



Maderas. Ciencia y tecnología

ISSN: 0717-3644

ISSN: 0718-221X

Universidad del Bío-Bío

Esquivel-Reyes, Héctor; Sepúlveda-Villarroel, Víctor; Torres-Mella, José; Salvo-Sepúlveda, Linette; Salinas-Lira, Calor; Ananias, Rubén A.
Calentamiento por radiofrecuencia para esterilizar *Pinus radiata*
como material para embalajes. Parte 1: Tiempo total de tratamiento
Maderas. Ciencia y tecnología, vol. 20, núm. 4, 2018, pp. 543-552
Universidad del Bío-Bío

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48557888002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

CALENTAMIENTO POR RADIOFRECUENCIA PARA ESTERILIZAR *Pinus radiata* COMO MATERIAL PARA EMBALAJES. PARTE 1: TIEMPO TOTAL DE TRATAMIENTO

RADIO FREQUENCY HEATING FOR STERILIZATION OF WOOD PACKAGING MATERIAL OF RADIATA PINE. PART 1: TOTAL TREATMENT TIME

Héctor Esquivel-Reyes^{1,}, Víctor Sepúlveda-Villarreal¹, José Torres-Mella¹,
Linette Salvo-Sepúlveda¹, Calor Salinas-Lira², Rubén A. Ananías¹*

RESUMEN

En este trabajo se estudió el tiempo total de calentamiento utilizando radiofrecuencia para esterilizar madera apilada de *Pinus radiata*, mediante las condiciones 56 °C y 60 °C por 30 y 1 minutos respectivamente, según normas fitosanitarias internacionales.

Los ensayos fueron realizados en un equipo de radiofrecuencia de laboratorio de 3 m³ de capacidad. Se determinó el tiempo de calentamiento y se desarrollaron modelos de predicción, en función del espesor, separación de placa y el volumen de carga de madera, con unos niveles de confianza superiores al 90%.

Los resultados mostraron que el tiempo total de esterilización por radiofrecuencia es mayor en la superficie de la pila y fueron estadísticamente similares bajo ambas condiciones de tratamiento.

Palabras clave: Alta frecuencia, embalajes de madera, pino radiata, esterilización, tratamiento con calor.

ABSTRACT

In this work the total heating time was studied using radio frequency to sterilize wood packaging material of *Pinus radiata*, through the conditions 56 °C and 60 °C for 30 and 1 minutes respectively, according to international phytosanitary norms.

The experimental tests were carried out in a laboratory radiofrequency equipment of 3 m³ capacity. The heating time was determined and prediction models were developed, depending on the thickness, plaque separation and wood loading volume, with confidence levels above 90%.

The results showed that the total time of radiofrequency sterilization was greater in the surface of the pile and were statistically similar under both treatment conditions.

Keywords: Heat treatment, high frequency, radiata pine, sterilization, wood packaging material.

¹Grupo de Investigación en Tecnologías del Secado y Tratamientos Térmicos de la Madera, Departamento de Ingeniería en Maderas, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

²Grupo de Investigación en Tecnologías del Secado y Tratamientos Térmicos de la Madera, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

*Autor para correspondencia: hectorhugoer@hotmail.com

Recibido: 11.08.2017 Aceptado: 30.04.2018

INTRODUCCIÓN

Pinus radiata es la especie de mayor interés industrial en Chile. Una parte de la producción es utilizada para elaborar embalajes para exportación (Infor 2016). La madera para embalajes de *Pinus radiata* requiere ser esterilizada de acuerdo con las normas fitosanitarias internacionales (FAO 2013). El principal riesgo fitosanitario para la madera son las plagas cuarentenarias tales como el nematodo del pino *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner and Buhner 1934, Mamiya 1983, Dwinell 1997, Haack *et al.* 2011, Hopf-Biziks *et al.* 2017). El calentamiento con vapor es usualmente utilizado para esterilizar con calor la madera verde de *Pinus radiata* para embalajes de exportación (Ananias *et al.* 2015). Igualmente se ha utilizado el tratamiento de secado de esta madera (Ananias *et al.* 2013, Ananias y Venegas 2005).

El calentamiento en alta frecuencia incluye a las microondas (MO) y a las ondas de radiofrecuencia (RF). En ambos casos el calor se produce en el interior de un material dieléctrico tal como la madera, debido a la vibración molecular ocasionada principalmente por la rotación dipolar y la polarización iónica (Skaar 1998, Torgovnikov 1993). Las propiedades dieléctricas de la madera condicionan la distribución de la temperatura durante el proceso de calentamiento por alta frecuencia (Avramidis 2016, Koubaa *et al.* 2008) lo cual es además condicionado por la humedad de la madera (Huang *et al.* 2013).

El calentamiento por microondas implica la generación de ondas electromagnéticas mediante el uso de un magnetrón, el cual las transfiere a través del material dieléctrico, el cual generalmente está en movimiento continuo para mejorar la uniformidad del calentamiento. El uso de la RF como calentamiento permite proteger y esterilizar alimentos (Marra *et al.* 2009) y también se ha aplicado para tratar maderas (Hoover *et al.* 2010, Leal *et al.* 2010, Payette *et al.* 2015). Usando MO la penetración es menos profunda, pero rápida y es recomendable para tratar maderas delgadas (Fleming *et al.* 2004, Fleming *et al.* 2005, Henin *et al.* 2008, Nzokou *et al.* 2008).

En el calentamiento por radiofrecuencia la generación de ondas las produce un oscilador que aplica sobre dos electrodos entre los cuales se ubica un material dieléctrico tal como la madera (Marra *et al.* 2009, Resch 2009). La radiofrecuencia es recomendable para maderas gruesas ya que la penetración es profunda, pero relativamente lenta. Diversos autores han demostrado las condiciones de aplicación de radiofrecuencia (combinaciones de temperatura, espesor o diámetro, tiempo y tipo de ambiente) para que puedan ser eliminados de la madera hongos, insectos y nematodos (Dwinell 1997, Petrič *et al.* 1998, Fang *et al.* 2001, Watanabe *et al.* 2011, Tubajika *et al.* 2007, Lazarescu *et al.* 2015, Lazarescu *et al.* 2011, Lazarescu *et al.* 2009, Uzunovic *et al.* 2013, Dubey *et al.* 2016, Zhao and Wang 2018).

Ciertos problemas con la uniformidad de la temperatura en el interior de la madera han sido observados (Lazarescu and Avramidis 2012, Dubey *et al.* 2016). La aplicación del calentamiento por radiofrecuencia a 56 °C por 30 minutos ha demostrado ser letal para los nematodos (Uzunovic *et al.* 2013).

En este trabajo se estudia el tiempo de esterilización con calor por radiofrecuencia de madera apilada de *Pinus radiata* para embalajes de exportación. Se desea determinar el tiempo total de calentamiento para alcanzar una condición de 56°C o 60 °C de temperatura por un periodo de al menos 30 minutos o 1 minuto respectivamente, en la zona más fría de madera apilada.

METODOLOGÍA

Se desarrolló un diseño de experimentos multifactorial con tres factores, en tres niveles y a tres réplicas.

Tabla 1: Descripción del diseño experimental.

		Espesor		
		5 cm	7,5 cm	10 cm
Separación de placa	15 cm	Vol 50%	Vol 50%	Vol 50%
		Vol 75 %	Vol 75 %	Vol 75 %
		Vol 100%	Vol 100%	Vol 100%
	20 cm	Vol 50%	Vol 50%	Vol 50%
		Vol 75 %	Vol 75 %	Vol 75 %
		Vol 100%	Vol 100%	Vol 100%
	30 cm	Vol 50%	Vol 50%	Vol 50%
		Vol 75 %	Vol 75 %	Vol 75 %
		Vol 100%	Vol 100%	Vol 100%

Vol=volumen de carga.

Se utilizó madera aserrada de *Pinus radiata* D. Don, proveniente de plantaciones, cosechada para una empresa industrial maderera chilena, las piezas se recogieron de trozas al azar y de madera central en condición verde, con un contenido de humedad que osciló entre el 90% y 120%, cuyas dimensiones nominales como madera aserrada fueron: ancho de 10cm, largo de 300cm y el espesor varió en función del diseño experimental.

Se utilizó un secador por radiofrecuencia (Saga HF-VD30SA, Shijiazhuang, Hebei, China), con una capacidad de 3 m³ de madera, carga dimensionada en (1m x 1m x 3m), que oscila a una frecuencia de 6,78 Mhz y desarrolla una potencia de 30 KW (Torres 2017).

La carga completa debe ser dividida en cuatro paquetes, los cuales son intercalados entre cinco placas de aluminio, que a su vez funcionan como electrodos, los cuales se alternan, negativo y positivo, Figura 1, las piezas de madera en cada uno de los paquetes van juntas cara con cara, eliminando espacios vacíos, la distancia entre las placas es lo que se denomina “S=separación de placa” la cual varió en tres niveles 15, 20 y 30 cm. La carga completa es expresada en porcentaje “V=volumen de carga” la cual varió en tres niveles 100%, 75% y 50% y “E= espesor, el cual varió en tres niveles, 5cm, 7,5cm y 10cm.

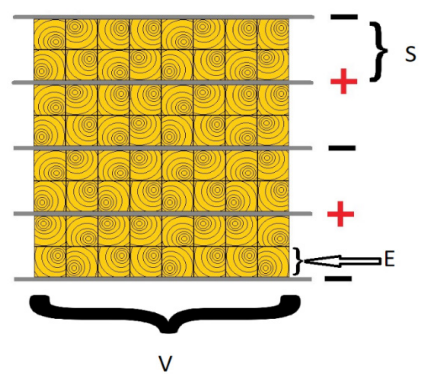


Figura 1. Ejemplo del acomodo de las piezas dentro del equipo, cuya configuración es (E=10cm, S=20 cm y V= 100%).

Para la obtención de las temperaturas de la madera se instala ron de la superficie hacia el centro de cada paquete y a una distancia equidistante, 3 sensores de fibra óptica, la distribución se observa en la Figura 2. Se monitoreó la temperatura, utilizando un equipo de adquisición de datos con seis canales Oriental Rayzer (ORZ-FTM1000, Beijing, China), los datos se almacenaron cada 10 segundos.

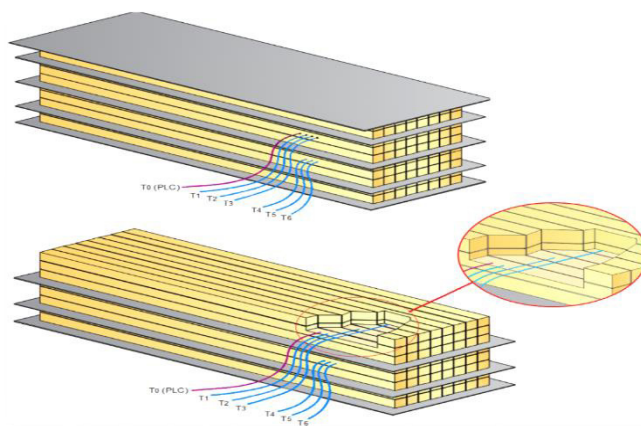


Figura 2. Acomodo de los sensores de temperatura dentro de la carga de madera (Torres 2017).

Se determinó el tiempo de calentamiento a 56/30 y 60/1 ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$), en las 3 profundidades de las que se midió la temperatura de la madera.

Los tiempos de calentamiento obtenidos, fueron analizados en el programa de computo Design-Expert® Versión 10, con el fin de determinar cuáles son los factores que más influyen en el tiempo de calentamiento y así poder optimizar el proceso. Con el fin de determinar similitudes o semejanzas en los tiempos de calentamiento de la madera dependiendo de su ubicación en la carga, se utilizó el programa de computo Statgraphics Centurion XV.II. Se realizaron comparaciones múltiples para determinar cuáles medias muestran una diferencia estadísticamente significativa, utilizando el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher con un 95% de confiabilidad.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La norma NIMF-15 (FAO, 2013) especifica dos procedimientos para dar tratamiento térmico, 56°C por 30 minutos es cuando se usa vapor convencional y 60° por un minuto es cuando se usa una fuente dieléctrica, se determinaron los tiempos para ambas condiciones.

En general se aprecia que el tiempo de calentamiento por radiofrecuencia en la superficie de la pila es mayor que en el interior (central) comportamiento similar para ambos tratamientos, corroborado con un procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, resultaron diferencias estadísticamente no significativas.

Tabla 2. Tiempo total de esterilización en segundos de *Pinus radiata* mediante calor por radiofrecuencia (carga completa, 3 m³).

Altura (cm)		15			20			30		
		Espesor (cm)								
Zona	°C/min	5	7,5	10	5	7,5	10	5	7,5	10
Central	56/30	10807	19843	-	10863	21723	19990	30740	22157	28347
		(4358)	(7737)	-	(2572)	(6231)	(1520)	(2780)	(1203)	(7353)
	60/1	9713	14880	-	6080	21413	19633	27660	21503	18510
		(4625)	(6350)	-	(-)	(6622)	(1575)	(-)	(1370)	(-)
Intermedia	56/30	11820	17673	-	12487	16833	17553	25200	20253	25220
		(2929)	(4540)	-	(1249)	(7077)	(2252)	(30)	(743)	(8996)
	60/1	10770	17123	-	11507	16393	17347	24815	19777	19215
		(3216)	(4639)	-	(1177)	(7620)	(2456)	(135)	(879)	(5735)
Superficie	56/30	15417	20857	-	18087	29667	23523	32475	29647	26740
		(2438)	(3279)	-	(7739)	(13610)	(5421)	(115)	(2035)	(5475)
	60/1	15123	21650	-	21105	11330	20825	-	30110	27495
		(2326)	(3526)	-	(8725)	(-)	(115)	-	(2420)	(6635)

En negritas: Promedio de 3 repeticiones. Entre paréntesis: Desviación estándar. (-): Sin datos suficientes.

En la Figura 2 se observan la misma tendencia desde el centro a la periferia de la pila considerando todas las combinaciones experimentales y ambos programas de esterilización con calor por radiofrecuencia. Se observó un comportamiento con una diferencia estadísticamente significativa, entre la temperatura de la zona intermedia y de la superficie, así como similitudes entre las temperaturas del centro y la zona intermedia, además de una diferencia entre la zona central y la de la superficie, sin embargo esta no es significativa.

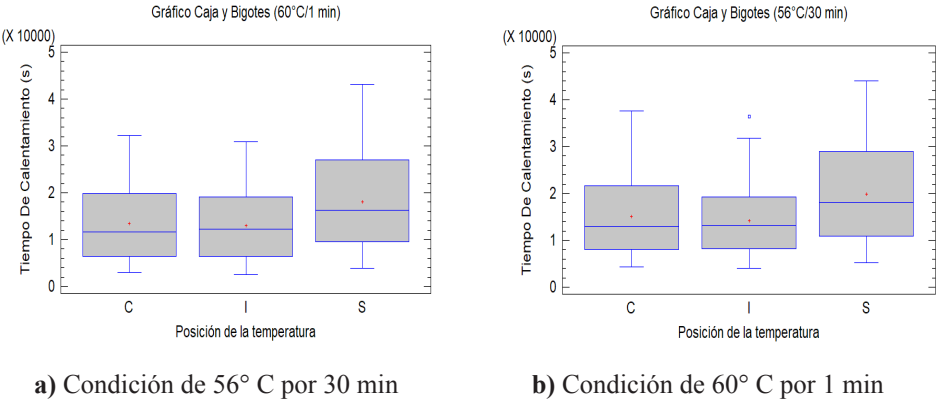


Figura 2. Variación espacial del tiempo de calentamiento por radiofrecuencia.
a) Condición 56/30 (°C/min), b) Programa 60/1 (°C/min). Método: 95 porcentaje Duncan
C: Central, I: Intermedia, S: Superficie.

El diseño de experimentos marca la realización de tres replicas, es por ello que se realizó una prueba de rangos múltiples, utilizando el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, con un 95% de confianza, Figura 3, dicho análisis se desarrolló para las tres zonas de donde se obtuvieron los tiempos totales de tratamiento térmico.

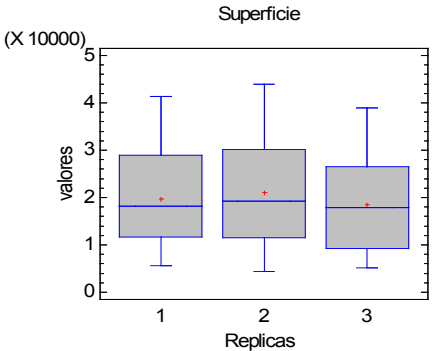


Figura 3: Zona superficial. Método: 95 porcentaje LSD.

Los modelos de predicción sobre el tiempo total de calentamiento por radiofrecuencia se presentan en la Tabla 3. Dichos modelos de predicción fueron realizadas en base a cada uno de los resultados individuales y predicen satisfactoriamente los resultados experimentales con niveles de confianza superiores al 90%, estos modelos sólo son aplicables para este tipo de equipos, misma capacidad y mismas condiciones de la madera, así como deben de mantenerse constantes otras variables como la potencia y la presión.

Tabla 3. Modelos de predicción del tiempo total de calentamiento.

Tratamiento	Posición	Modelo	Valores de R	
			Cuadrado	Ajustado
56° C/ 30 min	Centro	$Tiempo = 28103,52 - 7537,78E + 623,14S - 237,58V - 210,12ES + 49,86EV + 555,79E^2 + 38,68S^2$	0,9449	0,9342
	Intermedio	$Tiempo = -3059,86 - 1891,27E + 914,20S - 46,10V + 24,94EV$	0,9304	0,9231
	Superficie	$Tiempo = 8841,65 - 8243,80E + 1650,74S + 149,82V - 87,86ES + 626,38E^2$	0,9467	0,9391
60° C/ 1 min	Centro	$Tiempo = e^{5,93+0,06E+0,19S-0,014V-0,013ES+3,69X10^{-3}EV}$	0,929	0,9016
	Intermedio	$Tiempo = -14234,7 - 547,07E + 1395,653S - 58,99V - 69,69ES + 28,4ES$	0,9325	0,924
	Superficie	$Tiempo = 43233,75 - 9940,67E - 1784,15S + 168,7V + 694,9E^2 + 64,62S^2$	0,9202	0,9078

Tiempo (segundos), S=Separación de placa (cm), V=Volumen de carga (%), E=Espesor (cm).

Tomando como referencia el análisis de varianza (Tabla 4) que corresponde a la temperatura de la superficie para la condición 56°C/30 min, se observa que la separación de placas es la variable que más influye en el tiempo de calentamiento, seguido por el porcentaje de carga y en menor cantidad el espesor de la madera, este comportamiento se observa de manera similar para las tres zonas de

temperatura para ambas condiciones de tratamiento térmico.

Tabla 4. Análisis de varianza (ANOVA) Superficie.

Fuente	Suma de cuadrados	Valor F	Valor P
Modelo	2,59 X 10 ¹²	124,41	< 0,0001
A-Espesor	8,38 X 10 ¹⁰	20,11	< 0,0001
B-Separación	1,26 X 10 ¹²	303,05	< 0,0001
C-Carga	3,38 X 10 ¹¹	81,03	< 0,0001
AB	3,40 X 10 ¹⁰	8,17	0,0071
A ²	1,42 X 10 ¹¹	34,00	< 0,0001

CONCLUSIONES

El tiempo total de esterilización para alcanzar las condiciones 56/30 y 60/1 (°C/min) mediante calor por radiofrecuencia, en madera de *Pinus radiata* para embalajes de exportación es condicionado significativamente por la separación de placa, el volumen y el espesor de la madera, en orden decreciente. El tiempo total de esterilización con calor por radiofrecuencia de *Pinus radiata* para embalajes de exportación se predice satisfactoriamente por modelos basados en los factores antes señalados. El tiempo total de tratamiento térmico con fines fitosanitarios para las condiciones de 56°C/30min y 60°C/1min, no presentan diferencias estadísticamente significativas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento de este trabajo al proyecto Conicyt- Fondef Idea 2-etapas ID14I10231.

BIBLIOGRAFÍA

Ananías, R.A.; Sepúlveda, V.; Salvo, L. 2015. Tratamientos de esterilización con calor de pino radiata para embalajes de exportación. In Proceeding of XX Taller Aserraderos Expocorma, 72 pp. Concepcion, Chile.

Ananías, R. A.; Venegas, R.; Salvo, L.; Elustondo, D. 2013. Kiln schedule certification for industrial drying of radiata pine. *Wood and Fiber Science* 45(1): 98-104.

Ananías, R.A.; Venegas, R. 2005. Secado industrial del pino radiata: Tiempo de esterilización con calor y evolución temporal de la temperatura. *Maderas-Cienc Tecnol* 7(3):176-188.

Avramidis, S. 2016. Dielectric properties of four softwood species at low-level radio frequencies for optimized heating and drying. *Drying Technol* 34(7):753-760

Dubey, M. K.; Janowiak, J.; Mack, R.; Elder, P.; Hoover, K. 2016. Comparative study of radio-frequency and microwave heating for phytosanitary treatment of wood. *European Journal of Wood and Wood Products* 74: 491-500.

Dwinell, L.D. 1997. The pinewood nematode: regulation and mitigation. *Annu Rev Phytopathol* 35:153-166.

Fang, F.; Ruddick, J.; Avramidis, S. 2001. Application of radio-frequency heating to utility poles. Part 3. The use of RF heating to eradicate decay fungi in pole material. *Forest Prod J* 51(11/12):51-55.

FAO. 2013. Reglamentación del embalaje de madera utilizado en el comercio internacional. Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias. Revisión NIMF15, Anexo 1. Tratamientos aprobados que están asociados con el embalaje de madera (2013). FAO. Roma.

Fleming, M.R.; Janowiak, J.J.; Kearns, J.; Shield, J.E.; Roy, R.; Agrawal, D.K.; Bauer, L.S.; Miller, D.L.; Hoover, K. 2004. Parameters for scale-up of lethal microwave treatment to eradicate cerambycid larvae infesting solid wood packing materials. *Forest Prod J* 54(7/8):80-84.

Fleming, M.R.; Janowiak, J.J.; Kimmel, J.D.; Halbrendt, J.M.; Bauer, L.S.; Miller, D.L.; Hoover, K. 2005. Efficacy of commercial microwave equipment for eradication of pine Wood nematodes and cerambycidae larvae infesting red pine. *Forest Prod J* 55(12):226-232.

Haack, R.A., Uzunovic, A.; Hoover, K.; Cook, J.A. 2011. Seeking alternatives to probit 9 when developing treatments for wood packaging materials under ISPM N° 15. Bulletin OEPP/EPPO 41:39-45.

Henin, J.M.; Charron, S.; Luypaert, P.; Jourez, B.; Hébert, J. 2008. Strategy to control the effectiveness of microwave treatment of wood in the framework of the implementation of ISPM 15. *Forest Prod J* 58(12):75-81.

Hoover, K.; Uzunovic, A.; Gething, B., Dale, A.; Leung, K.; Ostiguy, N.; Janowiak, J.J. 2010. Lethal temperatura for pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*, in infested wood using microwave energy. *Journal of Nematology* 42(2):101-110.

Hopf-Biziks, A.; Schroder, T.; Schutz, S. 2017. Long-term survival and non-vector spread of the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*, via wood chips. *Forest Pathology* DOI 10.1111/efp.12340

Huang, R.; Wu, Y.; Zhao, Y.; Lu, J.; Jiang, J.; Chen, Z. 2013. Factors affecting the temperature increasing rate in wood during radio-frequency heating. *Drying Technol* 31:246-252.

INFOR. 2016. La Industria del Aserrío 2015. Boletín Estadístico N° 155, Instituto Forestal: Santiago, Chile. 128 pp

Koubaa, A.; Perré, P.; Hutcheon, R.M.; Lessard, J. 2008. Complex dielectric properties of the sapwood of aspen, white birch, yellow birch, and sugar maple. *Drying Technol* 26(5): 568-578.

Lazarescu, C.; Breuil, C.; Avramidis, S. 2015. Phytosanitation of mountain pine beetle infected lodgepole pine using dielectric fields at radio frequencies. *Maderas-Cienc Tecnol* 17(2):221-228.

Lazarescu, C.; Avramidis, S. 2012. Heating characteristics of softwood in high frequency field. *Proligno* 8(4):18-26.

Lazarescu, C.; Dale, A.; Uzunovic, A.; Breuil, C.; Avramidis, S. 2011. Radio frequency heating pasteurization of pine wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*) infected wood. *European Journal of Wood and Wood Products* 69:573-578.

Lazarescu, C.; Plattner, A.; Hart, F.; Breuil, C.; Avramidis, S. 2009. Pasteurization of hemlock by radio frequency heating: A preliminary study. *Forest Prod J* 59(4):79-83.

Leal, I.; Alle, E.; Humble, L.; Sela, S.; Uzunovic, A. 2010. Phytosanitary risks associated with the global movement of forest products: A commodity-based approach. Canadian Forest service, Pacific Forestry Center Information Report BC-X-419. 42p.

Mamiya, Y. 1983. Pathology of the pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. *Ann Rev Phytopathol* 21: 201-220.

Marra, F.; Zhang, L.; Lyng, J.G. 2009. Radio frequency treatment of foods: Review of recent advances. *Journal of Food Engineering* 91(4):497-508.

Nzokou, P.; Tourtellot, S.; Kamdem, D. P. 2008. Kiln and microwave heat treatment of logs infested by the emerald ash borer (*Agrilus planipennis* Fairmaire)(Coleoptera: Buprestidae). *Forest Prod J* 58(7/8): 68.

Payette, M.; Work, T.; Drouin, K.; Koubaa, A. 2015. Efficacy of microwave irradiation for phytosanitation of wood packing materials. *Industrial Crops and Products* 69:187-196.

Petrič, M.; Pohleven, F.; Turel, I.; Šegedin, P.; White, A. J.; Williams, D. J. 1998. Complexes of copper (II) carboxylates with 2-aminoethanol-syntheses, characterization and fungicidal activity; crystal structure of Cu (O 2 CC 8 H 17) 2 (NH 2 C 2 H 4 OH) 2. *Polyhedron* 17(2): 255-260.

Resch, H. 2009. *Drying wood with high frequency electric current*. SWST. BOKU, Viena. Austria.

Skaar, C. 1998. *Wood-water relations*. Springer: N. York.

Steiner, G.; Buhner, E.M. 1934. *Aphelenchoides xylophilus*, n. sp., a nematode associated with blue-stain and other fungi in timber. *Journal of Agriculture Research* 48: 949-95.

Torgovnikov, G. 1993. *Dielectric properties of wood and wood based materials*. Springer, N. York.

Torres, J. 2017. Caracterización, instalación y puesta en marcha de un secador de madera por radio frecuencia y vacío. Habilitación Profesional, Ingeniería Civil Mecánica, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

Tubajika, K.M.; Jonawiak, J.J.; Mack, R.; Hoover, K. 2007. Efficacy of radio frequency treatment and its potential for control of sapstain and wood decay fungi on red oak, poplar, and southern yellow pine wood species. *J Wood Sci* 53:258-263.

Uzunovic, A.; Gething, B.; Coehlo, A.; Dale, A.; Janowiak, J.; Mack, R.; Hoover, K. 2013. Lethal temperature for pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*, in infested wood using radio frequency (RF) energy. *J Wood Sci* 59:160-170.

Watanabe, K.; Abubakari, A.; Lazarescu, C.; Avramidis, S. 2011. Softwood heating in radio frequency fields. *European Journal of Wood and Wood Products* 69: 295–301.

Zhao, L.; Wang, S. 2018. Developing treatment protocols for disinfesting pine wood product using radio frequency energy. *European Journal of Wood and Wood Products* 76 (1):191-200.