por *G. sepiarium* (35% Pp; rango: 25% - 44%, ASTM D 2017-81/86); su clase de resistencia coincide con estudios previos en los que se pone en evidencia la alta susceptibilidad de las Gimnospermas a las pudriciones castañas (Winandy and Morrell, 1993; Morrell and Freitag, 1995; Juacida y Villanueva, 1996; Mora y Encinas, 2001; Curling *et al.*, 2002; Pandey and Pitman, 2003; Schwarze *et al.*, 2003; Schwarze, 2007; Emerhi *et al.*, 2008; Bernardis y Popoff, 2009). Asimismo, los resultados obtenidos coinciden con lo especificado por la Norma IRAM 9600 (1998) la cual indica para la madera de distintas especies del género *Pinus* una vida útil en condiciones extremas de uso estimada entre 5 y 10 años, utilidad equivalente a una madera poco durable como resultó el pino ponderosa en esta investigación. De acuerdo con esto, el mayor tiempo de uso para esta madera ha de lograrse utilizándola en condiciones desfavorables para la degradación fúngica (madera de uso interior, con bajos valores de humedad relativa ambiente) o bien mediante la aplicación de tratamientos preservantes.

A nivel macroscópico, la madera presentó alta colonización fúngica, fisuras paralelas y perpendiculares al grano que determinaron un patrón de fractura cúbico como también una coloración castaña, contracción evidente y consistencia frágil (ésta se redujo a polvo al presionarla entre los dedos). Los rasgos descriptos son los característicos para este tipo de deterioro fúngico (Zabel and Morrell, 1992; Schwarze *et al.*, 2000; Schwarze, 2007).

3.2. Efecto de *G. sepiarium* sobre los parámetros de flexión estática y la densidad

En la Tabla 1 son presentados los resultados correspondientes a los parámetros de flexión y densidad obtenidos para la madera del pino ponderosa testigo y expuesta a degradación.

Tabla 1. Valores de MOR y MOE en flexión estática y densidad normal para la madera testigo y expuesta a degradación.

Madera / condición		MOR* (N.mm ⁻²)	MOE* (N.mm ⁻²)	Dn* (g.cm ⁻³)
<i>P. ponderosa</i>	Testigo	49,33 a (16,84) MB	3497,51 a (18,79) MB	0,40 a (2,47)
	Expuesta a degradación Pp% 1,30**	25,15 b (18,41) MB	1586,41 b (27,78) MB	0,39 a (2,25)

*Letras diferentes denotan diferencias significativas con el test de Tukey ($P < 0,05$). Los CV se indican entre paréntesis. MB MOR: muy bajo (< 50); MB MOE: muy bajo (< 10000), rangos según Rivero Moreno (2004). ** Pp transcurridos 120 días de ensayo.

Para la madera control, MOR y MOE reflejan la baja resistencia por unidad de superficie que ofrece este material al recibir una carga (Rivero Moreno, 2004). Esto podría deberse a su elevada proporción de madera juvenil consecuencia de la edad. Zingoni *et al.* (2005) concluyen que la materia prima proveniente del raleo de individuos jóvenes (19 - 20 años) de pino ponderosa establecidos en la Región Andino-patagónica posee un alto porcentaje de este tipo de leño, valor estimado en un 96%. La madera juvenil presenta características anatómicas (elevado ángulo microfibrilar, alta proporción de leño temprano) y físicas (baja densidad) que comprometen notablemente su estabilidad dimensional y capacidad de resistir esfuerzos mecánicos. En este sentido, el ángulo microfibrilar del estrato S2 de la pared secundaria y la densidad son determinantes de las propiedades mecánicas de la madera (Walker and Butterfield, 1996; Larson *et al.*, 2001; Barnett and Jeronimidis, 2003; Burdon *et al.*, 2004). Larson *et al.* (2001) recopilan y aportan información acerca de la baja resistencia mecánica de distintas especies de pino constituidos por este tipo de leño.

Según lo indicado (Tabla 1), si bien para ambas condiciones del material fueron obtenidos valores medios de MOR y MOE que determinaron igual clasificación en cuanto a su capacidad para resistir este tipo de esfuerzo, entre dichas condiciones de la madera se presentaron diferencias significativas para ambos parámetros que determinaron notables pérdidas en la resistencia a la flexión estática con un bajo porcentaje de Pp (1,30%).

De acuerdo con esto, para el material expuesto a degradación, en relación al testigo, fue determinada una disminución en el MOR y MOE del 49% y 55%, respectivamente. Los resultados obtenidos coinciden con lo indicado para las pudriciones castañas: la pérdida de resistencia ocurre a valores de Pp $< 5\%$, es decir, antes de que pueda determinarse una pérdida de peso significativa. Zabel and Morrell (1992) indican que la pérdida de peso no es una forma precisa de cuantificar los efectos de la degradación. Curling *et al.* (2002) y Winandy *et al.* (2005) consideran la pérdida de resistencia en una madera como el método más sensible para detectar degradación, en oposición al tradicionalmente considerado: el porcentaje de Pp. Por su parte, existen antecedentes acerca del impacto de este tipo de pudrición sobre la flexión estática de las maderas de Gimnospermas. Wilcox (1978) considera a esta propiedad mecánica como una de las más sensibles a los efectos que ocasionan los primeros estadios del proceso de degradación causado por los hongos de pudrición castaña. Este autor aporta valores de MOR y MOE en flexión para maderas de Gimnospermas que representan disminuciones en relación a material testigo de entre el 13% - 50% y 4% - 55% respectivamente, con valores medios de pérdida de peso del 2%. Winandy *et al.* (2000) y Curling *et al.* (2002) obtuvieron resultados similares en madera de *Pinus* spp expuesta a las cepas de pudrición castaña *G. trabeum* y *Postia*

placenta. Por lo expuesto, debe tenerse en cuenta que la vida útil de la madera de pino ponderosa, solicitada mecánicamente y en condiciones propicias para este tipo de deterioro fúngico puede ser disminuida notablemente. Como se mencionó, los hongos responsables de este tipo de pudrición atacan intensa y selectivamente, desde los estadios iniciales del proceso, la celulosa y las hemicelulosas, componentes de mayor proporción en el estrato S2 de la pared celular, estrato estrechamente involucrado con la capacidad de las maderas para resistir esfuerzos y tensiones (Zabel and Morrell, 1992; Schwarze *et al.*, 2000; Curling *et al.*, 2001; Barnett and Jeronimidis, 2003).

En cuanto a la densidad, los resultados obtenidos en las probetas de flexión expuestas a *G. sepiarium* no evidencian un proceso de degradación y, consecuentemente, alteración mecánica; en ambas condiciones la madera resultó con igual valor estadístico (madera liviana, rango: 0,351 a 0,550 g cm⁻³; Coronel, 1994) (Tabla 1). Si bien los hongos de pudrición castaña causan una disminución sustancial del volumen de la madera a medida que la degradan (Zabel and Morrell, 1992), lo hallado en torno a esta propiedad se corresponde con el bajo porcentaje de Pp determinado (1,30%) y con lo observado en cuanto al aspecto de la madera: macroscópicamente, la madera inoculada no presentó evidencias de deterioro, mostrando una apariencia similar a la del material testigo; en esta condición del material la degradación fúngica se manifestó con la disminución de los valores de los parámetros analizados (Tabla 1).

3.3. Análisis químicos

En la Tabla 2 son expresados los resultados provenientes del análisis químico del material testigo y del expuesto a degradación: ensayo de durabilidad natural (IRAM 9518, 1962) y ensayos de flexión estática (Winandy and Morrell, 1993).

Tabla 2. Valores porcentuales de celulosa, lignina y extraíbles en madera testigo y expuesta a degradación (ensayos de durabilidad y efecto de *G. sepiarium* sobre flexión estática).

Madera / condición		Extraíbles* ROH-benceno	Agua cl.	Lignina*	Celulosa*
<i>P. ponderosa</i> Testigo		4,21	4,89	29,82	68,85
Expuesto a	Durab. Pp% 35**	9,33	16,61	31,14	48,32
degradación	Flexión Pp% 1,30***	2,55	3,47	25,86	60,25

* Valores expresados en %. ** Pp transcurridos 90 días de ensayo; *** Pp transcurridos 120 días de ensayo.

Para el material testigo, a excepción del porcentaje de celulosa, los valores encontrados se corresponden con los citados por otros autores para *P. ponderosa* (Hillis (1991), tomado de Barnett and Jeronimidis, 2003; Jovanovski *et al.*, 1998).

En cuanto a la celulosa, si bien su valor porcentual resultó más alto que lo indicado para otras especies de este género (*P. taeda*: 43,5-47,6%; *P. monticola*: 41,2%, Kirk and Highley, 1973), lo cual podría deberse a la metodología aplicada, éste representó la disminución esperada respecto del testigo y está de acuerdo con el de holocelulosa (71,6%) determinado en el leño de pino ponderosa de ejemplares de 23 años de edad implantados en Valdivia, Chile (Jovanovski *et al.*, 1998) y con el rango 66,3-69,9% reportado para esta especie por Fenguel (1975), tomado de Jovanovski *et al.* (1998).

En referencia al material expuesto a *G. sepiarium* por ambas metodologías (IRAM 9518, 1962; Winandy and Morrell, 1993), los cambios químicos determinados en relación a la muestra testigo (Tabla 2), estarían evidenciando el curso de un proceso de degradación y el tipo de pudrición a la que fue expuesto el material (Winandy and Morrell, 1993; Ejechi *et al.*, 1996; Curling *et al.*, 2001; Pandey and Pitman, 2003; Schwarze, 2007; Karppanen *et al.*, 2008).

Los hongos responsables de pudrición castaña degradan holocelulosa; la lignina sólo es parcialmente oxidada y responsable de la coloración castaña característica de las maderas con este tipo de deterioro (Blanchette, 1995; Schwarze *et al.*, 2000; Schwarze, 2007). De acuerdo con esto, en las probetas correspondientes a los ensayos de durabilidad, la notable disminución en el porcentaje de celulosa se corresponde con este tipo de pudrición como así también demuestra la baja resistencia de esta especie a la degradación por *G. sepiarium*. En relación a los extraíbles y la lignina, los porcentajes obtenidos también evidencian la selectiva degradación de los carbohidratos y su despolimerización por sobre su utilización; asimismo podrían deberse a la presencia de carbohidratos fúngicos considerando la alta colonización observada a nivel macroscópico en el material. Pandey and Pitman (2003) y Karppanen *et al.* (2008) arribaron a resultados similares con madera de *Pinus sylvestris* expuesta a la especie de pudrición castaña *Coniophora puteana* mediante la técnica del "soil-block". En cuanto a las probetas de flexión, el porcentaje de celulosa determinado (tomando en consideración su similitud con los registros de holocelulosa consecuencia de la técnica empleada) se corresponde con lo indicado para este tipo de deterioro fúngico: la pérdida de la resistencia de las maderas afectadas por pudrición castaña resulta principalmente de la degradación de los componentes de las hemicelulosas (inicialmente galactosa y arabinosa que constituyen, aproximadamente, el 8% de los componentes químicos del leño) y posteriormente producto de la degradación de la celulosa, lo cual explica la drástica caída de esta propiedad a bajos porcentajes de Pp (Winandy and Morrell, 1993; Green and Highley, 1997).

Curling *et al.* (2001) en madera de *Pinus* spp expuesta a *G. trabeum* determinaron que con Pp menores al 5%, los arabinanos y galactanos fueron degradados; por su parte, con valores de Pp de entre el 5-20 % ocurrió la pérdida significativa de xylanos y mananos en asociación con una disminución de la resistencia (MOR) del 40% aprox., mientras que con Pp superiores al 20% los glucanos fueron degradados lo cual se correspondió con pérdidas de MOR de entre un 75-90 %.

En este sentido, estudios relacionados con la determinación de hemicelulosas serán abordados en futuras investigaciones a fin de corroborar su influencia en la alteración de la capacidad resistente de las maderas. En referencia a los extraíbles (grasas, resinas, compuestos solubles en agua), los porcentajes obtenidos indicarían que *G. sepiarium* degradó dichos compuestos previo a la degradación de la holocelulosa como también indicarían la utilización de los azúcares libres de la madera y de los resultantes de la despolimerización durante las etapas incipientes del proceso de colonización y degradación. La colonización exitosa de la madera depende principalmente de la habilidad de los hongos en usar los carbohidratos no estructurales; por su parte, la utilización de las hemicelulosas representa el paso crítico inicial durante el crecimiento de los hongos de pudrición castaña en la madera (Ritschkoff, 1996). En cuanto a la lignina, el valor hallado estaría evidenciando su parcial oxidación; como fue indicado, los hongos de pudrición castaña degradan selectivamente los carbohidratos estructurales con limitada disminución de lignina ácido insoluble.

4. CONCLUSIÓN

La madera (albura) del pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) proveniente de ejemplares de 19 años de edad se comporta como moderadamente resistente a la acción de *Gloeophyllum sepiarium* y por esto ha de esperarse una vida útil de entre 5 y 10 años en condiciones extremas de uso. Su utilidad en servicio expuesta a esfuerzos de flexión se vería notablemente reducida al ser degradada por este agente de pudrición castaña.

G. sepiarium produce una fuerte caída en los valores de MOR y MOE (49 y 55%, respectivamente) con bajo porcentaje de Pp (<5%), perjuicio que sólo puede ser determinado mediante ensayos mecánicos y estimado a partir de la caracterización química del material.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andía, I.; M. Zingoni; O. Jara y M. Mantilaro. 2007. “Contracciones transversales y longitudinal en madera juvenil de pino ponderosa proveniente de plantaciones del norte de Neuquén”. III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales. Bs. As., Argentina.
- ASTM D-2017-81 (Reapproved 1986). “Standard Method of Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of Woods”. ASTM Book of Standards, American National Standard, p 348-352.
- Barnett, J. R. and G. Jeronimidis. 2003. “Wood quality and its biological basis”. Blackwell Publishing Ltd. CRC Press, Australia. 226 p.
- Bernardis, A. C. y O. Popoff. 2009. “Durability of *Pinus elliottii* wood impregnated with Quebracho colorado (*Schinopsis balansae*) bio-protectives extracts and CCA”. Maderas, Ciencia y Tecnología 11(2):107-115.
- Blanchette, R. 1995. “Degradation of the lignocellulose complex in wood”. Canadian Journal of Botany 73(Suppl.1):999-1010.
- Broquen, P; J. Girardin; V. Pellegrini; R. Luna y G. Falbo. 1998. “Modelos predictores de índice de sitio en *Pinus ponderosa* Dougl. en base a características del suelo andinopatagónico oriental, 37°-41° S”. Bosque 23(3):71–79.
- Burdon, R. D; R. P. Kibblewhite; J. C. F. Walker; R. A. Megraw; R. Evans and D. J. Cown. 2004. “Juvenile Versus Mature Wood: A New Concept, Orthogonal to Corewood Versus Outerwood, with Special Reference to *Pinus radiata* and *P. Taeda*”. Forest Science 50(4):399-415.
- Coronel, E. O. 1994. “Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas”. 1ra. Parte: Fundamentos de las propiedades físicas de la madera. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Ed. El Liberal, Santiago del Estero. Argentina. 187 p.
- Curling, S.; C. A. Clausen and J. E. Winandy. 2001. “The effect of hemicellulose degradation on the mechanical properties of wood during brown rot decay”. The International Research Group on Wood Preservation. 32nd Annual Meeting. Nara, Japan. May 20-25th, 2001IRG/WP 01-20219. Section 2: Test Methodology and Assessment.
- Curling, S.; C. A. Clausen and J. E. Winandy. 2002. “Experimental method to quantify progressive stages of decay of wood by basidiomycetes fungi”. International Biodeterioration & Biodegradation 49:13-19.
- Ejechi, B. O.; C. O. Obuekwe and A. O. Ogbimi. 1996. “Microchemical studies of wood degradation by brown and white rot fungi in two tropical timbers”. International Biodeterioration & Biodegradation (1996):119-122.
- Emerhi, E. A.; B. A. Ekeke and B. A. Oyebade. 2008. “Biodegrading effects of some rot fungi on *Pinus caribaea* wood”. African Journal of Biotechnology 7(10):1512-1515.
- Green, F. and T. L. Highley. 1997. “Mechanism of brown-rot decay: paradigm or paradox”. International Biodeterioration & Biodegradation 39(2-3):113-124.
- Highley, T. L. 1987. “Biochemical aspects of white rot and brown rot decay”. International Research Group on Wood Preservation. Documento N°: IRG/WP/1319.
- Highley, T. L.; C. A. Clausen; S. C. Croan; F. Green; B. L. Illman and J. A. Micales. 1994. “Research on biodeterioration of wood, 1987-1992. I. Decay mechanisms and biocontrol”. USDA Forest Service, Research Paper FPL-RP-529.

- Highley, T. L. and B. L. Illman. 1991. "Progress in understanding how brown-rot fungi degrade cellulose". *Biodeterioration Abstracts* 5(3):231-244.
- IRAM 9518. 1962. "Toxicidad, Permanencia y Eficacia de Preservadores de Madera". Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 12 p.
- IRAM 9532. 1963. "Método de determinación de humedad". Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 14 p.
- IRAM 9542. 1977. "Método de ensayo de flexión estática de maderas con densidad aparente mayor de 0.5 g/cm³". Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 10 p.
- IRAM 9544. 1985. "Método para la determinación de la densidad aparente". Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 10 p.
- IRAM 9600. 1998. "Preservación de maderas. Maderas preservadas mediante procesos con presión en autoclave". Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 23 p.
- Jovanovski, A.; M. Jaramillo; G. Loguercio y S. Antequera. 2002. "Densidad de la madera de *Pinus ponderosa* (Dougl. ex Laws.) en tres localidades de Argentina". *Bosque* 23(2):57-67.
- Jovanovski, A.; H. Poblete; M. Torres y A. Fernández. 1998. "Caracterización preliminar tecnológica de *Pinus ponderosa* (Dougl.) creciendo en Chile". *Bosque* 19(2):71-76.
- Juacida, R. y J. Villanueva. 1996. "Durabilidad natural de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.". *Bosque* 17(1):83-90.
- Karppanen, O.; M. Venalainen; A. Harju and T. Laakso. 2008. "The effect of brown-rot decay on water adsorption and chemical composition of scots pine heartwood". *Ann. For. Sci.* 65(610):1-8.
- Kirk, T. K. and T. L. Higley. 1973. "Quantitative changes in structural components of conifer woods during decay by white- and brown-rot fungi". *Phytopathology* 63:1338-1342.
- Larson, P.; D. Kretschmann; A. Clark and J. G. Isebrands. 2001. "Formation and properties of juvenile wood in southern pines". Synopsis. USDA, Forest Products Laboratory. USA.
- Mora, N. y O. Encinas. 2001. "Evaluación de la durabilidad natural e inducida de *Pterocarpus acapulcensis*, *Tabebuia serratifolia* y *Pinus caribaea* en condiciones de laboratorio". *Revista Forestal Venezolana* 45(1):23-31.
- Morrell, J.J. and C. M. Freitag. 1995. "Durability of Dahurian larch". *Forest Products Journal* 45(1):77-78.
- Pandey, K. K. and A. J. Pitman. 2003. "FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi". *International Biodeterioration & Biodegradation* 52:151-160.
- Ritschkoff, A. C. 1996. "Decay mechanisms of brown-rot fungi". VTT Publications 268. Technical Research Centre of Finland.
- 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. 73 p.
- Rodríguez, L. 1978. "Métodos de análisis empleados en la industria papelera". Edición 1. Universidad Industrial de Santander, Colombia. 156 p.

- Saparrat, M. C. N.; M. J. Martínez; M. N. Cabello y A. M. Arambarri. 2002. "Screening for ligninolytic enzymes in autochthonous fungal strain from Argentine isolated from different substrata". *Revista Iberoamericana de Micología* 19:181-185.
- Schmidt, O. 2006. "Wood and tree decay. Biology, damage, protection and use". Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany. 251 p.
- Schwarze, F. W. M. R. 2007. "Wood decay under microscope". *Fungal Biology Reviews* 21:133-170.
- Schwarze, F. W. M. R.; J. Engels and C. Mattheck. 2000. "Fungal strategies of wood decay in trees". Springer Verlag, Berlin. 184 p.
- Schwarze, F. W. M. R.; S. Fink and D. Deflorio. 2003. "Resistance of parenchyma cells in wood to degradation by brown rot fungi". *Mycological Progress* 2(4):267-274.
- Spavento, E. M. 2011. Consultoría, "Identificación de productos y mercados potenciales para el sector forestal". Informe Final. Proyecto de Manejo Sustentable de Recursos Naturales Componente II Plantaciones Forestales Sustentables. BIRF 7520-AR.
- Walker, J. F. C. and B. G. Butterfield. 1996. "The importance of microfibrill angle for the processing industries". *New Zeland Forestry, Journal of the N. Z. Institute of Foresters Inc.*40:34-40.
- 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. E. and J. J. Morrell. 1993. "Relationship between incipient decay, strength, and chemical composition of Douglas-fir heartwood". *Wood and Fiber Science* 25(3):278-288.
- Winandy, J. E.; C. A. Clausen and S. F. Curling. 2000. "Predicting the effects of decay on wood properties and modeling residual service - life". *Proceedings of the 2nd Annual Conference on Durability and Disaster Mitigation in wood - frame Housing, Wisconsin.*
- Winandy, J. E.; S. F. Curling and P. K. Lebow. 2005. "Controlling moisture content of wood samples using a modified soil-pan decay method". *Forest Products Journal* 55(6):80-85.
- Wright, J. E. y J. R. Deschamps. 1977. "Basidiomicetos xilófilos de la Región Mesopotámica III". *Rev. Inv. Agro. INTA, Serie 5, Patol. Veg.*, XIII(2):27-70.
- Zabel, R. A. and J. J. Morrell. 1992. "Wood microbiology. Decay and its prevention". *Academics Press Inc.* 476 p.
- Zingoni, M.; I. Andía; P. Guerra y U. Mele. 2005. "La madera juvenil: un aspecto de importancia a considerar en plantaciones de *Pinus ponderosa*". 3^o Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Corrientes, Argentina.

