

Opadeyi, J., 2012. Building Caribbean GeoNode Platform in Support of Climate Risk Management. Understand Risk, 6 - 12 de Julio de 2012, Sesión 3 "Open Data", Ciudad del Cabo, Sudáfrica.

Petit, C., Cartwright, W. y Berry, M., 2006. Geographical visualization: a participatory planning support tool for imagining landscape futures. Applied GIS, 2, 3: 22.1 - 22.17.

Termotratamiento en Madera de Álamo como Alternativa de Mejora de su Resistencia al Biodeterioro.

SPAVENTO E.^{1,2}; KEIL G.^{3,2}; MURACE M.^{4,2}; TARABORELLI C.^{5,2}; DE TROYA MT.⁶; ACUÑA L.⁷
¹Prof. adjunta: eleanaspavento@yahoo.com.ar;² Lab. de Investigaciones en Madera. FCAYF. UNLP. Diag. 113 N° 469. La Plata (1900). Argentina; ³Prof.titular: gabrieldkeil@yahoo.com.ar;⁴Jefe de Trab. Prácticos: mmurace@gmail.com;⁵Ing. Ftal: carlataraborelli@gmail.com;⁶Doctora. Lab.de Protección de Maderas, CIFOR. INIA, Ctra. Coruña km 7 (28040). Madrid. España. ⁷Prof. Titular. Lab.de Maderas. UVA: maderas@iaf.uva.es. Av. de Madrid, 57 (34004). Palencia. España.

El interés por el uso del termotratamiento como técnica de mejora de las propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad de la madera, data desde hace varias décadas y actualmente ha cobrado interés debido principalmente a la escasez de maderas resistentes al biodeterioro y con características tecnológicas (físico-mecánicas) apropiadas, como así también a la demanda de procedimientos alternativos y amigables con el medio ambiente para la mejora de dichas propiedades. Esto además, sumado a la creciente demanda de materiales constructivos sostenibles en general. Objetivo del trabajo: aplicar tratamientos de termo-modificación a la madera de *Populus x canadensis* 'I-214' como alternativa menos nociva para mejorar su resistencia al *ataque* de agentes bióticos de deterioro. Se trabajó con probetas dimensionadas según lo establecido en la norma UNE 56528:1978. Los ensayos de biodeterioro fueron realizados atendiendo a los procedimientos indicados en las normas CEN/TS 15083-1:2005 (durabilidad frente a hongos xilófagos) y EN 117:2012 (durabilidad frente a termitas). De acuerdo con ello, fue evaluada la resistencia del material expuesto a la cepas de pudrición castaña: *Coniophora puteana*; pudrición blanca: *Trametes versicolor* y a la acción de termitas: *Reticulitermes grassei*. Para la realización del termotratamiento se trabajó con 4 temperaturas (80, 120, 160 y 200°C) combinadas con 4 tiempos (45, 90, 135 y 180 minutos); paralelamente se trabajó con madera sin termotratar como material testigo. Resultados obtenidos: frente a hongos de pudrición castaña, la madera experimentó un porcentaje de pérdida de peso, Pp (%), descendente con el aumento de la temperatura. En cuanto al tiempo de exposición, las Pp (%) fueron estadísticamente inferiores cuando el material estuvo expuesto durante 135 minutos. Frente a hongos de pudrición blanca y de termitas, el único factor influyente en la bioresistencia fue la temperatura. Asimismo, para los hongos de pudrición blanca no pudo evidenciarse un comportamiento homogéneo en la evolución de las Pp (%) con los rangos de temperaturas empleados, mientras que para termitas, a 80°C se evidenció una tasa de supervivencia TS (%) superior con respecto a las otras temperaturas. En términos generales estos comportamientos podrían estar vinculados a la degradación de la lignina en el caso de los hongos de pudrición blanca, a la menor concentración de grupos hidroxilos con capacidad de absorber agua en el caso de los hongos de pudrición castaña y a la mayor disponibilidad de humedad que presenta la madera a bajas temperaturas, para la supervivencia de las termitas.

Palabras clave: *Populus x canadensis* 'I-214'; durabilidad; hongos xilófagos; termitas.

Introducción

En el marco de la búsqueda de alternativas de mejora tecnológica para la madera, diferentes líneas de acción son encaminadas hacia la modificación de sus propiedades, con la finalidad de aumentar sus prestaciones para diversos usos y/o aplicaciones. Entre dichas líneas de acción, la aplicación de métodos de mayor sustentabilidad ambiental, como lo son los métodos de termo-modificación, constituyen una opción para incrementar, entre otras propiedades, la resistencia de la madera al biodeterioro. La termo-modificación se sustenta en la aplicación de altas temperaturas (algunas combinadas con humedad-hidrotermia- y/o con aceites vegetales) con distintos procesos de aplicación: Thermowood (Viitaniemi *et al.* 1997), Torrefacción o rectificación-Retiwood- (Dirol and Guyonnet, 1993), Le Bois-Perdure o PCI (Vernois, 2001), Platowood o Plato (Tjeerdsma *et al.* 1998), OHT (Sailer *et al.*, 2000).

Si bien el interés por el uso de termotratamiento data de hace varias décadas (Kollman, 1936; Seborg *et al.*, 1945; Seborg *et al.*, 1953; Kollmann and Schneider, 1963; Kollman and Fengel, 1965; Fengel, 1966I,II,II; D'Jakonov and Konepleva, 1967; Nikolov and Enceev, 1967; Burmester, 1973; Rusche, 1973I,II; Giebeler, 1983; Hillis, 1984) en los últimos años este proceso ha sido reconsiderado producto de la creciente escasez de maderas de características tecnológicas apropiadas, del incremento de la demanda de materiales constructivos sostenibles, de la alta tasa de deforestación en particular de especies tropicales (y con durabilidad natural superior) y de las crecientes regulaciones gubernamentales para el uso de productos químicos (Boonstra, 2008).

Habitualmente, estos tratamientos térmicos son aplicados, con buenos resultados, en maderas de coníferas para uso exterior (suelos, revestimientos, carpinterías y mobiliario) con el propósito de sustituir el uso de especies tropicales más costosas y con mejor comportamiento en clases de usos más comprometidas -CU3 y CU4 norma EN 335:2013- (Hermoso *et al.*, 2015). De todos modos, atendiendo a lo mencionado en la norma experimental UNE-CEN/TS 15679EX (tomado de Hermoso *et al.*, 2015), donde se especifica, entre otras consideraciones que *“las propiedades de la madera modificada térmicamente y el alcance de la modificación de sus propiedades, dependen de la especie de madera...”*, junto con el interés/ demanda creciente de productos de madera y/o a base de madera y a la disponibilidad de plantaciones de especies de cultivos, en la mayoría de los casos, con madera de baja durabilidad natural, es necesario buscar alternativas que permitan mejorar la clase de durabilidad y consecuente clase de uso de estas maderas. Un ejemplo de ello lo constituye el *Populus x canadensis* I-214 de procedencia española. Si bien se cuenta con amplia disponibilidad de plantaciones en edad de aprovechamiento, se pretende ampliar y/o sustituir su tradicional uso, asociado a la elaboración de productos de bajo valor añadido, por otros de mayor valor. Una limitante para ello la constituye su baja durabilidad frente a organismos xilófagos, quedando reducida a clases de uso 1 y 2: uso interior, ambiente seco -o exterior bajo cubierta, al resguardo de la intemperie-, y sin contacto con el suelo (Spavento *et al.* (sin publicar); Spavento, 2015). En este contexto, tomando como base una línea de investigación iniciada por Spavento (2015), mediante el presente trabajo se pretende plasmar algunos resultados preliminares hallados al respecto, que serán ampliados en futuras investigaciones-publicaciones.

Objetivo del trabajo: aplicar tratamientos de termo-modificación a la madera de *Populus x canadensis* 'I-214' como alternativa menos nociva para mejorar su resistencia al *ataque* de agentes bióticos de deterioro.

Materiales y métodos

Material de ensayo

Se trabajó con madera de *Populus x canadensis* I-214 (álamo) proveniente de una plantación comercial de 20 años de edad de Quintanillas de Sollamas, Comunidad

autónoma de Castilla y León, España: 42°36'24"N; 5°49'10"O. El material de ensayo fue recibido en el Laboratorio de Maderas, Universidad de Valladolid, España, en forma de vigas de 50 mm x 150 mm x 3000 mm que fueron acondicionadas a temperatura y humedad ambiente hasta alcanzar la humedad de equilibrio higroscópico (9-10%), constatada mediante xilohigrómetro digital (Testo 606-1). Dichas vigas fueron redimensionadas de acuerdo a lo establecido en las normativas para la realización de los ensayos de durabilidad natural frente a hongos xilófagos (CEN/TS 15083-1:2005) y termitas (EN 117:2012). De acuerdo con esto, un total de 160 probetas (40 por termotratamiento; 10 por cada combinación temperatura/tiempo) de 15 x 25 x 50 mm fueron obtenidas e identificadas acorde al diseño experimental que se explicita en el apartado termotratamiento (Tabla 1).

Termotratamiento: establecimiento del ensayo

En este trabajo, el término termotratamiento -TM- hace referencia a la exposición de la madera, en estufa de secado, a diferentes combinaciones de temperaturas (T°) y tiempos, sin tener en cuenta para ello, una atmósfera inerte y un proceso de humidificación.

Para llevar a cabo este tratamiento, en primer lugar se procedió calentando la estufa a cada una de las T° de tratamiento previstas (Tabla 1). Logrado esto, la totalidad de las probetas de cada termotratamiento (40) fueron incorporadas a la estufa. Cumplido cada uno de los tiempos de exposición (Tabla 1), las probetas (10 por cada tiempo de exposición) fueron separadas del ensayo, dejadas en reposo en laboratorio y expuestas a las condiciones ambientales circundantes hasta estabilización de temperatura y humedad (esto último comprobado mediante pesadas sucesivas – cada 24 h -, hasta que dos de ellas no superasen el 1/200 de la primer pesada); procedimiento realizado para las 4 combinaciones de T°/tiempo planteadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Diseño experimental en bloques del ensayo.

| TM* Tiempo (minutos) | Temperatura (°C) | | | | Repeticiones** |
|----------------------------|------------------|-----|-----|-----|----------------|
| | 80 | 120 | 160 | 200 | |
| 45 | 10 | 10 | 10 | 10 | 40 |
| 90 | 10 | 10 | 10 | 10 | 40 |
| 135 | 10 | 10 | 10 | 10 | 40 |
| 180 | 10 | 10 | 10 | 10 | 40 |
| Repeticiones** | 40 | 40 | 40 | 40 | 160 |

*TM: termotratamiento: TM 80-45: termo-tratamiento realizado a 80°C durante 45 minutos, y así sucesivamente;

**número de individuos por TM: 10 probetas destinadas a evaluación de durabilidad por cada combinación T°-Tiempo.

Evaluación de la durabilidad frente a hongos xilófagos y termitas

En esta instancia se trabajó con madera de álamo termo-modificada y sin termo-modificar (material testigo). El procedimiento y las especies xilófagas empleadas se correspondieron con lo establecido en las normas CEN/TS 15083-1:2005 y EN 117:2012, normativa que especifica el establecimiento de ensayos de durabilidad frente a hongos xilófagos (*Trametes versicolor*, cepa de pudrición blanca y *Coniophora puteana*, cepa de pudrición parda) y termitas (*Reticulitermis grassei*), respectivamente.

A fin de estimar la resistencia a la degradación fúngica (clase de durabilidad) lograda por

cada TM (Tabla 1), en primer lugar fue determinado el porcentaje medio de pérdida de peso (Pp %) del material correspondiente a cada combinación (Fórmula 1).

$$Pp(\%) = \frac{Poi(g) - Pof(g)}{Poi(g)} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

Pp: pérdida de peso, en %.

P_{oi}: peso anhidro inicial, en g.

P_{of}: peso anhidro final, en g.

A continuación, fue calculado el coeficiente x, según se indica en la Fórmula 2, tomando como material de referencia al testigo. La madera se clasificó acorde a lo indicado en la norma EN 350:2016 (Tabla 2).

$$x = \frac{Pp(\%) \text{ del material de ensayo}}{Pp(\%) \text{ del material de referencia}} \quad (2)$$

La clasificación según clase de uso fue considerada acorde a lo especificado en la norma EN 335:2013 (Tabla 2).

Tabla 2: Clase de durabilidad frente al ataque de hongos xilófagos según x

| Clase de durabilidad (UNE 350) | Descripción | Resultados expresados en función de x | Clase de uso (UNE 335) | Descripción |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Muy durable | $x \leq 0,15$ | 1 | En interior, seco. |
| 2 | Durable | $> 0,15 \text{ x } \leq 0,30$ | 2 | En interior o bajo cubierta |
| 3 | Medianamente durable | $> 0,30 \text{ x } \leq 0,60$ | 2 | Al exterior sin contacto con el suelo |
| 4 | Poco durable | $> 0,60 \text{ x } \leq 0,90$ | 4 | Al exterior en contacto con el suelo |
| 5 | No durable | $> 0,90$ | 5 | Sumergido en agua salada |

Para la estimación de la resistencia al deterioro (clase de durabilidad) causado por termitas, fue realizada en primer lugar, una evaluación visual del grado de ataque según la escala establecida en la norma EN 117:2012: 0 - ningún ataque; 1 - tentativa de ataque; 2 - ataque ligero; 3 - ataque medio; 4 - ataque fuerte. Posteriormente, se utilizó el rango clasificatorio establecido en la norma EN 350:2016 (Tabla 3) para realizar la clasificación. Asimismo fue realizada una evaluación cuantitativa mediante la determinación de la tasa de supervivencia, TS (relación entre número de obreros iniciales y número de obreros supervivientes).

Tabla 3: Clase de durabilidad frente al ataque de termitas según nivel de ataque medio.

| Clase de durabilidad | Descripción | Valoración por nivel de ataque |
|----------------------|----------------------|--------------------------------|
| 1 | Durable | 0 – 1 |
| 2 | Medianamente durable | 2 |
| 3 | Sensible | 3 – 4 |

Análisis estadísticos

Para la evaluación de los resultados se procedió a un análisis descriptivo, representado en este trabajo a través de gráficos de cajas y bigotes para analizar la dispersión y simetría de los datos, y mediante análisis comparativo multifactorial y de test de rangos múltiples para evaluar las influencias de los factores de cada tratamiento en las variables de durabilidad analizadas.

Resultados y discusión

Evaluación de la durabilidad frente a hongos xilófagos.

En las Figuras 1 y 2 se representan el análisis de dispersión y simetría de los datos de Pp (%), determinada en la madera de álamo termotratada y testigo (T) expuesta a *Trametes versicolor* y *Coniophora puteana*, respectivamente.

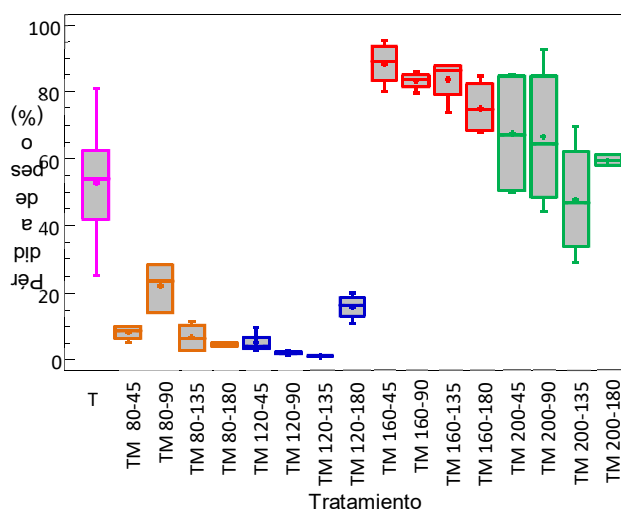


Figura 1. Gráfico de caja y bigotes: Pp (%) - TM.

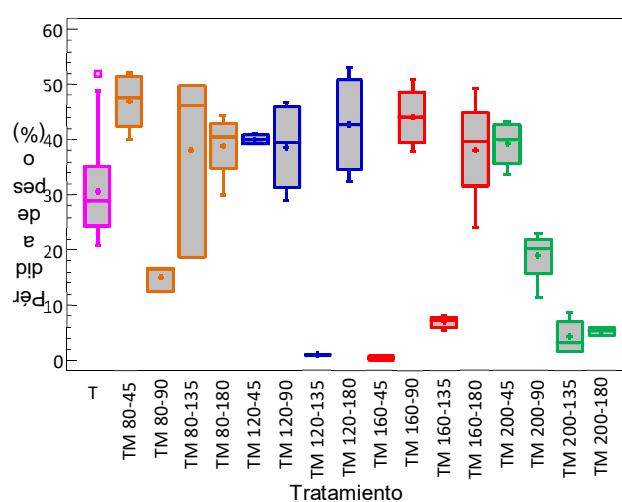


Figura 2. Gráfico de caja y bigotes: Pp (%) – TM.

Según lo indicado en la Figura 1, en la madera expuesta a *T. versicolor* pueden apreciarse dos grupos definidos: un grupo correspondiente a las T° de 80° y 120°C, y otro correspondiente a las T° de 160° y 200°C, con sus respectivos tiempos de tratamiento. En el caso de *C. puteana* (Figura 2), dicho comportamiento no fue tan claro, presentándose una mayor variabilidad.

Mediante un análisis multifactorial se determinó que la T° fue el único factor influyente (P-valor <0,05) en la Pp (%) ocasionada por la cepa de pudrición blanca. Para el caso de la cepa de pudrición castaña, ambos factores, T° y tiempo, presentaron influencia significativa (P-valor <0,05) en dicho parámetro; mediante análisis de comparación de Tukey se determinaron Pp (%) estadísticamente inferiores en material termotratado durante 135 minutos. La influencia de la temperatura (único factor influyente en ambos

casos) en las Pp (%) ocasionadas en la madera TM expuesta a ambas cepas fúngicas, fue analizado mediante un test de Tukey HSD que se resume en la Tabla 4 junto con las clases de durabilidad (UNE 350:2016) y de uso (UNE 335:2013) a las que podría corresponderse el material termotratado.

Tabla 4. Pp (%) por temperatura determinada en la madera expuesta a las cepas fúngicas de ensayo: test de Tukey HSD; clase de durabilidad y clase de uso.

| T°TM* | <i>Trametes versicolor</i> | | | <i>Coniophora puteana</i> | | |
|---------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| | Pp (%)** (x) | Clase de durabilidad (UNE 350) | Clase de uso (UNE 335) | Pp (%)** | Clase de durabilidad (UNE 350) | Clase de uso (UNE 335) |
| 80° | 9,54 a (0,18) | 2 | 3 | 35,14 a (1,18) | 5 | 1 |
| 120° | 6,31 a (0,12) | 1 | 3 | 31,58 ab (1,06) | 5 | 1 |
| 160° | 82,65 b (1,56) | 5 | 1 | 24,35 ab (0,82) | 4 | 1 |
| 200° | 60,41 c (1,14) | 5 | 1 | 18,03 bc (0,60) | 4 | 1 |
| Testigo | 52,83 d | 5 | 1-2 | 29,86 abd | 5 | 1-2 |

T°TM: temperatura de termotratamiento; **Pp (%): pérdida de peso, en %; coeficiente x (Fórmula 2); letras diferentes denotan diferencias significativas, Tukey HSD (P<0,05).

De acuerdo con lo expresado en la Tabla 4, puede observarse que en términos generales, existió un comportamiento inverso en la evolución de las Pp (%) con el aumento de la T°, según el tipo de deterioro al que estuvo expuesta la madera. En este sentido, en las probetas expuestas a *T. versicolor*, las Pp (%) aumentaron con el aumento de las temperaturas del TM, mientras que en las probetas expuestas a *C. puteana*, las Pp (%) disminuyeron con el aumento de la T°. En base a lo detallado4, y contrariamente a lo expresado en la bibliografía analizada (Hillis, 1984; Esteves *et al.*, 2007a,b; Shi *et al.*, 2007; Boonstra, 2008; Esteves and Pereira, 2009), puede indicarse que la madera termotratada con temperaturas más bajas (80° y 120°) y expuesta a la cepa de pudrición blanca, logró mejorar su clase de uso, pasando de una clase de uso 1 o 2 (Spavento, 2015) a una clase de uso 3. Con respecto al comportamiento de la madera termotratada con T° más altas (160° y 200°) y expuesta a esta cepa fúngica, podría inferirse que dicho comportamiento estuvo vinculado al comportamiento de la lignina con temperaturas elevadas. Esto es, a medida que la temperatura aumenta, la lignina comienza a degradarse y dicho efecto se suma a la degradación fúngica. Consideraciones al respecto fueron analizadas por Johansson and Morén (2006), Frühwald (2007), Widmann *et al.* (2012) -tomado de Hermoso *et al.* (2015)-, donde mencionan que en líneas generales, para los termotratamientos, con especial mención a los que utilizan vapor de agua, existe una T° umbral próxima a los 200°C, por encima de la cual el efecto degradativo sobre las propiedades tiende a incrementarse. A su vez, diversos estudios analizados por Rowell *et al.* (2002) han puesto de manifiesto que el tratamiento de la madera con altas temperaturas produce cambios sustanciales en sus propiedades químicas, afectando especialmente a las hemicelulosas, a la lignina y a la estructura cristalina interna de las cadenas de celulosas.

Por su parte, con respecto a la cepa de pudrición castaña si bien el TM no mejoró su aptitud (clase de uso), se evidenció una mejora en la clase de durabilidad con las temperaturas superiores (160°C y 200°C) y una reducción aproximada al 50% de Pp (%) comparando la temperatura menos y más agresiva (80°C y 200°C, respectivamente). Estos resultados coinciden con los hallados por

Boonstra *et al.* (2007a) en madera de *Pinus radiata* y de *Pinus sylvestris*, donde reportan un aumento de la resistencia a la durabilidad frente a hongos de pudrición parda en rangos de temperaturas similares a los analizados en este trabajo. Por su parte, Boonstra (2008) y Esteves and Pereira (2009) indican que la mejora de la resistencia a la degradación fúngica causada por agentes de pudrición castaña en madera tratada con temperaturas elevadas, muy probablemente esté vinculada a la menor concentración de grupos hidroxilos con capacidad de absorber agua, lo que proporciona un ambiente menos propicio para el ataque de hongos.

Evaluación de la durabilidad frente a termitas

El análisis de dispersión y simetría de la TS (%) ocasionada en el material TM expuesto a *Reticulitermis grassei*, se resume en la Figura 6 donde puede apreciarse un comportamiento variable y heterogéneo. Mediante un análisis multifactorial se determinó que la T° es el único factor que ejerce una influencia significativa en la TS (P-valor <0,05).

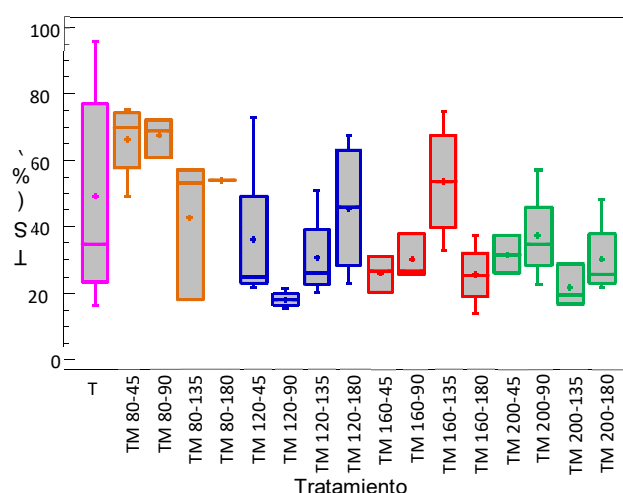


Figura 6. Gráfico de caja y bigotes: TS – TM.

En la Tabla 6 se muestra el test de rangos múltiples de Tukey considerando T°-TS y la clase de durabilidad a la que podría corresponderse la madera TM a distintas T°.

Tabla 6. TS (%) por temperatura: test de Tukey HSD.

| T°TM | TS (%) | Grupos homogéneos* | Grado de ataque | Clase de durabilidad |
|---------|--------|--------------------|-----------------|----------------------|
| 80° | 58,40 | a | 4 | 3 |
| 120° | 32,64 | b | 4 | 3 |
| 160° | 34,67 | b | 4 | 3 |
| 200° | 30,85 | b | 4 | 3 |
| Testigo | 77,91 | c | 4 | 3 |

n*: número de individuos; TS: tasa de supervivencia, en %; **letras diferentes denotan diferencias significativas, Tukey HSD (P<0,05).

De acuerdo a lo observado en la Tabla 6, pudo indicarse la temperatura más baja (80°C) fue la única que ocasionó una mayor TS, pero de todos modos el TM no logró mejorar la clase de durabilidad con respecto al testigo, según la evaluación visual (grado de ataque).

De acuerdo con estos resultados, este comportamiento podría corresponderse con la disponibilidad de humedad en la madera a temperaturas más bajas, permitiendo de este modo, la

mayor supervivencia de las termes. En este contexto, existen estudios contradictorios en cuanto a la facilidad de esta terme, de comportamiento subterráneo, para obtener agua directamente de la madera (Ramírez and Lanfranco, 2001; Randall, 2000). Por lo que un análisis más exhaustivo considerando los CH (%) hallados en cada TM podría ayudar a entender dicho comportamiento.

Conclusiones

En términos generales, el termotratamiento aplicado a madera de *Populus x canadensis* 'I-214' como alternativa para mejorar su resistencia a la biodegradación presenta un comportamiento aceptable pero variable dependiendo del agente xilófago que se trate. En el caso de la pudrición blanca, el comportamiento hallado podría estar vinculado a la degradación de la lignina, mientras que en el caso de los hongos de pudrición castaña podría estar relacionado con la menor concentración de grupos hidroxilos con capacidad de absorber agua. Por su parte, la mayor disponibilidad de humedad en la madera termotrada con temperaturas más bajas, podrían ser la causa de la mayor tasa de supervivencia de termitas.

Referencias bibliográficas

- Boonstra, M. 2008. "A Two-stage Thermal Modification of Wood. Ph.D. 299 pp.
- Boonstra, M.J.; Van Acker, J.; Kegel, E.V.; Stevens, M.; 2007a. Optimisation of a two-stage heat-treatment process: durability aspects. *Wood Sci Technol* 41:31-57.
- Burmester, A. 1973. Effect of Heat-Press Ure Treatments of Semi-Dry Wood on its Dimensional Stability. *Holz Roh-u. Werkstoff*. 31 (6):237-243.
- CEN/TS 15083-1. 2005. Durability of wood and wood-based products. Determination of the natural durability of solid wood against wood-destroying fungi, test methods-Part 1: Basidiomycetes. 19 pp.
- Dirol, D.; Guyonnet, R. 1993. Durability by rectification process. International Research group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP 93-40015.
- D'Jakonov, K.; T. Konepleva. 1967. Moisture absorption by ScotsPine wood after heat treatment. *Lesn. Z., Arhangel'sk* 10(1):112-114.
- EN 350. 2016. Durability of wood and wood-based products - Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials. European Committee for Standardization, Bruxelles, 32 pp.
- EN 117. 2012. Protectores de la madera. Determinación del umbral de eficacia contra las especies de reticulitermes (termitas europeas): método de laboratorio. 24 pp.
- EN 335. 2013. Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Clases de uso: definiciones, aplicación a la madera maciza y a los productos derivados de la madera. 16 pp.
- Esteves, B.; Domingos, I.; Pereira, H. 2007a. "Improvement of technological quality of eucalypt wood by heat treatment in air at 170-200°C," *For. Prod. J.* 57 (1/2): 47-52.
- Esteves, B.; Velez Marques, A.; Domingos, I.; Pereira, H. 2007b. "Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood," *Wood Sci. and Technol.* 41:193-207.
- Esteves, B., Pereira, H. 2009. Wood modification by Heat treatment: a review. *BioResources* 4(1): 370-404.
- Fengel, D. 1966. On the Changes of the Wood and its Components within the Temperature Range up to 200 °C-Part I, II, III. *Holz Roh Werkstoff*, 24:9-14, 24:98-109, 24 (11):529-536.
- Giebeler, E. 1983. Dimensional Stabilization of Wood by Moisture-Heat-Pressure Treatment, *Holz Roh. Werkstoff*, 41:87-94.

- Hermoso, E.; Fernández-Golfín, J.; Conde, M.; Troya, M.T.; Mateo, R.; Cabrero, J.; Conde, M. 2015. Caracterización de la madera aserrada de *Pinus radiata* modificada térmicamente. *Maderas. Ciencia y tecnología* 17(3): 493 – 504.
- Hillis, W. 1984. High temperature and chemical effects on wood stability. *Wood Sc Tec* 18:281-293.
- Kollmann, F. 1936. *Tecnologías des Holzes un der Holzwerkstoffe*, Springer Verlag, Berlín.
- Kollmann, F.; Schneider, A. 1963. On the sorption behaviour of heat stabilized wood. *Holz Roh -Werkst* 21 (3): 77-85.
- Kollmann, F.; Fengel, D. 1965. Changes in the chemical composition of wood by thermal treatment. *Holz Roh-Werkst* 12: 461-468.
- Nikolov, S.; Enceev, E. 1967. Effect of heat treatment on the sorption dynamics of Beech wood, *Nauc. Trud. Lesoteh. Inst., Sofija (Ser. meh. Tehn. Darv.)*. 14 (3): 71-77.
- Ramirez, J.C.; Lanfranco, D. 2001. Descripción de la biología, daño y control de las termitas: especies existentes en Chile. *BOSQUE* 22(2): 77-84.
- Randall, C. 2000. Management of termites and other Word destroying pest. Michigan State University, 114 pp.
- Rowell, R.; Lange, S.; Mcsweeny, J.; Davis, M. 2002. Modification of wood fiber using steam. In *Proceedings of The 6th Pacific Rim Bio-based composites symposium. Workshop on the Chemical modification of cellulose*. Portland, Oregon, USA: 606-615.
- Rusche, H. 1973. Thermal Degradation of Wood at Temperatures up to 200 oC-Part I, II: Strength Properties of Dried Wood after Heat Treatment. *Holz Roh Werkstoff*. 31:273-281, 31:307-312.
- Sailer, M.; Rapp, A.O.; Leithoff, H.; Peek, R.D. 2000. Vergütung von Holz durch Anwendungeiner Öl-Hitzebehandlung. *Holz als Roh-und Werkst* 58: 15-22.
- Seborg RM, Millet MA, Stamm AJ. 1945. Heat -stabilized compressed wood (Staypak). *Mech Eng* 67: 25-31.
- Seborg, RM.; Tarkow, H.; Stamm, AJ. 1953. Effect of heat upon dimensional stabilisation of wood. *Journal of Forest Products Research Society* 3: 59-67.
- Shi, J.L.; Kocaefe, D.; and Zhang, J. 2007. Mechanical behaviour of Quebec wood species heat-treated using Thermo Wood process. *Holz Roh Werkst*. 65(4):255-259.
- Spavento, E. 2015. Caracterización y mejora tecnológica de *Populus x euramericanal*-214, austral y boreal, con fines estructurales. Tesis doctoral. 380 pp.
- Tjeerdsma, B.F.; Boonstra, M.; Militz, H. 1998. Thermal modification of non-durable wood species. Improved wood properties of thermal treated wood. *IRG document IRG/WP 98-40123*.
- Viitaniemi, P.; Jämsä, S.; Viitanen, H. 1997. Method for improving biodegradation resistance and dimensional stability of cellulosic products. United States Patent nº 5678324 (US005678324).
- Vernois, M. 2001. Heat treatment of wood in France-State of the art. In. *Review on heat treatments of wood. Proceedings of the special seminar held in Antibes, france, on 9 February 2001. COST action E22, EUR 19885. Pp: 35-42.*
-