

Tratamiento de higro-térmo fatiga y flexión estática en la madera de Pinus douglasiana y de Quercus spp.

Germán Suárez, Mariana Ramírez y Javier Sotomayor.

G. Suárez, M. Ramírez y J. Sotomayor.

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Gral. Francisco J. Múgica s/n, Felicitas del Río, 58030 Morelia, Michoacán
gezzoster@gmail.com

M. Ramos., V.Aguilera., (eds.) .Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

Abstract

The objective of this research was to determine the effect of the hygro - thermal fatigue treatment in the density, modulus of elasticity and modulus of rupture in static bending of wood of *Pinus douglasiana* and *Quercus* spp. The experimental strategy consisted in submitting the wood to five periods of drying and hydrated under controlled conditions.

The treatment consisted in drying standard specimens of 20 mm x 20 mm in cross section and 320 mm in length, for 24 hours at a temperature of 103 ° C until reaching constant weight. For each cycle, and after measuring the weight and dimensions of each of the specimens, it was proceeded to rehumidify for a period of 48 hours at a laboratory ambient temperature of 23 ° C. After the hygro - fatigue treatment, static bending tests were conducted with the two groups of specimens: untreated and treated. For both species in study, wood density was not altered by treatment. In contrast, the test results of the mean arithmetic differences between the groups of specimens with treatment and without treatment, for wood of *P. douglasiana* and *Quercus* spp. indicated that, for the moduli of elasticity and modulus of rupture there are statistically significant differences with a confidence level of 95 %. That is, the treatment decreased the average values of both parameters. Furthermore, for both species, the treated wood showed less ductility to reach the rupture, compared to untreated wood.

19 Introducción

Durante la fabricación de productos de madera, el material es sometido a cambios en su contenido de humedad ocasionados por la variación en la temperatura interna de la madera y en la humedad relativa del aire al que es expuesta antes de su terminado. Este tipo de sollicitaciones se presentan, por una parte, durante los procesos de secado y de preservación de madera aserrada. Igualmente durante los procesos de recubrimiento, de protección y de terminado de superficie.

Caso particular es la fabricación de tableros elaborados con madera reconstituida como son los aglomerados, enlistonados y contrachapados y finalmente, la madera modificada, ya sea la madera termo-modificada y la madera densificada. Igualmente, ya sea durante el transporte y almacenamiento, como durante la instalación misma de vigas, columnas y placas en procesos de edificación con madera el material es expuesto temporalmente a variaciones en su contenido de humedad. Por estas razones, es de interés conocer cuál es la respuesta de la madera a este tipo de sollicitaciones. Particularmente, en madera de amplio uso comercial como lo son la de los géneros *Pinus* y *Quercus*.

Pruebas de laboratorio han demostrado que la variación de la densidad y de las propiedades mecánicas de la madera ocasionada por un tratamiento térmico depende del tiempo e intensidad del tratamiento y particularmente de la especie en estudio. (Sandberg, Haller & Navi, 2013 y Esteves & Pereira 2009).

Estos tratamientos implican temperaturas superiores a las máximas aplicadas en los procedimientos tradicionales de secado artificial en estufa (85 °C a 120 °C) y de preservado (120 °C).

En pruebas de ultrasonido, los valores promedio del módulo de elasticidad de la madera de *P. douglasiana* y de *Quercus* spp, disminuyeron después de ser sometidos a un tratamiento de cinco ciclos de secado y de hidratado.

Las diferencias observadas en la velocidad y en el módulo de elasticidad pueden ser ocasionadas por las contracciones y expansiones causadas por las etapas de secado y de hidratado a las cuales la madera estuvo sometida. (Sotomayor-Castellanos & Suárez-Béjar, 2012).

En sollicitaciones de vibraciones transversales en apoyos de tipo libre-libre, para probetas sin tratamiento y con tratamiento de la madera de *P. douglasiana* y *Quercus* spp, los valores del módulo de elasticidad fueron modificados por el tratamiento de fatiga higro-térmica de cinco ciclos de secado y de hidratado (Sotomayor-Castellanos y Suárez-Béjar, 2013). Por su parte, la modificación de la densidad de la madera mostró ser el efecto más importante del tratamiento de fatiga higro-térmica.

El módulo de elasticidad en vibraciones trasversales sobre apoyos de tipo simple-simple de la madera de *P. douglasiana* no varió de manera significativa después de la aplicación de un tratamiento de fatiga higro-térmica. Esta afirmación corresponde a rangos bajos y moderados de temperatura (Sotomayor-Castellanos, Ramírez-Pérez & Suárez-Béjar, 2013).

En vibraciones forzadas, con temperaturas menores a 135 °C, aplicadas durante 0, 2 y 4 horas, los módulos de elasticidad en las direcciones radial y tangencial de la madera de *Quercus sessiliflora*, *Fagus sylvatica*, *Picea abies* y *Abies pectinata*, disminuyeron hasta en un 50 % comparativamente con el módulo de elasticidad determinado en condiciones de ensayo a 20 °C. (Placet, Passard & Perré, 2007 y 2008).

El tratamiento de suavizado de la madera de *Quercus scytophylla*, aplicado durante 1 hora a temperatura de 95 °C, en un medio húmedo saturado por vapor a baja presión, no modificó el módulo de elasticidad determinado con pruebas de ondas de esfuerzo. (Sotomayor-Castellanos & Olguín-Cerón, 2014). En las mismas condiciones de tratamiento higro-térmico, el módulo de elasticidad de la madera de *Quercus scytophylla* determinado en vibraciones transversales con apoyos de tipo libre-libre disminuyó por el efecto del tratamiento. (Sotomayor-Castellanos, Suárez-Béjar & Olguín-Cerón, 2014).

Los módulos de elasticidad y de ruptura en flexión estática de la madera de *Pinus radiata*, *Pinus sylvestris* y *Picea abies*, tratada con temperaturas desde 60 °C hasta 185 °C, disminuyeron comparativamente con madera sin tratamiento (Boonstra, Van Ackerb, Tjeerdsma & Kegela, 2007).

La madera y los productos derivados una vez que forman parte de una estructura o de un producto funcional, son sometidos a sollicitaciones de flexión y expuesta a variaciones cíclicas de temperatura y de contenido de humedad. No obstante, la revisión bibliográfica a la fecha, resultó en la ausencia de información sobre investigaciones referentes a sus módulos de elasticidad y de ruptura determinados en condiciones de flexión estática, una vez que estas especies fueran sometidas a un tratamiento de higro-fatiga. Información tecnológica sobre las maderas en estudio y otras especies pertenecientes a los mismos géneros, puede ser consultada en Silva-Guzmán et al. (2010) y Tamarit-Urias & López-Torres (2007).

Por otra parte, la tecnología de transformación de la madera por tratamientos térmicos está desarrollada y descrita entre otros autores por Sandberg & Parviz (2007), Boonstra (2008), Estevez & Pereira (2009) y Ansell (2012). Respecto a los tratamientos térmicos con carácter cíclico y/o de fatiga, existe poca información. No obstante, una de las preguntas más relevantes sobre el tópico es, coincidiendo con (Boonstra et al., 2007)

¿Cómo responde la madera tratada térmicamente a tratamientos térmicos?

Objetivo

Determinar el efecto del tratamiento de fatiga higo-térmica en la densidad, el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura en flexión estática de las maderas de *Pinus douglasiana* y de *Quercus* spp.

19.1 Materiales y métodos

La investigación adaptó la metodología presentada en trabajos anteriores desarrollados en el Laboratorio de Mecánica de la Madera de la FITECMA por Sotomayor-Castellanos y Suárez-Béjar (2012); Sotomayor-Castellanos, Ramírez-Pérez & Suárez-Béjar (2013) y Sotomayor-Castellanos & Suárez-Béjar (2013). Las probetas que se utilizaron en este trabajo, pertenecen al mismo lote de madera que estudiaron los autores citados.

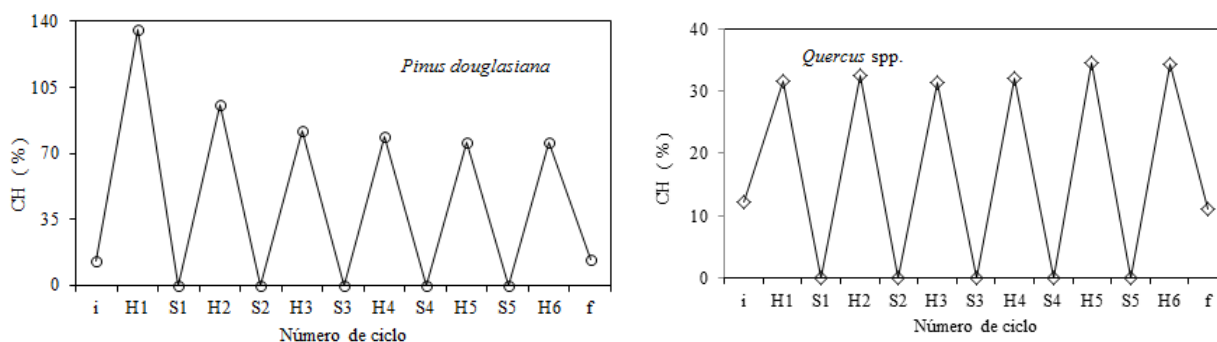
Materiales

El material experimental consistió en maderas de *Pinus douglasiana* y de *Quercus* spp. recolectadas en el Estado de Michoacán, México. Para las pruebas se emplearon 45 probetas de *P. douglasiana*: 30 para aplicar el tratamiento y 15 sin tratamiento; 50 probetas de *Quercus* spp: 30 para tratamiento y 20 sin tratamiento. Las probetas fueron recortadas del tronco de árboles de acuerdo a la metodología propuesta por Villaseñor-Aguilar (2007). Las dimensiones normalizadas de las probetas fueron de 20 mm x 20 mm x 320 mm, orientadas en las direcciones radial, tangencial y longitudinal con respecto al plano leñoso. La madera estuvo libre de irregularidades de crecimiento y de madera de duramen, de acuerdo con la norma ISO 3129 (International Organization for Standardization, 2012).

Tratamiento higo-térmico

La estrategia experimental consistió en someter a la madera a cinco períodos de secado y de hidratado en condiciones controladas, con el objeto de verificar experimentalmente el efecto del tratamiento higo-térmico sobre sus características físicas y mecánicas. La Figura 1 explica los ciclos de variación de los valores del contenido de humedad (H en porcentaje). *i* es el valor inicial de contenido de humedad de la madera; H1... son los valores del contenido de humedad de las probetas después de 48 horas de inmersión en agua; S1... son los valores del contenido de humedad igual a cero después de cada ciclo de secado de 24 horas y *f* es el valor final.

Grafico 19 Ciclos de fatiga higo-térmica. CH: Contenido de humedad de la madera (Adaptado de Sotomayor-Castellanos & Suárez-Béjar, 2012).



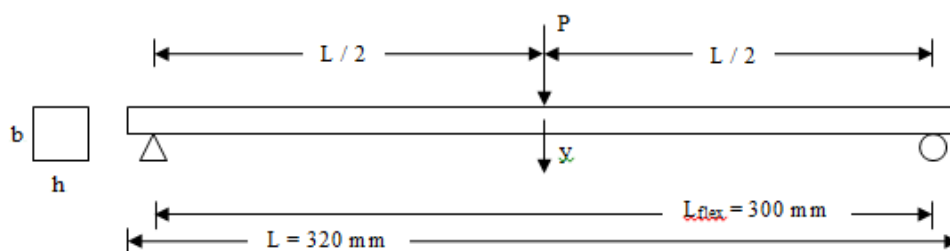
El tratamiento higro-térmico aplicado a la madera consistió en secar las probetas durante 24 horas a una temperatura de 103 °C, hasta alcanzar un peso constante, es decir el estado anhidro de la madera. Para cada ciclo y después de realizar las mediciones de peso y dimensiones a cada una de las probetas, se procedió a su rehumidificación durante un periodo de 48 horas a una temperatura ambiente de laboratorio de 23 °C. Para el ciclo siguiente, una vez más se procedió a la medición de peso y dimensiones de cada una de las probetas.

Una vez realizados los cinco ciclos, se procedió a realizar las pruebas de flexión estática a los dos grupos de probetas de cada una de las especies estudiadas: madera sin tratamiento y con tratamiento.

Pruebas de flexión

Las pruebas de flexión estática consistieron en someter a las probetas a una carga en condiciones cuasi estáticas (0.022 mm/s) en medio de su portada de flexión L_{flex} (Figura 2) y medir el proceso carga (P)-deformación (y) (Figura 3).

Figura 19 Configuración de las pruebas de flexión estática. P: Carga; y: Deformación; L: Largo de la probeta; L_{flex} : Distancia entre apoyos; b: base de la probeta; h: altura de la probeta.



El contenido de humedad de la madera se calculó con la fórmula:

$$CH = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_2} \right) \times 100 \quad (19.1)$$

Donde:

CH = Contenido de humedad (%)

W_1 = Peso de la probeta en estado saturado (kg)

W_2 = Peso de la probeta en estado anhidro (kg)

La densidad básica de la madera se calculó con la fórmula:

$$\rho_0 = \left(\frac{W_2}{V_1} \right) \quad (19.2)$$

Donde:

ρ_0 = Densidad básica de la madera (kg/m^3)

W_2 = Peso de la probeta en estado anhidro (kg)

V_1 = Volumen de la probeta en estado saturado (m^3)

A partir de la ecuación del momento de flexión interno en la probeta:

$$M_{\text{flex}} = EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (19.3)$$

Donde:

M_{flex} = Momento de flexión interno (N m)

E = Módulo de elasticidad (N/m²)

I = Momento de inercia de la sección transversal (m⁴)

Y considerando el momento de flexión aplicado por una carga concentrada en medio de la portada, con una sollicitación de flexión simple como:

$$M_{\text{flex}} = \frac{P L_{\text{flex}}}{4} \quad (19.4)$$

Donde:

M_{flex} = Momento de flexión interno en medio de la portada (N m)

P = Carga (N)

L_{flex} = Distancia entre apoyos (m)

I = Momento de inercia de la sección transversal (m⁴)

El módulo de elasticidad se calculó con la fórmula:

$$E = \frac{P}{y} \frac{L_{\text{flex}}^3}{48 I} \quad (19.5)$$

Donde:

MOE = Módulo de elasticidad (Pa)

P = Carga (N)

L_{flex} = Distancia entre apoyos (m)

y = Deformación (m)

I = Momento de inercia de la sección transversal (m⁴)

A partir de la ecuación del esfuerzo interno en la sección de la probeta:

$$\sigma_{\text{flex}} = \frac{M_{\text{flex}} y_c}{I} \quad (19.6)$$

Donde:

σ_{flex} = Esfuerzo interno (N/m²)

M_{flex} = Momento de flexión interno (N m)

I = Momento de inercia de la sección transversal (m⁴)

y_c = Distancia del centroide de la sección transversal a la fibra extrema (m)

El módulo de ruptura se calculó con la fórmula:

$$\text{MOR} = \frac{3}{2} \frac{P_{\text{rup}} L_{\text{flex}}}{b h^2} \quad (19.7)$$

Donde:

MOR = Módulo de ruptura (Pa)

P_{rup} = Carga a la ruptura (N)

L_{flex} = Portada entre apoyos (m)

b = Base de la probeta (m) h = Altura de la probeta (m)

Diseño experimental

Se diseñó un experimento siguiendo las recomendaciones de Gutiérrez-Pulido & de la Vara-Salazar (2012). El experimento consistió en la comparación de medias aritméticas de los parámetros densidad básica, módulo de elasticidad y módulo de ruptura, los cuales se consideran variables de respuesta en cada tipo de probetas estudiadas: madera sin tratamiento y madera con tratamiento.

En el caso de la madera de *P. douglasiana*, para las probetas sin tratamiento, se corrieron pruebas con 15 réplicas. Para las probetas con tratamiento se corrieron pruebas con 30 réplicas. En el caso de la madera de *Quercus* spp., para las probetas sin tratamiento, se corrieron pruebas con 20 réplicas. Para las probetas con tratamiento se corrieron pruebas con 30 réplicas.

Los cálculos estadísticos fueron realizados con el programa *Statgraphycs*®. Suponiendo una distribución normal con media cero ($\bar{x} = 0$) y varianza constante (σ^2) e independientes entre sí, se verificó la hipótesis nula $H_0: \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 0$, y se contrastó con la hipótesis alterna $H_A: \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \neq 0$. Ambas hipótesis con un nivel de confianza de 95 %. El método empleado para discriminar entre las medias fue el procedimiento 95 % de diferencia mínima significativa de Fisher.

19.2 Resultados y análisis

La Tabla presenta los resultados de las pruebas de flexión para la madera con tratamiento y sin tratamiento de las dos especies estudiadas: *P. douglasiana* y *Quercus* spp.

Tabla 19 Densidad, contenido de humedad y módulos de elasticidad y de ruptura.

Estadístico	Probetas sin tratamiento				Probetas con tratamiento			
	ρ_0	CH	MOE	MOR	ρ_0	CH	MOE	MOR
	(kg/m ³)	(%)	(MPa)	(MPa)	(kg/m ³)	(%)	(MPa)	(MPa)
<i>Pinus douglasiana</i>								
\bar{x}	442	10.97	14,345	108	431	11.01	12,903	95
σ	33	0.53	1,232	10	36	0.61	1,389	12
CV	0.08	0.05	0.09	0.10	0.08	0.06	0.11	0.13
<i>Quercus</i> spp.								
\bar{x}	708	11.01	20,911	164	678	9.97	17,498	130
σ	50	3.06	3,247	21	50	0.48	3,448	19
CV	0.07	0.28	0.16	0.13	0.07	0.05	0.20	0.15

\bar{x} = Media aritmética; σ = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación; ρ_0 = Densidad básica; CH = Contenido de humedad; MOE = Módulo de elasticidad; MOR = Módulo de ruptura.

Contenido de humedad

El contenido de humedad de las probetas sin y con tratamiento de *Pinus douglasiana* es similar. Sin embargo, el contenido de humedad de las probetas con y sin tratamiento de *Quercus* spp. difiere en más de 1 % (Tabla 1). Esta disminución en el contenido de humedad puede resultar en un incremento en los valores de los módulos de elasticidad y de ruptura y comprometer el análisis de la influencia del tratamiento de higro-termo fatiga. Una prueba de diferencia de medias para un nivel de confianza de 95 % no rechazó la hipótesis nula $H_0: \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 0$ por la hipótesis alternativa $H_1: \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \neq 0$, en las cuales \bar{x}_1 y \bar{x}_2 son las medias aritméticas de los grupos de probetas con y sin tratamiento respectivamente. Estos resultados se obtuvieron para las dos especies en estudio, lo que permite considerar para fines de análisis subsiguiente, que los contenidos de humedad de las probetas son iguales y sin influencia en el fenómeno estudiado.

Durante los cinco ciclos de hidratado de la madera, se observó que para periodos iguales de 48 horas de inmersión en agua, el contenido de humedad de las probetas de *Pinus douglasiana* disminuyó a medida que el número de ciclos aumentaba (Figura 1). En contraste, el contenido de humedad de *Quercus* spp. aumentó. Este efecto de la temperatura en las propiedades higroscópicas de la madera ha sido observado entre otros investigadores por Sandberg & Parviz (2007).

Densidad

Para el caso de la densidad básica, las pruebas de diferencias de medias aritméticas entre los grupos de probetas sin tratamiento y con tratamiento, para la madera de *P. douglasiana* indicaron que no existe diferencia estadística significativa con un nivel de confianza de 95 %. En contraste, para la madera de *Quercus* spp., las pruebas de diferencias de medias aritméticas, indicaron que si existen diferencias estadísticas significativas entre los grupos de probetas con tratamiento y sin tratamiento.

El valor promedio para la densidad básica de la madera sin tratamiento de *P. douglasiana* clasifica como Baja, de acuerdo con Sotomayor-Castellanos & Ramírez-Pérez (2013).

Los valores promedio se sitúan al interior del rango de 28 maderas del género *Pinus* presentadas por estos investigadores, los cuales indican un valor mínimo de 350 kg/m^3 y un máximo de 540 kg/m^3 , con un coeficiente de variación de 0.12 entre especies.

Para la madera sin tratamiento de *Quercus* spp. el valor promedio de su densidad básica se encuentra al interior del rango de las 34 maderas del género *Quercus* catalogadas por Sotomayor-Castellanos & Ramírez-Pérez (2013), valores que van de un mínimo de 579 kg/m^3 hasta un máximo de $1,060 \text{ kg/m}^3$ y con un promedio de 687 kg/m^3 . Los coeficientes de variación de la madera de *Quercus* spp., son 13 % menores que el propuesto igualmente por estos autores, que es de 0.13. De acuerdo a la clasificación propuesta por los autores referidos, la densidad básica de la madera sin tratamiento de *Quercus* spp., es de Alta.

Módulo de elasticidad

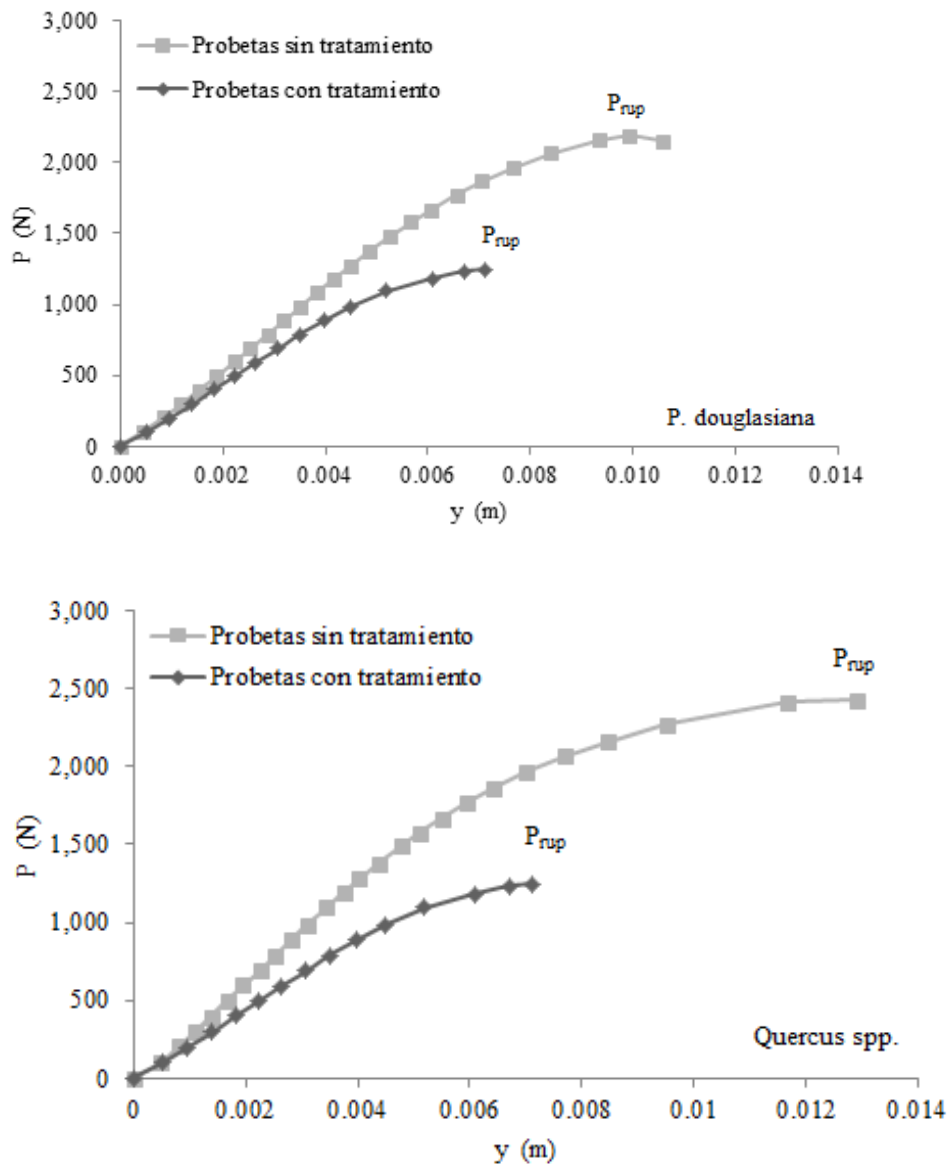
Las pruebas de diferencias de medias aritméticas entre los grupos de probetas con tratamiento y sin tratamiento, para la madera de *P. douglasiana* y de *Quercus* spp., indicaron que para los módulos de elasticidad, existen diferencias estadísticas significativas con un nivel de confianza de 95 %.

Módulo de ruptura

Las pruebas de diferencias de medias aritméticas entre los grupos de probetas sin tratamiento y con tratamiento, para la madera de *P. douglasiana* y de *Quercus* spp., indicaron que para los módulos de ruptura, existen diferencias estadísticas significativas con un nivel de confianza de 95 %.

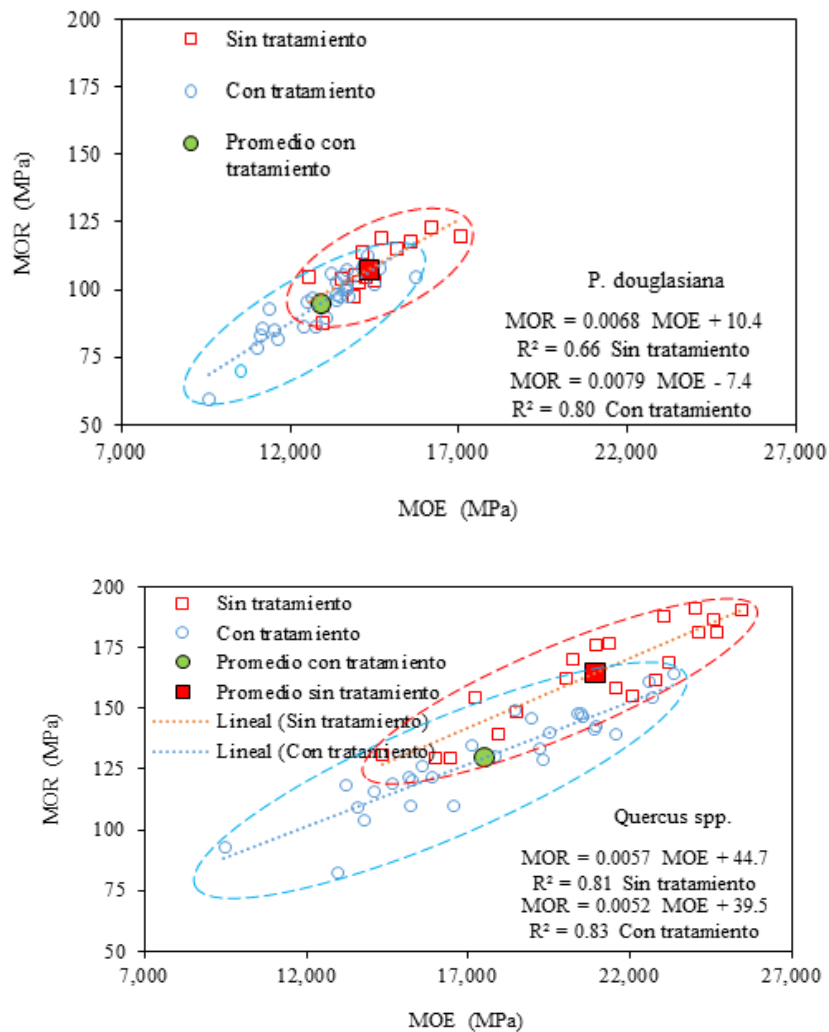
La Figura muestra que la madera con tratamiento, en comparación con la madera sin tratamiento y para ambas especies, fue menos dúctil con una deformación menor para llegar a la ruptura, resultado que coincide con los de Boonstra et al. (2007) y Esteves & Pereira (2009).

Figura 19.1 Diagramas carga-deformación de probetas sin tratamiento y con tratamiento. P: Carga; y: Deformación; P_{rup} : Carga a la ruptura.



La Figura muestra que la tendencia para ambos grupos es igual aunque los datos se reagrupan de manera similar pero con una resistencia disminuida para las probetas con tratamiento de las dos especies en estudio.

Figura 19.2 Distribución del módulo de ruptura (MOR) en función del módulo de elasticidad (MOE) para probetas sin tratamiento y con tratamiento. R^2 : Coeficiente de determinación para 95 % de confianza.



19.3 Conclusiones

Se determinó el efecto del tratamiento de fatiga higró-térmica en la densidad, el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura en flexión estática de las maderas de *Pinus douglasiana* y de *Quercus spp.* Se muestra una significativa influencia del tratamiento sobre la resistencia de la madera. Los elementos constitutivos y anatómicos sufrieron una evidente degradación resultando en el debilitamiento de la madera.

Referencias

- Ansell, M.P. (2012). Wood: A 45th anniversary review of JMS papers. Part 2. Wood modification, fire resistance, carbonization, wood–cement and wood–polymer composites. *Journal of Materials Scienc.* 47(2):583-598.
- Boonstra, M.J., Van Ackerb, J., Tjeerdsmac, B.F. & Kegela, E.V. (2007). Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Annals of Forest Science.* 64(7):679-690.
- Boonstra, M. J. (2008). A two-stage thermal modification of Wood. Ph.D. Dissertation in co-supervision. Ghent University and Université Henry Poincaré-Nancy 1. 297 pp.
- Esteves, B. M., Pereira, H. M. (2009). Wood Modification by Heat Treatment: A Review. *Bioresources.* 4(1): 370-404.
- Gutiérrez Pulido, H. & de la Vara Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. México: Editorial McGraw-Hill.
- International Organization for Standardization. (2012). ISO 3129:2012. Wood - Sampling methods and general requirements for physical and mechanical tests. ISO Catalog 79 Wood technology; 79.040 Wood, sawlogs and saw timber. *International Organization for Standardization*. Brussels. 9 pp.
- Olguín Cerón, J.B. & Sotomayor Castellanos, J.R. (2013). Plástico higró-térmico de madera de *Quercus scytophylla*. *Investigación y Ciencia*. Universidad Autónoma de Aguascalientes. México. 59:25-33.
- Placet, V., Passard, J. & Perré, P. (2007). Viscoelastic properties of green wood across the grain measured by harmonic tests in the range 0-95 °C: Hardwood vs. softwood and normal wood vs. reaction wood. *Holzforschung.* 61(5): 548-557.
- Placet, V., Passard, J. & Perré, P. (2008). Viscoelastic properties of wood across the grain measured under water-saturated conditions up to 135 °C: evidence of thermal degradation. *Journal of Materials Science.* 43:3210-3217.
- Sandberg, D. & Parviz, N. (2007). Introduction to Thermo-hydro-mechanical (THM) Wood Processing. Report No. 30. School of Technology and Design. Växjö University. Sweden. 167 pp.
- Sandberg, D., Haller, P. & Navi, P. (2013). Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing: An opportunity for future environmentally friendly wood products. *Wood Material Science and Engineering.* 8(1):64-88.
- Silva-Guzmán, J.A. *et al.* (2010). Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas. Departamento de Madera, Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara y Comisión Nacional Forestal. México. 208 pp.
- Sotomayor-Castellanos, J.R. & Olguín-Cerón, J.B. (2014). Caracterización mecánica por ondas de esfuerzo de madera plástica de *Quercus scytophylla*. *Investigación y Ciencia*. Universidad Autónoma de Aguascalientes. México. En prensa.

Sotomayor-Castellanos, J.R., Suárez-Béjar, G. & Olgúin-Cerón, J.B. (2014). Efecto del tratamiento higro-térmico en las características acústicas de la madera de *Quercus scytophylla*. *Madera y Bosques*. En revisión.

Sotomayor-Castellanos, J.R., Ramírez-Pérez, M. & Suárez-Béjar, G. (2013). Módulo de elasticidad de la madera de *Pinus douglasiana* expuesta a condiciones extremas de temperatura y de contenido de humedad. *Investigación e Ingeniería de la Madera*. 9(2):30-38.

Sotomayor-Castellanos, J.R. & Suárez-Béjar, G. (2012). Tratamiento higro-térmico y pruebas de ultrasonido en la madera de *Pinus douglasiana* y de *Quercus* spp. *Investigación e Ingeniería de la Madera*. 8(1):22-32.

Sotomayor-Castellanos, J.R. & Suárez-Béjar, G. (2013). Efecto del tratamiento de higro-térmo-fatiga en las características acústicas de la madera de *Pinus douglasiana* y *Quercus* spp. *Ciencia Nicolaíta*. 59:7-20.

Sotomayor Castellanos, J.R. (2013). Variación del módulo de elasticidad dinámico de la madera según la técnica de evaluación. En memorias del VIII Congreso Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación. CECTI. Morelia, Michoacán, México. pp: 484-489.

Tamarit-Urias, J.C. & López-Torres, J.L. (2007). *Xilotecnología de los principales árboles tropicales de México*. (Informe Núm. 3). INIFAP-CIR Golfo Centro. Puebla, México.

Villaseñor-Aguilar, J.M. (2007). *Comportamiento higroelástico de la madera de Pinus douglasiana. Evaluado mediante ultrasonido, ondas de esfuerzo, vibraciones transversales y flexión estática*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.